



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

BASES Y SUB-BASES ESTABILIZADAS

Ing. Carlos Fernández Loaiza

SEPTIEMBRE, 1983

TECNOLOGIA TRADICIONAL

- PESO VOLUMETRICO

- ESTABILIDAD

• DEFORMACION

• RESISTENCIA

¿ PERMEABILIDAD ?

- UNA BASE SATURADA SE Drena

• MILES DE VECES MAS RAPIDO QUE
UNA QUE NO CONTIENGA AGUA
LIBRE.

- EL AGUA PUEDE TARDAR MESES
EN DRENARSE.

DISEÑO:

- SUFICIENTE ESPESOR (ESTRUCTURAL)

FALLA:

- PRESENCIA DEL AGUA.

- POR BOMBEO DE AGUA PUEDE PENETRAR EN LAS GRIETAS EN CARPETAS ASFALTICAS IMPIDIENDO SU AUTOSELLADO.
- EL AGUA PRODUCE QUE SE SEPARAN LAS CAPAS SUCESIVAS DE MEZCLAS ASFALTICAS COMPACTADAS.
- PRESION DE AGUA EXCESIVA.
- LAS BASES ESTABILIZADAS CON CEMENTO PUEDEN PERDER TOTALMENTE SU COHESION, (EFECTO COMBINADO CON EL TRANSITO)

= DAÑOS PRODUCIDOS POR EL AGUA A GRANDES VELOCIDADES =

$$N = f(\sqrt{\text{diámetro}})$$

PAVIMENTO ANTIGUO → MAYOR DIAMETRO
 → MAYOR VELOCIDAD → MAYOR DAÑO.

LAS PROEBS:

ROAD TEST MD (1950)

WASHO (1954)

ASHO (1958-1960)

DEMONSTRACION MAYORES DAÑOS EN EPOCAS

LLUVIOSAS.

SOLUCIONES POSIBLES:

- LOS PAVIMENTOS BIEN DRENADOS VAN RESULTANDO MAS ECONOMICOS QUE LOS NORMALES.
- EN EL DISEÑO DE PAVIMENTOS CONSIDERAR:
 - VELOCIDAD Y GASTO DE ENTRADA DEL AGUA.
 - VELOCIDAD Y GASTO DE SALIDA DEL AGUA.
- RECOMENDABLE USAR BASES TIPO MACADAM CON COLECTORES TRANSVERSALES Y LONGITUDINALES.
- SE PUEDE SUSTITUIR 1 CM. DE BASE DRENANTE POR 1 CM. DE BASE TRADICIONAL.
- EL UNICO COSTO ADICIONAL ES EL DE LOS COLECTORES.
- RECOMENDABLE EMPLEAR EN LAS BASES Y SOBRESAS AGREGADOS DE 1" A $\frac{1}{4}$ " (MIN. $\frac{1}{4}$ " , MAX. $1\frac{1}{2}$ ")
- USAR GRAVAS DURES TRITURADAS (SI SE USAN GRAVAS REDONDEADAS EMPLEAR ADITIVOS)

SE HA ENCONTRADO QUE EN CONCRETOS
ASFALTICOS PENETRAN HASTA

127 CMS / HR. 50°

LAS PERMEABILIDADES HAN VARIADO
DESDE

\approx 0 CMS/DIA A MILES DE CMS/DIA.

- ARTESIANISMO, EN LOS 5 CMS. SUPERIOR.

- INDISPENSABLE IMPERMEABILIZAR LA
SUPERFICIE.

¿ BORDES? , ¿ GRIETAS?

- VULNERABILIDAD A LA ENTRADA DEL AGUA.

• SUPERFICIES POROSAS, GRIETAS, JUNTAS.

• ENTRADAS LATERALES POR CHARCOS, NIEVE, ET

• SUCCION CAPILAR

• REDES DE FLUJO

• CONDENSACION, Desequilibrio en TEMPERA-
TURAS Y PRESIONES ATMOSFERICAS (AGUA
DE HIDROGENESIS)

$$t_{100} = \frac{Q_p}{q_s} \quad (\text{CUERPO DE INGENIEROS})$$

$t_{100} = 100\%$ DE DRENAJE DE LA CANTIDAD DE AGUA Q_p HACIA LA SUBSISTANTE, A UNA VELOCIDAD DE q_s .

$$k = 1 \times 10^{-6} \text{ cm/s / seg}$$

$$l = 0.2$$

$Q_p =$ POROSIDAD COMBINADA ENTRE LA CARPETA Y LA BASE $= 3.3 \text{ cm}^3/\text{cm}^2$

$$t_{100} = \frac{3.3}{1 \times 10^{-6} \times 0.2} = \frac{3.3}{0.2 \times 10^{-6}} = 16.5 \times 10^6$$

$$t_{100} = 16\,500\,000 \text{ segs} \approx 190 \text{ días}$$

$$t_{50\%} = 80 \text{ días}$$

— INSUMO DE AGUA :

- INFILTRACION SUPERFICIAL
- CAPILARIDAD
- FOMEROS, NIF, FLUJOS, ETC.
- HIDROGENESIS.

CAPACIDAD DE DRENAJE. ($h = 12''$, $i = 0.01$)

h (pies/día)	h (cms/día)	CAPACIDAD (pies ³ /día/pie)
0.01	3.5×10^{-6}	0.0001
10.0	3.5×10^{-3}	0.10
10 000	3.5	100
20 000	7.0 (Recomen.)	200
30 000	10.5	300
100 000	35	1000

= SI EL PAVIMENTO SUFRE:

- CARGAS PESADAS REPETIDAS
- ACCESO DE AGUA

HAY QUE DRENARLO =

USANDO BASES Y SUPERFACES ABIERTAS.

- Por RANGO:

$$D_{85} < 4 D_{15}$$

- Por LIMPIEZA:

$$D_2 \geq 0.1''$$

- VERIFICAR LA CAPA COMPACTADA.

PROYECTO:

- CUIDAR GEOMETRIA Y PENDIENTES PARA OPTIMIZAR DRENAJE.
- REALIZAR PROYECTO DETALLADO DEL SUBDRENAJE, ESPECIFICACIONES.
- PROGRAMAR EL MANTENIMIENTO DEL SUBDRENAJE (TUBERIAS, SOLIDAS, ETC...)

FILTROS:

$$\frac{D_{15} (\text{FILTRO})}{5} \leq D_{85} (\text{SUELO}) ; \text{INTROSIÓN}$$

$$\frac{D_{50} (\text{FILTRO})}{25} \leq D_{50} (\text{SUELO}) ; \text{UNIFORMIDAD}$$



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

PAVIMENTOS ADOQUINADOS

Ing. Carlos Fernández Loiza

SEPTIEMBRE, 1983

LA INTRODUCCION

ADOQUIN:

UNIDAD DE CONCRETO DE FORMA PRISMÁTICA, CUYO DISEÑO PERMITE ENTRELAZAMIENTOS QUE FACILITAN LA TRANSMISIBILIDAD DE CARGA EN PISOS Y PAVIMENTOS.

- TAN VIEJO, COMO LA HUMANIDAD (PIEDRA TALLADA O NATURAL).

- CAMINOS DURANTE EL FLORECIAMIENTO DEL IMPERIO ROMANO.

- EMPEDRAOS:

• MUY BONITOS

• MUY INCOMODOS

• MUY COSTOSOS

- ADOQUINES DE ARCILLA

• POCO DURABLES

• QUERRIAN DIEDOS

- COSAS DEL AUGE DE LOS ADOQUINES

- MAQUINAS DE ALTA PRODUCCION
- BAJO COSTO, PRECIOS COMPETITIVOS
- PRECISION EN LAS DIMENSIONES.
- ALTO CONTROL DE CALIDAD
- FORMAS QUE DISTRIBUYEN MEJOR LA CARGA.
- GRAN CANTIDAD DE FORMAS.
- BUENA TRABAZON VERTICAL Y HORIZONTAL.
- ELEMENTOS PREFABRICADOS
- ALTA RESISTENCIA (HASTA 700 K/cm^2)
- MAQUINAS DE MUY ALTA EFICIENCIA

- EL ADOQUIN :

- NO SE ROMPE CON EL USO NORMAL
- NO GIRA
- NO SE DISLOCA (FORMA ADECUADA)
- RESISTE EMPUJES
- DISTRIBUYE CARGAS
- RESISTE HELADAS

- ALEMANIA

• ADQUIN DE LA MAS ALTA CALIDAD.

• EN 1974 SE PRODUJERON 6.5

MILLONES DE TONELADAS DE ADQUIN.

• ACTUALMENTE SE TIENDEN MAS DE 30 MILLONES DE M².

(UNA CARRETERA DE 4000 KMS)

CARRETERAS — 37%

AREAS INDUSTRIALES — 29%

CAMINOS PRIVADOS — 12%

BANQUETAS — 12%

PARKES DE RECREO,

ESCUELAS, GRESOLADERAS — 7%

OTROS — 3%

• SE PREFERE LA DUREZA Y DURABILIDAD.

- PROBLEMAS RESUELTOS:

- TRABAZON
- FORMA DIFERENTE A LA RECTANGULAR
- BUENAS MEZCLAS DE CONCRETO

- INTERPAVE

(INTERLOCKING PAVING ASSOCIATION)

- DISEÑOS PATENTADOS

VENTAJAS :

- SE ALTERNAN PATRONES Y COLORES.
- MARCADO DE ZONAS ESPECIALES.
- CONSTRUCCION MUY SENCILLA, BARATA.
- CIRCULACION INMEDIATA.
- FACILIDAD DE REMOCION.
SOLO SE ROMPEN 3 o 4.
- REPARACION SENCILLA DE HUNDIMIENTOS.
- FACILIDAD EN LA REPARACION DE DUCTOS Y SU REVISION.
- REPARACIONES INVISIBLES.
- FACIL DE RECOMODARLOS MEDIANTE VIBRADO.
- FACIL MANTENIMIENTO, BARATO.
- RESISTEN TRANSITO PESADOS, 10 CMS PARA TRANSITO PESADO, 15 CMS. SOPORTAN HASTA UN TANQUE.
- TOLERAN CRUGAS METALICAS, CADENAS.
- GIROS CERRADOS Y RUEDAS RIGIDAS.
- SOPORTAN LIQUIDOS CORROSIVOS.

- USOS :

• VELOCIDADES DE 40 A 60 K.P.H.

• USO DOMESTICO :

PASILLOS

PATIOS

GIROTORRES

ALBERCAS

JARDINES

ACCESOS

PANDADORES

• CIUDADES :

CALLES

BANQUETAS

ESTACIONAMIENTOS

PLAZAS

PARQUES DE RECREO

SEÑALAMIENTO

AVENIDAS CON TRÁNSITO PESADO

Y Bajas VELOCIDADES.

• CRUCES DE CALLES

GIROTORRES

• ZONAS DE FRENAJE (DERIVA-
ME DE COMBUSTIBLES)

= DISEÑO :

- MUCHA EXPERIENCIA PRÁCTICA MUNDIAL
- MÍNIMO DESARROLLO TEÓRICO
- AGENCIAS PIONERAS :

- CEMENT AND CONCRETE ASSOCIATION :
(INGLATERRA)
- INSTITUTO DEL CEMENTO PORTLAND
(ARGENTINA)
- INTERPAVE
(INGLATERRA)
- NATIONAL CONCRETE MASONRY
ASSOCIATION (U.S.A.)
- PORTLAND CEMENT ASSOCIATION
(NUEVA ZELANDIA)
- ALEMANIA, FRANCIA, CANADA

- ADOQUIN ADECUADO PARA :

VELOC. DE 60 K.P.H.

- CASOS ESPECIALES...

• EMPLEAR VIGA BENKELMAN

- SOBRE LA SUBRIZANTE

SOBRE LA SUBBASE

SOBRE LA BASE

SOBRE EL ADQUIN

- FUNCIONAMIENTO:

¿ PAVIMENTO FLEXIBLE ?

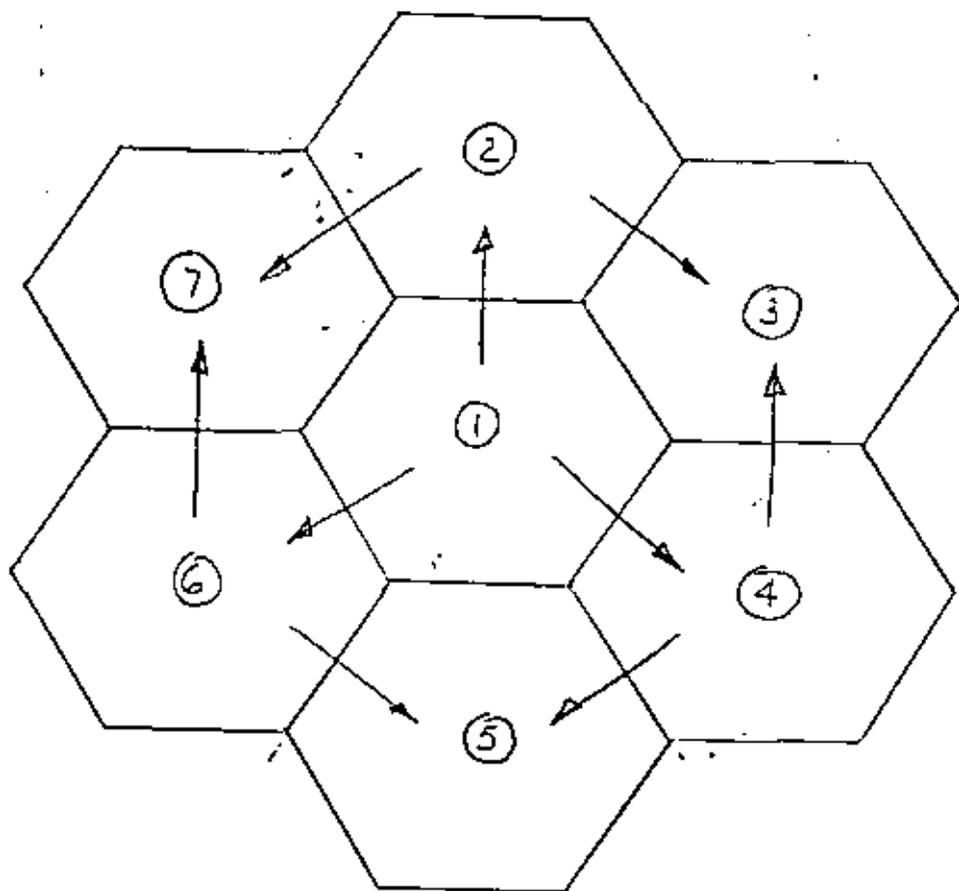
¿ PAVIMENTO RIGIDO ?

¿ PAVIMENTO ARTICULADO ?

¿ EQUIVALENCIAS ??

ELEMENTOS RIGIDOS CON TRANSMISION
DIRRECTA O POR FRICCION A TRAVEZ
DE LA ARENA.

BLOQUES CON MACHIMBRE



NÚMERICACION DE LOS BLOQUES.

(García Balado, Argentina)

— DESGASTE :

• ANTEPROYECTO DE NORMA MEXICANA

APLICACION	PERDIDA MAXIMA DE ESPESOR POR DESGASTE
ANDADORES —	1.5 mm
TRANSITO LIGERO —	1.3 mm.
TRANSITO MEDIO —	1.1 mm
TRANSITO PESADO —	1.0 mm
TRANSITO MUY PESADO	1.0 mm.

— AGREGADOS :

• EL AGREGADO FINO (MENOR DE 5mm.) NO DEBE TENER MAS DEL 25% SOLUBLE EN ACIDO, (INGLATERRA Y NCMA)

• TAMAÑO MAXIMO 20mm. (INGLATERRA Y NCMA)

PROYECTO DE NORMA MEXICANA
TAMAÑO MAXIMO 20mm.

AGUA, PIGMENTOS, ADITIVOS, CEMENTO,

• TRANSITO EQUIVALENTE.

- EJES DE 18000 LBS. (ASHTO)
- USO DE LA GRAFICA DE LA FIGURA 3 PUEL. CCA.
- CALCULO DEL TRANSITO EQUIVALENTE

$$\Sigma L_n = \frac{D}{i} (n, r, TEDI)$$

n = periodo de diseño en años

i = tasa de interés

$$TEDI = \frac{D}{i} (C.E., T.P.D.A.)$$

C.E. = Coeficientes de Equivalencia

T.P.D.A. = Tránsito Promedio Diario Anual.

¿ EJES DOBLES, TRIPLES ?

• SUBBASE

- FIGURA 6 ROAD. NOTE 29.

- PROBLEMA DE HELADAS

45 cm. SOBRE EL N/E.

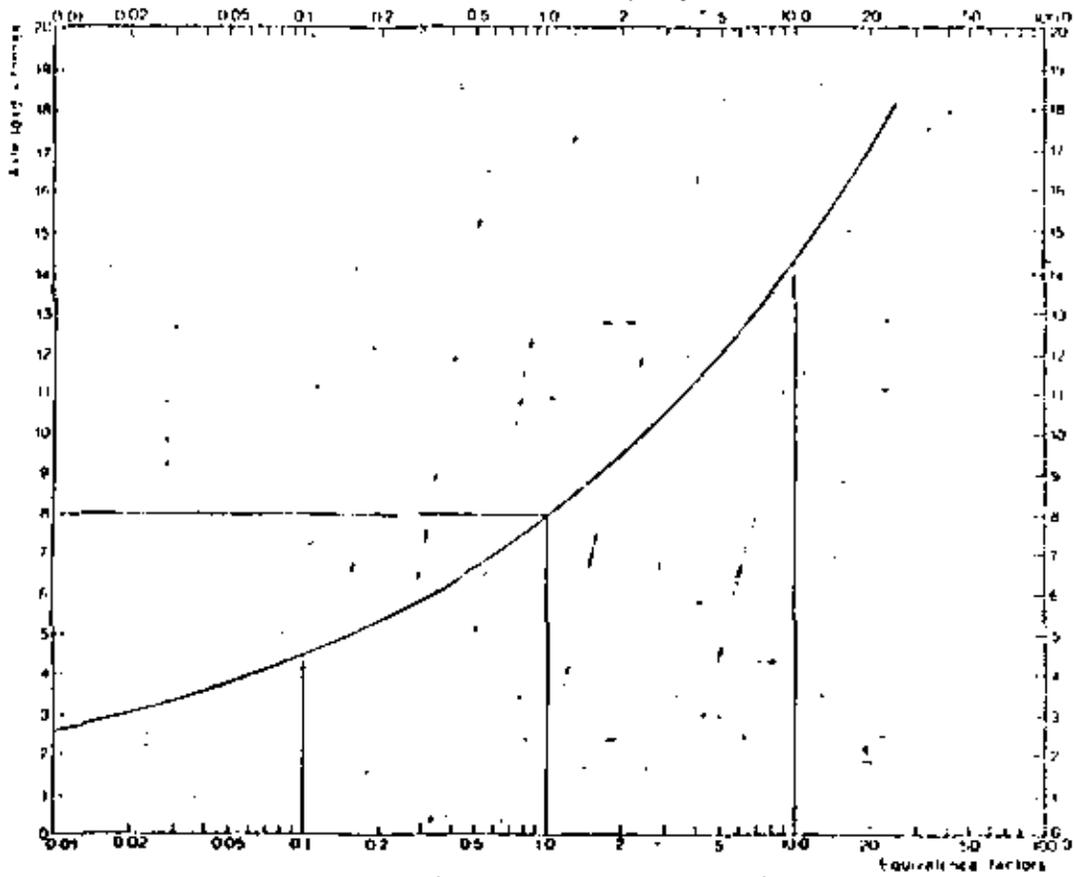


Figure 3: The relative damaging influence of different axle loads.

PASE :

KAPTON :

5 CM. ALLEVA COMPACTA + ADDONIA (BUI)
EQUIVALENT A 16 CM. CONCRETO ASF.

ROAD NOTE 29 :

EQUIVALENCIAS PARA 1000000 E.E.

160 MM (CONCRETO ASFALTICO)

70 MM. (CONCR. ASF.) + 100 MM (MAC. ASF.)

70 MM. (CONCR. ASF.) + 100 MM. (SUELO CEM.)

PARA TRAFICO Σ 1000000 E.E. OTRAS :

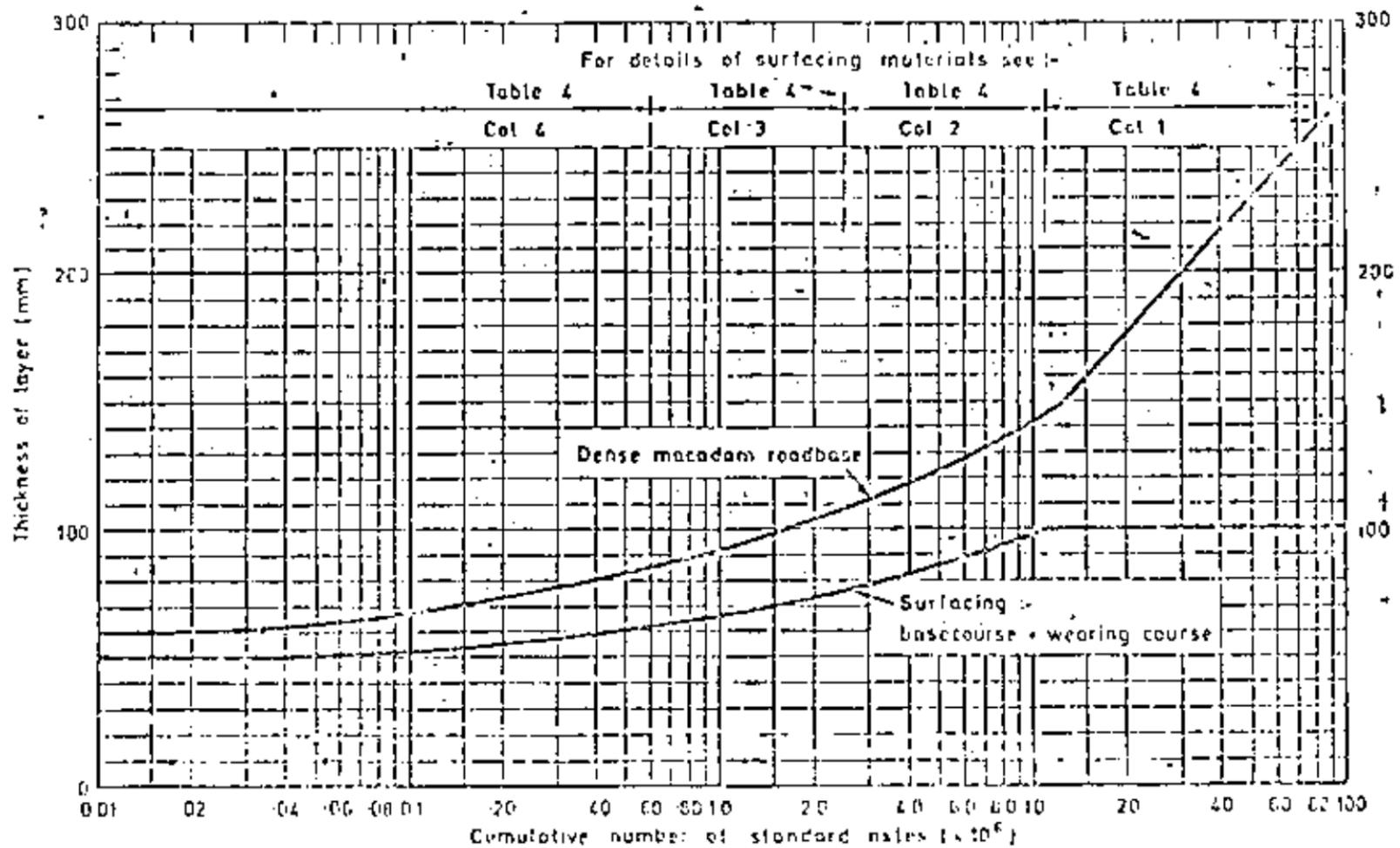
CONCRETO POR. E

CONCRETO ASFALTICO

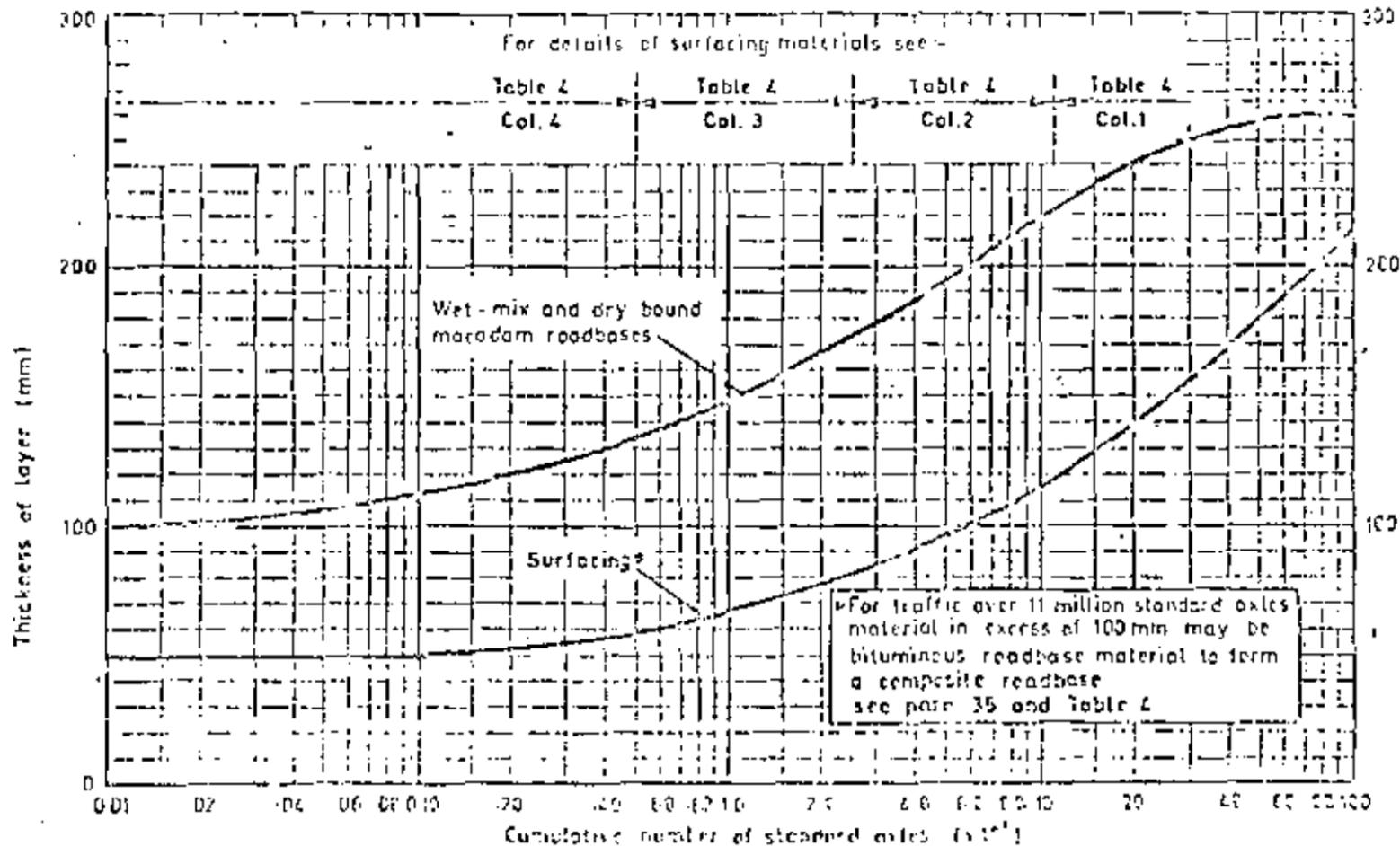
GRASA CEMENTO

MACEDON ASFALTICO

SEMI FIGURA 4. C.C.P.



Dense macadam roadbase



EJEMPLO DE DISEÑO :

31/22/10

DATOS :

SUBGRANDE Y TERRENO NATURAL CBR = 5%

SUBBASE CBR = 15%

BASE CBR = 50%

TRANSITO :

VEHICULO	Num. Vehic. Diario Por Camino
AUTOMOVILES	800
AUTOBUS	100
CAMION C3	300
CAMION T2-S2	50
CAMION T2-S2	20

TASA ANUAL DE CRECIMIENTO = 7%

PERIODO DE DISEÑO = 10 AÑOS

TASA DE CRECIMIENTO ANUAL = 7%

PERIODO DE DISEÑO = 10 AÑOS

TRANSITO EQUIVALENTE ACUMULADO

$$\sum L_n = 626.96 (365) \sum_{n=1}^{10} (1.07)^{n-1}$$

$$\sum L_n = 232490 [(1.07)^0 + (1.07)^1 + (1.07)^2 + (1.07)^3 + (1.07)^4 + (1.07)^5 + (1.07)^6 + (1.07)^7 + (1.07)^8 + (1.07)^9]$$

$$\sum L_n = 232490 [1.0 + 1.07 + 1.14 + 1.22 + 1.31 + 1.40 + 1.50 + 1.60 + 1.72]$$

$$\sum L_n = 232490 (11.96) = 2.78 \times 10^6 \text{ EJES EDS.}$$

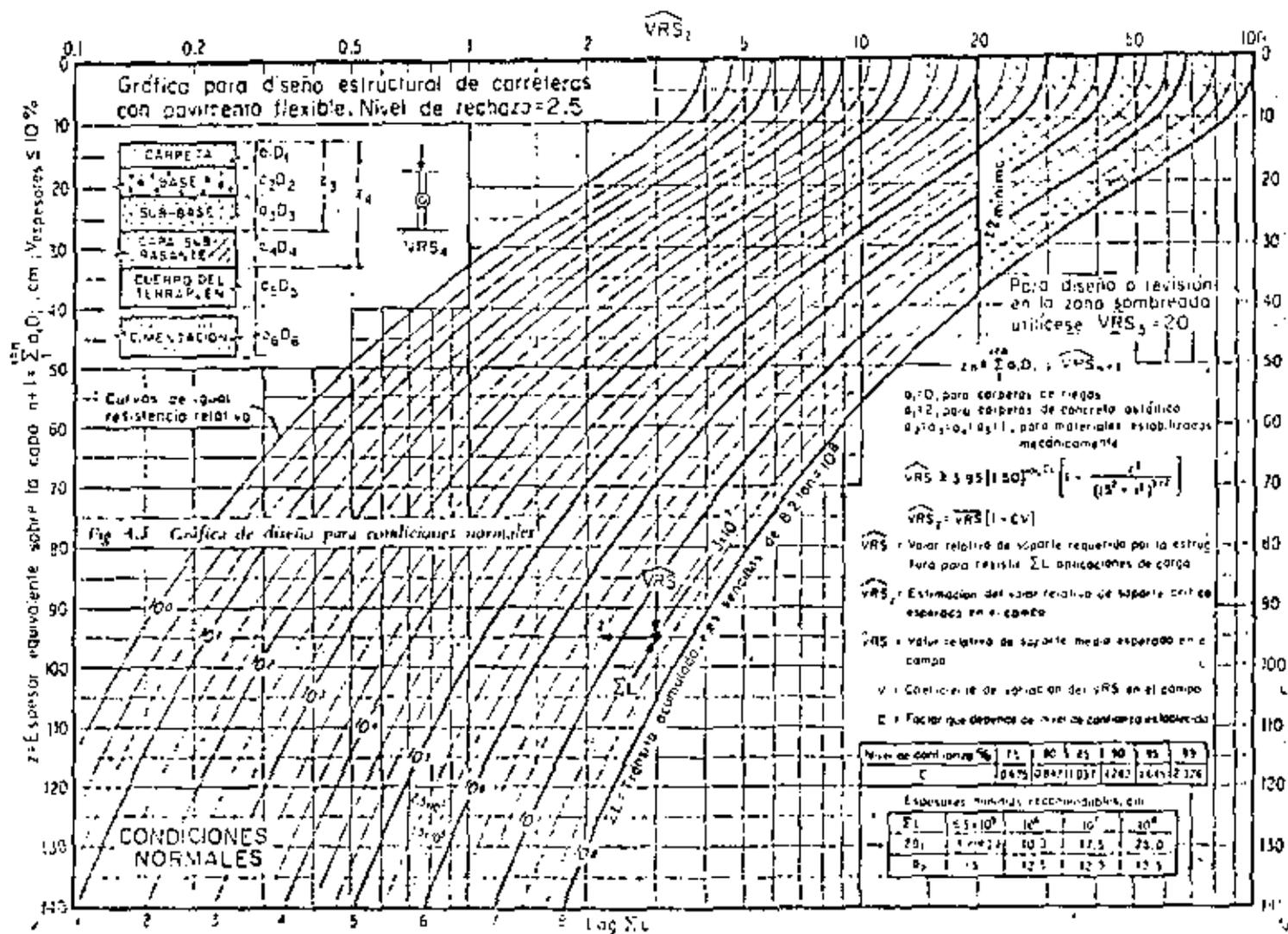
DE LA FIGURA 6 DEL RECD NOTE 29

CON $\sum L_n = 2.78 \text{ E.E.}$ y $CR_2 = 5\%$

SE OBTIENE:

$$\text{ESPESOR DE SUPERFIE} = 128 \text{ mm.}$$

Fig. 4.4 Tabla para cálculo del tránsito acumulado en función de ejes sencillos equivalentes de 8.2 ton



TRANSITO MEDIO Y LIGERO

ALTERNATIVAS { POSPONER ADQUINADO
ADMITIR REPARACIONES.

TRANSITO < 1500 000 E.E. NO SE
REQUIERE BASE (CCA)

CONSTRUCCION

29
37

- SUBBASE :

- MISMAS ESPECIFICACIONES QUE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

- TOLERANCIAS :

 - ± 10 mm. SI HAY BASE (3m.)

 - ± 20 mm. SI NO HAY BASE (3m.)

 - TAMAÑO MAX. 1.5"

- BASE :

- MISMAS ESPECIFICACIONES QUE PARA PAVIMENTOS FLEXIBLES.

- TOLERANCIAS :

 - ± 20 mm (REBLA DE 3m.)

 - NO CONTENER FINOS Y MENOS:

 - SI ESTOS SON FÁSTICOS,

 - TAMAÑO MÁXIMO 1.5"

- EN PAVIMENTOS SE PUEDE

- PRESCINDIR DE LA BASE.

- COMPACTAR CON 3 PASADAS DE LA PLACA VIBRATORIA.
- ADICIONAR ARENA Y SELLAR CON ESCOBAS.
- APLICAR OTRAS 2 PASADAS DE LA PLACA VIBRATORIA.

IMPORTANTE :

- LOS VEHICULOS NO SE DEBEN ACERCAR A MENOS DE 1.0M. DEL BORDE DE AVANCE U ORILLAS NO CONFIRMADAS.
- PENDIENTE MINIMA POR DRENAJE DE 2.5%.
- AL POCO TIEMPO SE SELLAN LAS JUNTAS.
- PROCURAR QUE EL ASF. QUEDE A UNA PROFUNDIDAD SUPERIOR A 40CM.
- EL ASFOQUE ADMITE HASTA 10% DE AGUA DE LLOVIA CON PENDIENTES DE 2.5%
- EL ASFOQUEADO ENTUBADO ES PRACTICAMENTE IMPERMEABLE

FABRICACION DE LOS

ADOQUINES.

- 1.- SE SEPARA A LOS AGREGADOS SEGUN LOS DIFERENTES TAMAÑOS.
- 2.- SE DOSIFICA A LA MEZCLA DE AGREGADOS.
- 3.- SE ADICIONA CEMENTO, COLORANTES Y AGUA.
- 4.- SE VIERTEN LA MEZCLA EN LOS MOLDES
- 5.- SE APLICA VIBROCOMPACTACION
- 6.- SE SOMETE A CURADO A LOS ADOQUINES, BIEN PROTEJIDOS (SOL, VIENTO, LLUVIA)

- VIGILANCIA:

- GRANULOMETRIA
- LIMPIEZA
- RESISTENCIA AL INTemperismo
- RESISTENCIA A LA COMPRESION SIMPLE
 - EN LOS AGREGADOS.
 - EN LOS ADOQUINES.

• CONTENIDO DE MATERIA ORGANICA.

CURADO :

- 48 HORAS EN CUARTO HUMEDO Y LUEGO UN CURADO ADICIONAL DE 10 DIAS. (VAPOR, AUTOCLAVE)

METAS :

- PRODUCIR ADOQUIN DE MUY ALTA CALIDAD.
- ESTANDARIZAR METODOS DE CONTROL DE CALIDAD.
- AUMENTAR LA EFICIENCIA EN LA PRODUCCION DE ADOQUIN.
- COMPROMISO :

TEXTURA - PESO VOL. - RESISTENCIA.

EQUIPO :

- MAQUINA MOVIL TIPO " EGG LAYER " PUEDE PRODUCIR HASTA 110,000 M² AL AÑO. REQUIERE GRAN ESPACIO.
- LAS MAQUINAS FIJAS PRODUCEN DEL ORDEN DE 5000 ADOQUINES AL AÑO.
- BUSCAR VERSATILIDAD.

• ANTE PROYECTO DE NORMA MEXICANA

	COMP. SIMPLE	M.R.
ANDADORES	300 K/cm^2	40
TRANSITO LIGERO	350 K/cm^2	50
TRANSITO MEDIO	450 K/cm^2	60
TRANSITO PESADO	550 K/cm^2	70
TRANSITO MUY PESADO	650 K/cm^2	85

ABSORCION

- NATIONAL CONCRETE MASONRY --- 5% (MAX)
- INTERPRETE --- 7% (MAX)
- PROPOSICION A TESTA --- 5% (MAX)

• ANTEPROYECTO DE NORMA MEXICANA:

ANDADORES	3% (MAX)
TRANSITO LIGERO	3%
TRANSITO PESADO	3%
TRANSITO MUY PESADO	3%

• ANTEPROYECTO DE NORMA MEXICANA.

CARAS PERPENDICULARES A LOS
LADOS.

80mm < ANCHO < 115mm.

ÁREA DE DESGASTE < 70% ÁREA PLANA

DIFERENCIA MÁXIMA ENTRE ADOQUINES TOMADAS AL AZAR.

3mm. LARGO Y ANCHO.

5mm. ESPESOR.

± 2mm. ANCHO Y LONGITUD,
RESPECTO AL PROYECTO

± 3mm. ALTURA, RESPECTO A
LA DE PROYECTO.

• JUNTAS :

2 A 4 mm. CON CHAFLAN.

• VISUAL :

SIN DEFECTOS COMO ROTURAS, GRIETAS,
SALIENTES, HOQUEDADES, ETC...



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Tres maneras para hacer rendir el dinero destinado
al mantenimiento de las calles

Expositor:

Ing. Rafael Lisón Lisón

SEPTIEMBRE, 1983

TRES MANERAS PARA HACER RENDIR EL DINERO DESTINADO AL
MANTENIMIENTO DE LAS CALLES

Calentamiento-Remezclado, rejuvenecedor del cemento asfáltico y el Slurry Seal, renuevan los pavimentos deteriorados, manteniéndolos bien por mucho tiempo y a un bajo costo de reparación.

By Henry Van Dyke, Jr.,
Director de Obras Públicas,
Mill Valley, Calif.

Aquí se describe como muchas ciudades han encontrado que la competencia incrementada entre varias obras urbanas, dá a los programas de mantenimiento de calles menos importancia.

Nosotros encontramos que la práctica normal de recubrimiento de calles -- dos pulgadas de concreto asfáltico, si se usa cada vez, resulta en un programa de mantenimiento negativo debido a la inflación. Por otro lado, la alternativa de usar Slurry Seal en un pavimento agrietado, produce un beneficio limitado en el sellado.

Para hacer rendir nuestro dinero, destinado al mantenimiento, nosotros empleamos un sistema de recubrimiento en tres fases las cuales son: Calentamiento-Remezclado, RECLAMITE y Slurry Seal, para rehabilitar 50,000 metros cuadrados de calles de la ciudad.

Las calles que se consideraron para poner en práctica éste nuevo tratamiento, variaron desde diez a cuarenta años de antigüedad, y a excepción de unas cuantas fallas localizadas, su estructuración era buena. Como el asfalto estaba envejecido, se habían desarrollado grietas por contracción las cuales alcanzaban hasta dos pulgadas de ancho en algunos casos.

El tratamiento de las grietas, usando materiales seleccionados para su relleno, no había probado ser una solución efectiva de largo alcance. Las lluvias del invierno, seguían provocando áreas de inestabilidad. El polvo arrastrado por el viento y los finos continuaban introduciéndose en las cavidades y abrían aún más las grietas.

Las calles ya estaban ásperas y su mezcla asfáltica muy deteriorada, la renivelación del alabeo en algunos lados era de 4.0 cms., lo cual constituyó la primera consideración en cualquier programa de rehabilitación del pavimento.

PROCESOS COMBINADOS

Se combinaron los procesos de calentamiento-remezclado, aplicación de rejuvenecedor del pavimento y Slurry Seal, debido a que en conjunto todos habían probado ser excelentes herramientas para el mantenimiento, en sus aplicaciones previas. La ciudad había usado el calentamiento-remezclado durante varios años conjuntamente con el recubrimiento. Estábamos complacidos con la manera de obtener la integración del pavimento existente con el nuevo recubrimiento, constituyendo una reparación duradera y de buena calidad.

El Slurry Seal, se había usado en algunas calles de menor importancia, que estaban muy deterioradas, pero que requerían una aplicación de sellado de asfalto para reducir la filtración del agua en su superficie. A pesar de que se hicieron dos aplicaciones, pronto aparecieron pequeñas grietas que se extendieron por toda la superficie.

Nosotros vimos que los pavimentos asfálticos envejecidos habían recobrado una condición más flexible para minimizar el agrietamiento por reflexión. Los recubrimientos sin un tratamiento previo pronto resultaron con agrietamiento por reflexión, debido a la acción térmica.

El proceso de calentamiento y cepillado (rebajado) de los pavimentos asfálticos, evolucionó a medida que los recubrimientos asfálticos se elevaban hasta el punto de que su altura se volvía indeseable en la corona ó bien sobrepasaba el nivel de las aceras, eliminando las coladeras y las cunetas, provocando problemas de drenaje. El pavimento podría ser, ya sea cepillado para el renivelado ó bien removido para dar paso a una nueva pavimentación. En nuestro caso teníamos que reducir las zonas altas.

Nuestro contratista usaba escarificadores hidráulicos, ó "rastrillos", siguiendo a la cámara de calentamiento para escarificar el pavimento superficial, mientras estaba en estado plástico.

Los rastrilleros con resortes individuales se conformaban a las irregularidades de la superficie y de la corona del camino. Mientras penetraban el pavimento caliente, una acción niveladora reducía las grietas localizadas así como los baches. La irregularidad de nuestras calles se corrigió y aún las grietas más anchas se rellenaron, mientras los rastrillos cortaban hasta 3/4" de profundidad.

Un beneficio colateral, es que las contaminaciones de aceite, derrame de --

La ventaja económica del sistema en serie de tres pasos, sobre los recubrimientos convencionales, se vió cuando el recubrimiento de 50,000 metros cuadrados en quince calles, resultó de \$ 2.75 por metro cuadrado. Los subcontratistas Valley Slurry Seal, para el riego, aplicaron el Slurry Seal con tres Young Model 804 Slurry (máquinas) de seis metros cúbicos de capacidad.

El trabajo procedió rápidamente con la operación de Slurry Seal emparejada con el calentamiento y remezclado con RECLAMTE como tratamiento previo, algunas veces. Para evitar la interferencia mantuvimos el trabajo de tratamiento previo cuando menos un día adelante del Slurry Seal. El tiempo de dilación también fue adecuado para que el RECLAMTE penetrara en el pavimento.

Antes de que fuera aplicado el Slurry Seal, se barrió y recogió el material desprendido por el tránsito. Usando el tendido rápido del Slurry Seal se hizo posible realizar ambas aplicaciones sobre el pavimento en el mismo día, para que las calles fueran cerradas solamente una vez para la operación de sellado.

Aunque el autor preparó el presente artículo basado en su experiencia con el procedimiento, aplicando calentamiento-remezclado, en la ciudad de Martinez, Calif., él planea continuar el uso de dicha técnica en la nueva localidad. En su primera reparación de calles en Mill Baley usará el calentamiento-remezclado con un recubrimiento asfáltico de 2".



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Un ligero sellado que restaura la ductilidad del
pavimento

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

UN LIGERO SELLADO QUE RESTAURA LA DUCTILIDAD DEL PAVIMENTO . . . Por
menos de 1.40 pesos por metro cuadrado.

C. L. White, Jr.,
Superintendente de pavimentación de calles en
Abilene, Texas. :

Sin un riego de sello aún, los pavimentos de concreto asfáltico nuevos en Abilene, Texas, se empezaron a agrietar y a tener desprendimientos rápidamente. El deterioro superficial en algunos de ellos fué relativamente severo dentro de un año debido a que el cemento asfáltico cerca de la superficie se oxida y se hace quebradizo. Para evitar ésto, nosotros primeramente sellábamos con asfalto y cubríamos con agregado rápidamente y con frecuencia; pero un ligero riego de un nuevo rejuvenecedor del asfalto, que se aplicó por primera vez hace como 6 meses promete retardar el primer mantenimiento de la carpeta en aproximadamente 6 ó 8 años; y cuesta aproximadamente de 1.10 a 1.30 pesos por metro cuadrado incluyendo todo el material, equipo y mano de obra (más otros 0.15 pesos para el arrendo necesario para la resistencia al derrapamiento cuando sea requerido) los riegos de sello (con asfalto y recubrimiento de agregados) sólomente solucionaban en forma parcial los problemas del pavimento y cada uno presentaba las incomodidades del polvo y material desprendido. Recubriendo con una carpeta ligera, usando una pavimentadora se hubieran eliminado tales incomodidades, pero nosotros deseábamos encontrar un método más económico.

En noviembre de 1966, encontramos la respuesta en RECLAMITE, un agente rejuvenecedor del asfalto manufacturado por la Golden Bear Div., de Witco Chemical que químicamente es un asfalto que contiene dos componentes, asfaltenos y maltenos. Los asfaltenos son los hidrocarburos no solubles o carbón negro. Los maltenos incluyen varios aceites y resinas en el asfalto. El RECLAMITE es una emulsión catiónica de maltenos que penetran en el pavimento y se convierte realmente en una parte del aglutinante asfáltico. Este agente rejuvenecedor restaura en buena parte las características de penetración y ductilidad que el cemento asfáltico en general pierde durante el mezclado y la colocación. Simultáneamente, también sella la superficie.

DILUCION AL 50%

Antes de aplicar el agente rejuvenecedor nosotros diluímos cada litro de concentrado con medio litro de agua. La proporción de aplicación depende en gran parte de la edad de los pavimentos y de su densidad. Probamos nuestros pavimentos en el campo para determinar la cantidad del material que penetraría en una hora. Los pavimentos densos y viejos, generalmente requieren sólo 0.35 litros por metro cuadrado. Los

Restaurar las características perdidas, de penetración del asfalto, que ocurren durante la construcción. La tabla proporciona un análisis de las propiedades físicas del cemento asfáltico proveniente de pavimentos de la misma edad tratados y sin tratar.

Sella la superficie más efectivamente y por más tiempo contra la infiltración del agua y del aire minimizando así la intensidad de la oxidación del cemento asfáltico en toda la capa del pavimento.

Se reduce el desprendimiento.

La experiencia de varias fuentes indica que no se requiere mantenimiento de la carpeta en un tiempo de 6 ó 8 años.

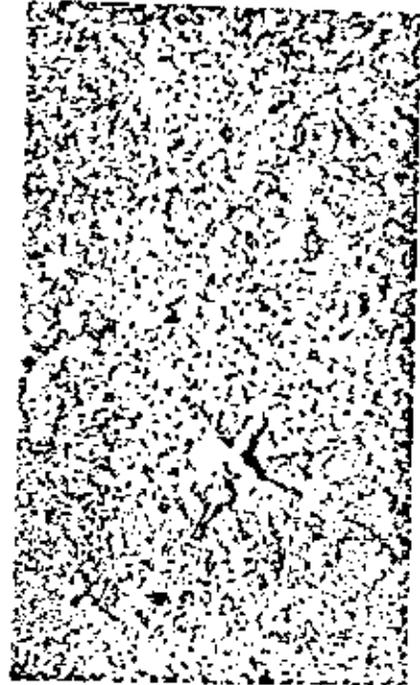
La tabla muestra los resultados de las pruebas en dos corazones sacados de la parte superficial (6 milímetros de profundidad) de una calle construída recientemente. El corazón núm. 1 proviene de un área de concreto asfáltico tratada en la calle Brent Wood que tenía 4 semanas de edad cuando fue tratada en noviembre de 1966. El RECLAMITE se aplicó en una cantidad de 0.5 litros por metro cuadrado. El corazón de prueba se tomó el 13 de julio de 1967, 8 meses después del tratamiento. El corazón núm. 2 proviene de una área que se dejó sin tratar a propósito, de aproximadamente 2.40 mts. de distancia del corazón núm. 1, el corazón de la zona tratada recobró la mayoría de sus valores de penetración originales que eran de 76.4. En contraste, el corazón sin tratar dió valores quebradizos de 19.8 .

Corazones tratados Vs. No tratados.

Corazón núm.	Penetración Equivalente	Microviscosidad 0.05 seg-1	Megapoises 0.001 seg-1	Susceptibilidad al corte
1 tratado	76.35	1.35	2.05	Tan 6.4° = 0.11
2 sin tratar	19.8	25.5	198.0	Tan 28.5° = 0.51

El valor de penetración de un cemento asfáltico es una medida de su consistencia a una temperatura dada (ASTM Método de Prueba # 5). Los valores de microviscosidad y megapoises son medidas de la viscosidad para diferentes velocidades de corte. También miden la consistencia.

Fotografía 3. Ambos pavimentos tienen un año de edad. El de la izquierda no recibió tratamiento rejuvenecedor y muestra una tendencia al desprendimiento. El que fué tratado mostrado a la derecha exhibe una superficie mucho más cerrada.





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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Mantenimiento de aeropistas en Long
Beach

Expositor:

Ing. Rafael Linón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

Tomado de el Mundo de Aeropuertos (Airport World)

El uso de RECLAMITE sobre el remezclado en caliente, se aplicó en los recubrimientos de aeropistas con tránsito muy pesado.

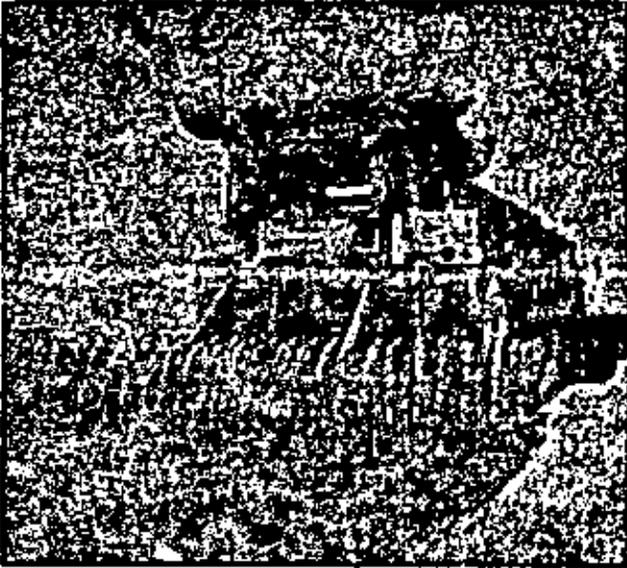
Quando fueron diseñadas y construídas, antes de la Segunda Guerra Mundial, las primeras aeropistas en el Aeropuerto Municipal de Long Beach, Calif., no se conocían los requerimientos para el tránsito. Actualmente, sin embargo, en términos de operaciones totales, el aeropuerto ocupa el sexto lugar en tránsito en la Nación.

Como resultado recientemente se hizo necesaria la renovación de tres de las principales aeropistas - dos de carriles paralelos Este-Oeste y una diagonal -, para poder resistir las cargas incrementadas por el tráfico, eliminar desniveles y proporcionar un pavimento adecuado en resistencia, para las pesadas aeronaves de hasta ciento cincuenta y nueve toneladas.

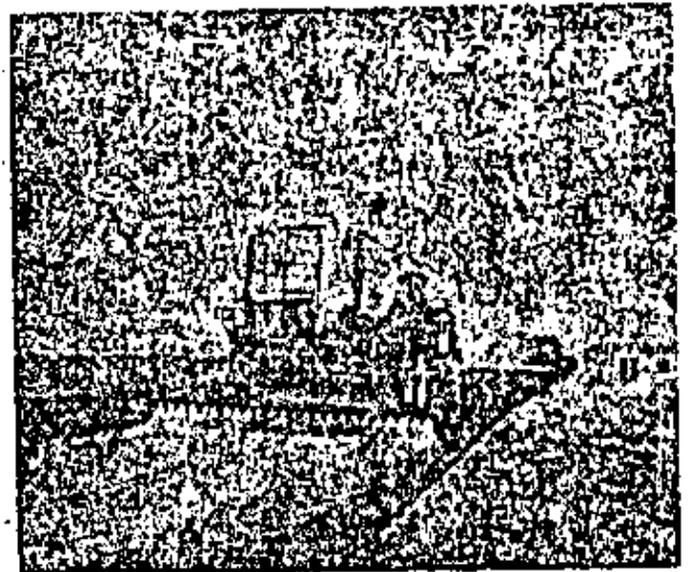
Los ingenieros civiles de la ciudad, se encararon con la tarea de encontrar medios para realizar ésta obra sin interrumpir completamente las actividades de vuelo ó asumir las grandes cargas financieras involucradas en un programa mayor de reconstrucción. La oficina de ingeniería de la ciudad, bajo la dirección de Jess D. Gilkerson, finalmente decidió realizar un programa a base de capas de recubrimiento, incluyendo los procedimientos de calentamiento-remezclado agente rejuvenecedor.

El proyecto calificado por la F.A.A., que participó en el costo, consistió esencialmente en calentar el pavimento existente, escarificarlo a una profundidad de 3/4", regarlo aproximadamente con 0.15 galones por yarda cuadrada de agente rejuvenecedor, y luego recubrirlo con una capa de concreto asfáltico del espesor designado.

En 1941, se construyeron dos aeropistas paralelas Este-Oeste, la 7L-25R y la 7L-25L. Su construcción consistió en una carpeta de concreto asfáltico-nueve centímetros sobre una base de trece centímetros de granito descompuesto sobre una subrasante compactada de 15.2 centímetros. Los espesores fueron incrementados a 11.5 centímetros, para la carpeta de concreto asfáltico sobre una base de 17.8 centímetros de granito alterado, a lo largo de las orillas.



F O T O G R A F I A S 1, 2 y 3



de calentamiento-remezclado/rejuvenecimiento, tiene varias ventajas básicas sobre los procedimientos convencionales para recubrir los pavimentos:

Asegura la adhesión, rejuvenece el pavimento viejo escarificado, logra cuando menos una pulgada adicional de pavimento flexible; y elimina las grietas superficiales en el pavimento existente, retardando así el agrietamiento por reflexión. Este procedimiento evita tendencias de rechazo entre el pavimento viejo y el nuevo. Debido a que el recubrimiento, en los aeropuertos involucraba varias intersecciones de dos ó más aeropistas, algunas capas de recubrimiento fueron necesarias en todos ellos para evitar desniveles indeseables y peligrosos en las intersecciones.

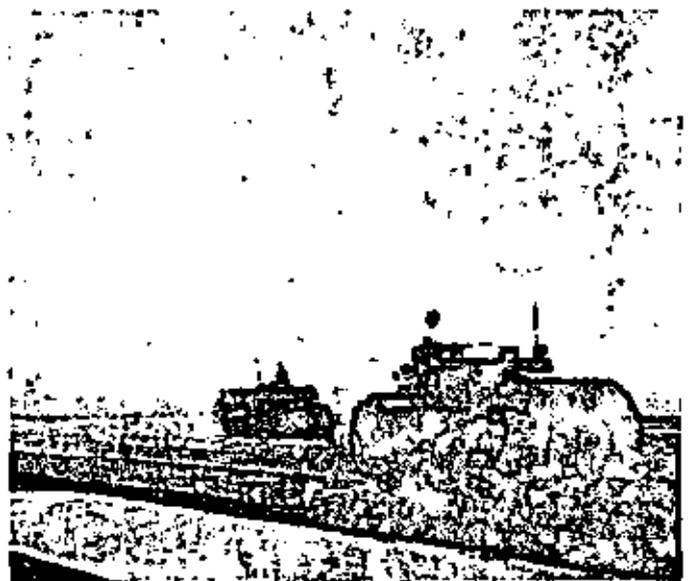
En éste trabajo necesario en dos aeropistas Norte-Sur, 16L-34R y 16R-34L, las cuales no participaban de ayuda federal, los ingenieros de la ciudad decidieron, sin embargo, dar a éstas aéreas un recubrimiento substancialmente en exceso del que hubiera sido necesario para una mera intersección de transición.

La pista Este-Oeste 7L-25R, recibió un recubrimiento con espesor ligeramente mayor a 7.6 centímetros, según lo determinó la especificación de la F.A.A., para lograr un espesor total del pavimento de 34 centímetros. La pista paralela 7R-25L, se recubrió con un espesor asfáltico de 5 a 6 centímetros en el centro, y gradualmente a 2.5 centímetros en la orillas.

Se aplicó un recubrimiento de 9 centímetros cerca del centro de una pista diagonal 12-30, descendiendo gradualmente a menos de 5 centímetros a lo largo de carriles de 23 metros del centro y aproximadamente 2.5 centímetros en sus orillas.

Se usaron dos pavimentadoras Barber-Greene y cuatro rodillos de acero para colocar la capa asfáltica. La obra se terminó el pasado otoño, con un total de 68,000 Tons. de concreto asfáltico y casi 420,000 metros cuadrados de recubrimiento a base de calentamiento-remezclado. El total de las operaciones en la instalación, de acuerdo con el Director del Aeropuerto, se redujeron aproximadamente en 2% durante los períodos de construcción. La mayoría de las pérdidas fueron locales, debido a las prácticas de despegue de las escuelas de aviación que se eliminaron mientras la obra de recubrimiento estaba en ejecución.

Fotografías 5 y 6.- Dos máquinas Barber Greene (a la izquierda), tienden la mezcla asfáltica nueva sobre el pavimento escarificado y tratado con RECLAMITE. Los rodillos de acero (a la derecha), usados para compactar el nuevo pavimento, después de terminada la sección recubierta.





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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Manterimiento de pavimentos en Abilene

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

..SEPTIEMBRE, 1983

Por: C. L. White, Jr., y James E. Baxendale

Se ha probado que el uso de un agente rejuvenecedor como sellador, es de gran valor para los pavimentos nuevos de concreto asfáltico en Abilene, Texas. Antes de las pruebas experimentales en 1965, el mantenimiento de las calles era necesario dentro de los cinco años siguientes. Ahora pasan seis a ocho años antes de que el pavimento requiera mantenimiento.

El costo de la aplicación del material es de 1.10 pesos por metro cuadrado, (una mejora sobre el uso acostumbrado de los riegos de sello, de asfalto y recubrimiento triturado). No solamente se prolongó la vida al pavimento, adicionada al ahorro posterior en los costos, sino que el agente rejuvenecedor resolvió el problema del desprendimiento de agregado y polvo asociado al método de sellado de costumbre.

Experimentación. Las carpetas asfálticas nuevas son generalmente de 2.5 cms. de espesor en las calles residenciales y de 5.0 cms. en las de mayor tránsito. En 1975, una sección de la calle Brent Wood, en la zona residencial, se pavimentó de la manera normal. La mitad de la calle fué tratada y la otra mitad se dejó sin tratar. Se tomaron corazones de prueba y se analizaron después de varios meses y los resultados fueron positivos.

Después de un año y medio, la diferencia entre las dos áreas de pruebas era claramente visible, por lo que la parte sin tratar se regó, entonces con el agente rejuvenecedor. Aún con el retardo, hubo algunas mejoras en el lado sin tratar.

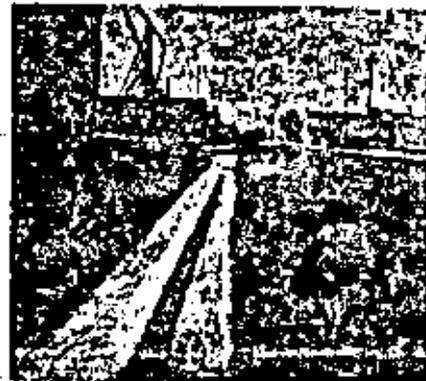
Las pruebas continuaron mientras el agente formaba parte de los nuevos programas de construcción del Departamento.

La tabla muestra los resultados de las pruebas de dos corazones sacados de la parte superior (5 milímetros de profundidad) en un pavimento recién construido. El corazón número 1, provenía de una área de concreto asfáltico tratada, en la calle Brent Wood, que tenía 4 semanas de construída cuando fué tratada en noviembre de 1965.

Se aplicó el agente a razón de 0.55 litros por metro cuadrado. El corazón de prueba se tomó 8 meses después del tratamiento. El corazón núm. 2 fué tomado de una parte que se dejó sin tratar a propósito, cerca de 2.40 mts. de distancia del corazón núm. 1. El corazón de la zona tratada recobró la mayoría de su valor de penetración original y fué de 76.4. En contraste, el corazón sin tratar, dió valores de apenas 19.8.



Fotografía 4, Jim Baxendale (a la izquierda) y Charles L. White, revisando el avance de la obra.



Fotografía 5, Close Up del pavimento que fué tratado hace menos de 5 minutos.



Fotografía 6, Vista de la línea de cuneta inmediatamente después del regado.



Fotografía 7, La unidad regando arena angulosa limpia.

desplazar el agente rejuvenecedor. El agente puede entonces penetrar en el pavimento en la forma usual. Siempre que sea posible, el carril tratado se cierra -- durante 30 minutos después de aplicar el agente rejuvenecedor. A continuación se agrega la arena y se permite el paso del tránsito nuevamente. Dicho tránsito generalmente remueve la arena dentro del día siguiente en que fué absorbido el agente rejuvenecedor.

Los pavimentos nuevos que pueden cerrarse al tránsito por varias horas después - del tratamiento, hasta que se establece la resistencia normal al derrapamiento, - generalmente no necesitan areneo.

Un pavimento de concreto asfáltico de 2 meses de edad en una de las subdivisiones tratadas con 0.54 litros por metro cuadrado del agente rejuvenecedor, exhibió resistencia normal al derrapamiento durante una tormenta tres días después del tratamiento.

Beneficios: Los beneficios siguientes son evidentes en el uso continuo del agente rejuvenecedor como una nueva construcción de sello:

Restaurar el valor de penetración perdido (por endurecimiento del asfalto) - que ocurre durante la construcción.

Sella la superficie para minimizar la oxidación del aglutinante asfáltico.

Reduce el desprendimiento.

Ha demostrado que reduce el mantenimiento de la carpeta a tal grado que no se necesita durante 6 ó 8 años.

El Sr. White, es Superintendente de pavimentación de calles en Abilene Texas. El Sr. Banxendale es Ingeniero de productos especiales de la Golden Bear Div., Witco Chemical Corp.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Como evitar el mantenimiento costoso de las calles

Expositor:

Ing. Rafael Linón Linón

SEPTIEMBRE, 1983

Earl Martin, (jefe) y

Edward R. Lampp, P. E., (Director del desarrollo de la comunidad, en Rocky River, Ohio.

Reimpreso de: The American City

Mayo de 1975.

No destruya los pavimentos nuevos para ajustar los drenajes viejos; use el proceso de rejuvenecer el pavimento y lograr que las calles viejas duren hasta que se haga el trabajo bajo la superficie.

Sin un proceso efectivo para rejuvenecer los pavimentos de las calles de Rocky River (población 23,000) se podrían haber gastado \$ 11'500,000.00 pesos para recubrir las calles deterioradas solamente para destrozarias nuevamente para hacer reparaciones críticas del drenaje. Un programa sistemático para arreglar las calles, usando un aditivo aglutinante emulsificado, costó a la ciudad solamente 830,000 - pesos pero quizá lo más importante es que nos permitió posponer nuestro programa de recubrimiento lo suficiente para terminar las obras de drenaje.

Aunque completamente recubiertas hace 8 ó 10 años, algunas de nuestras calles estaban empezando a mostrar signos de falla en la base y agrietamiento por reflexión. La mayoría de los daños (grietas por contracción, piel de cocodrilo y otros signos de envejecimiento) estaban en el pavimento asfáltico en sí. Hacía dos años que la ciudad había probado la aplicación de RECLAMITE en 8,500 metros cuadrados de nuestras calles con diferentes tipos de carpetas que tenían varios grados de deterioro.

Antes de que realizáramos esta etapa, pedimos información a diferentes ciudades, - estados y dependencias del gobierno para encontrar cual había sido su experiencia para rejuvenecer los pavimentos. La gran cantidad de información que obtuvimos fué virtualmente unánime en la apreciación de sus conceptos. Basados en lo que descubrimos, nosotros realizamos nuestras propias pruebas para:

Determinar la cantidad óptima de aplicación para las calles de Rocky River.

Evaluar la capacidad del pavimento tratado, para resistir el tránsito.

Establecer procedimientos de trabajo adecuados y seguros.

Encontrar y corregir los problemas de coordinación pública.

Aprendimos mucho acerca de lo que se debe hacer y lo que no.

Las pruebas de absorción se realizaron usando un metro cuadrado. Estos cuadros de prueba se marcaron y protegieron para conservar una referencia después de que se había hecho la aplicación de emulsión. Las pruebas mostraron que nuestras calles podrían absorber 0.23 litros por metro cuadrado de emulsión diluida 2:1 con agua

La arena se regó uniformemente sobre la superficie tratada inmediatamente después de la aplicación. La arena que no se incrustó en la superficie, después de dos días ya había sido eliminada.

Las huellas se produjeron durante aproximadamente 48 horas, después del tratamiento. Dichas huellas desaparecieron después de un período de varias semanas debido al tránsito y al clima; provenían del agente aplicado que no penetró o se adhirió a las zonas de concreto. Las huellas en otras áreas recubiertas con pavimento asfáltico no resultaron problemáticas.

Descubrimos un beneficio adicional de la emulsión. Resulta un buen sellador de grietas. Nosotros habíamos tratado de sellar las grietas con alquitrán, pero encontramos que éste es desalojado por el tránsito dejando las grietas totalmente abiertas. La emulsión selladora cierra perfectamente las grietas, y así las conserva. La emulsión concentrada se aplicó en las grietas y se cubrieron con arena. Las grietas más pequeñas se sellaron completamente por el efecto de amasado de la superficie, debido al tránsito.

Las grietas más grandes (hasta de aproximadamente 3,8 cms. de ancho) se sellaron y no hubo desprendimiento de material o ensanchamiento aún después de un año de exposición al uso y al intemperismo.

Este tipo de sellado de grietas es ahora una parte de nuestro programa de mantenimiento. Si una calle va a ser sellada, el contratista debe primeramente sellar todas las grietas usando la emulsión concentrada y la arena, recomendadas por las pruebas. A continuación ya se puede hacer el recubrimiento de sellado de pavimento. Este procedimiento ha probado ser muy efectivo y pospone la necesidad de trabajos y recubrimientos extensivos.

AYUDA PUBLICA:

Los residentes esperan eficacia, especialmente en los trabajos de las calles. Después de una cuidadosa evaluación de la información de las pruebas originales, y con la opinión pública que conocía los resultados, la ciudad programó algunas 40 calles (aproximadamente 220,000 metros cuadrados) para ser tratadas con emulsión. Aunque sólo se terminaron 22.5 km. de calles el año pasado antes de que el clima desfavorable obligara a hacer un alto en el programa, aproximadamente se emplearon 30,300 litros del agente rejuvenecedor.

Pero terminamos el trabajo que habíamos dispuesto, aplazando las reparaciones principales de las calles hasta después de que se terminaron las obras de drenaje. En el proceso, también encontramos una herramienta muy valiosa para el mantenimiento, y lo inesperado fué que no se ahorraron fondos para la reconstrucción de calles.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

La ciudad de Westminster evalua su plan
de mantenimiento de 8 años

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

LA CD. DE WESTMINSTER EVALUA SU PLAN
DE MANTENIMIENTO DE 8 AÑOS.

POR:

J A M E S S T I L L W E L L
DIRECTOR DE SERVICIOS DE CAMPO DE LA CIUDAD DE WEST-
MINSTER, CALIFORNIA.

REIMPRESO PARA BETTER ROADS - DICIEMBRE DE 1975

Witco
Chemical
Golden Bear Division

(Representante en México: Reciclados y Pavimentos S.A.)

División del área de trabajo:

3

El área de trabajo se dividió en segmentos de 250,000 a 30,000 metros cuadrados, lo cual permitió iniciar el trabajo a las 8:30 hrs. A.M. con todas las calles -- abiertas al tránsito hasta las 14:00 hrs. P.M. Se entregaron personalmente a los residentes cartas de información y restricciones de estacionamiento. Se recomendó el areneo después del tratamiento para proporcionar la tracción adecuada. Inicialmente, la distribución de la arena se hizo manualmente con palas. Como este método resultó insatisfactorio, se usó un pequeño distribuidor de fertilizantes jalado por un Pick-up, dando buenos resultados. Las calles se barricaron durante el tratamiento especial y el areneo subsecuente, para poder controlar el tránsito durante las horas de trabajo.

La operación de sellado se hizo sin problemas, y se recomienda como un procedimiento a seguir por otros. Es necesario hacer un plan global detallado y notificar a los residentes del área antes de iniciar los trabajos de la obra; las calles deben ser reparadas y limpiadas antes del tratamiento; el agente rejuvenecedor de be aplicarse con cuidado, en la cantidad recomendada y uniformemente; se debe colocar suficientes barricadas; la arena adecuada debe estar disponible y usarse como se prescribe; además las cuadrillas de trabajo deben estar bien informadas de sus responsabilidades.

* Información inicial; 1967

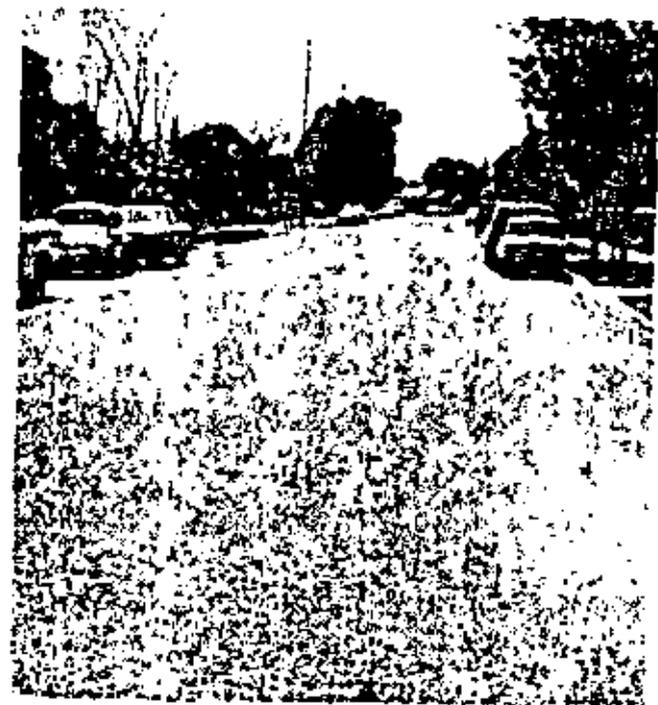
Se elaboró un reporte inicial en diciembre de 1967 aproximadamente 3 meses después de la aplicación

Resultados:

No se tiene disponible el resultado de una evaluación final en esta etapa por lo que se infiere que los efectos completos de la aplicación se investigaron hasta el período comprendido entre julio y agosto de 1968. Los resultados fueron los siguientes:

- a) La carpeta se hace más densa y cerrada
- b) Los parches en la carretera no muestran signos de desprendimiento.
- c) Toda la arena aplicada después del tratamiento se incorporó a la estructura -- del pavimento o se eliminó por otros medios. No se requirió barrido ni limpieza especial.
- d) Hubo incremento en el flujo del agua por las cunetas de concreto hidráulico.

Fotografía 2, La misma calle Iroquois en 1975, aún en servicio sin el recubrimiento planeado. El tratamiento con el agente rejuvenecedor mantuvo este pavimento en condiciones de servicio más tiempo de lo que esperaban los funcionarios de la Ciudad de Westminster, y el pavimento está aún en buenas condiciones sin necesidad de un nuevo plan de trabajo.





SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

El estado de Colorado extiende su temporada de
- sellado superficial

Expositor:

Ing. Rafael Jiménez Jiménez

SEPTIEMBRE, 1983

EL ESTADO DE COLORADO EXTIENDE SU TEMPORADA DE SELLADO SUPERFICIAL

Reimpreso de Public Works

1

Octubre de 1977.

Los pavimentos asfálticos tendidos durante los períodos óptimos para la pavimentación, bajo condiciones favorables de temperatura y tránsito, comúnmente tienen una buena acción de sellado. Cuando cualquiera de estos factores no están presente, los pavimentos pueden mostrar desgarramientos superficiales después de unas cuantas tormentas de invierno. La división de carreteras del Estado de Colorado ha desarrollado una técnica que detiene este desprendimiento de material superficial y sella la carpeta contra la introducción de agua y aire, tan pronto como se descubre la necesidad de una atención especial, sin considerar el período del año.

En los primeros días del invierno pasado, se realizaron dos proyectos de sellado. Uno fué en Colorado 50 al Sur de Yuma; el otro fué en el camino federal U.S. 138 al Oeste de Julesburg. La primera obra fué ejecutada un 18 de diciembre; la segunda el 21 de diciembre. En ambos días la temperatura ambiente era de aproximadamente 2°C y los pavimentos estaban secos. El sellador, agente rejuvenecedor RECLAMITE se aplicó a 50°C en la proporción de 0.17 litros por metro cuadrado. El trabajo se llevó a cabo al costo unitario, incluyendo mano de obra y equipo, de aproximadamente 0.81 pesos por metro cuadrado.

La carpeta tratada se cerró al tránsito durante una hora en la Ruta 59 y por una hora y media en la U. S. 138. Se regó arena en las intersecciones sobre un paso a desnivel en la carretera federal aproximadamente una hora después del tratamiento en una proporción cercana a 0.5 litros por metro cuadrado justamente antes de abrir al tránsito el pavimento tratado.

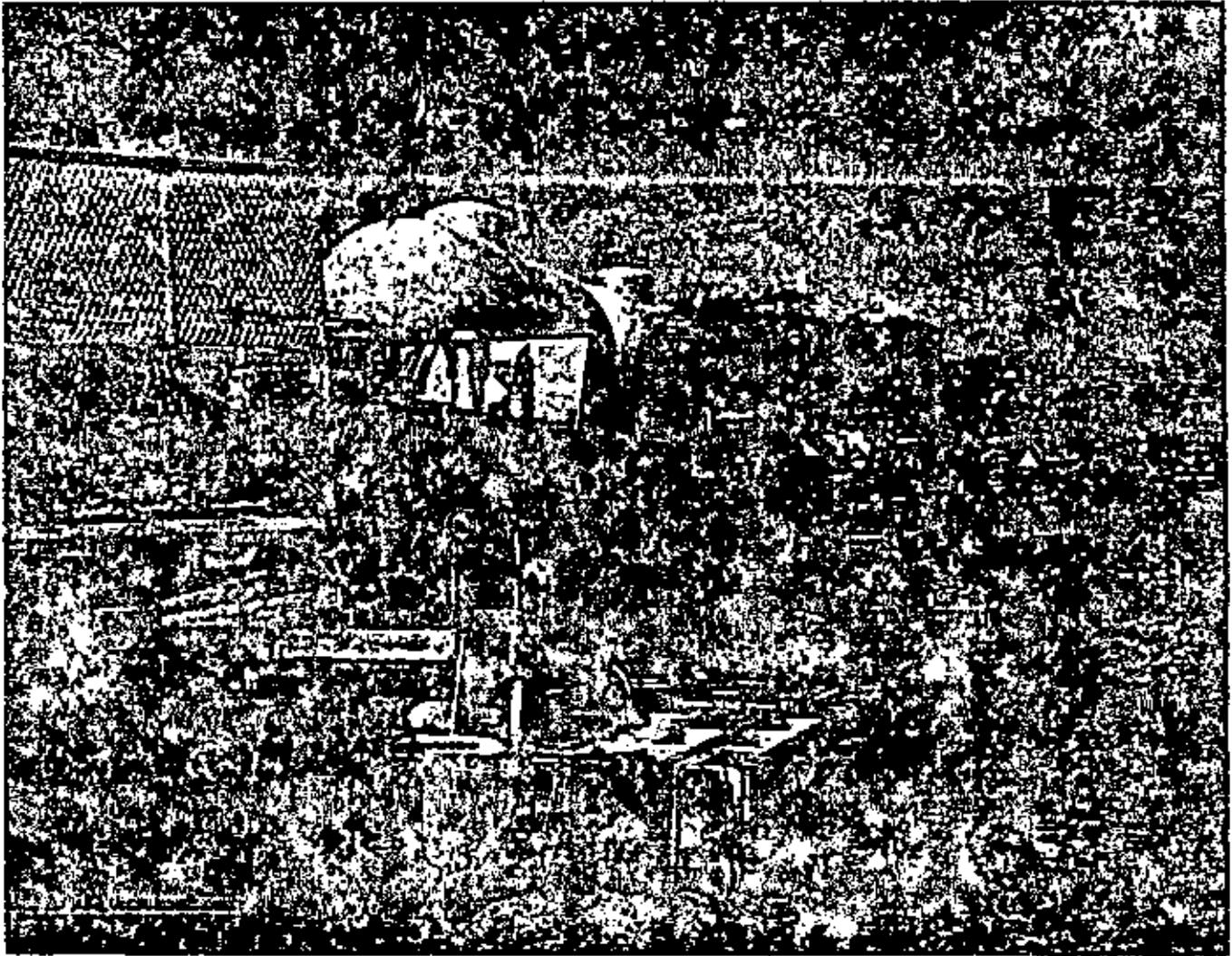
Milo Ballinger, Superintendente del Departamento del Distrito, considera que este mantenimiento preventivo ayuda a mantener a los pavimentos en buenas condiciones superficiales durante algunos años en la mayoría de las obras.

Los pavimentos construídos en la parte este del distrito de Greeley, en los llanos en su mayoría están diseñados con mezclas de arena. Los que están en la parte central del distrito se construyen con grava de río. En las montañas de la sección oeste, se utiliza como agregado piedra triturada. El cemento asfáltico que normalmente se usa con estos diferentes agregados, tiene un valor de penetración de 120-150. El RECLAMITE trabaja bién en todas las secciones del distrito. El hecho de que se tenga disponible un sellador de agua fría, significa que se puede tener menos preocupación por terminar las operaciones de pavimentación a tiempo para que se produzca el sellado natural durante el otoño. Los trabajadores encargados de regar el RECLAMITE, encuentran que es fácil y práctico su manejo, lo mismo que su --

CAMINOS RURALES Y URBANOS 103

(Una publicación Excranton para Ingenieros y Funcionarios de Obras Publicas)

Enero - 1976



LAS BRIGADAS DE TRABAJO DISTRITALES REDUCEN LOS COSTOS INTERNOS DE REVESTIMIENTO.

- + Detectores de presión de defectos en las cubiertas de los puentes para servicio de mantenimiento más rápido.
- + Equipos de la ciudad con aspiradores barren calles y limpian depresiones y hoyancos.
- + Las pruebas estatales muestran que los señalamientos son efectivos para evitar el congestionamiento en carriles.

Trituración y Mezclado: Todas las plantas trituradoras se colocan en los bancos, propiedad del Estado, o rentados a los propietarios. En casi todos los casos, la piedra que empezó a triturarse es "Caliche" (compuesto esencialmente de caliza -- suave y cantidades variables de arcillas).

Downey informa que las caras fracturadas del caliche proporcionan resistencia antiderrapante a la superficie y también permiten diseñar la mezcla de granulometría abierta que permita al agua escurrir. La densa base y RECLAMITE evitan que el agua se infiltre profundamente.

La trituradora puede producir de 300 a 750 metros cúbicos de material al día, dependiendo de la naturaleza del banco y de la cantidad de desperdicio. La unidad -- también produce material extra que se coloca a un lado para que las patrullas locales del Distrito lo usen para arenar o proporcionar parches antiderrapantes.

El estado tiene una planta mezcladora Barber Greene que es una unidad móvil que se remolca a varios lugares. La cual proporciona un volumen continuo triturado -- 100% a 1.7 cms. de tamaño máximo con cemento asfáltico con penetración de 85-100 (9% de la mezcla total). para que las pavimentadoras coloquen nuevos espesores.

Pavimentación: El estado emplea una pavimentadora asfáltica Pioneer para colocar el recubrimiento de 1.7 a 2.0 cms. de espesor. La unidad inicia su recorrido en el carril que ha sido escarificado en caliente. Ya que la pavimentadora trabaja -- más rápido que la escarificadora, la pavimentadora pronto acorta la distancia entre las dos unidades.

Downey dice que la operación de pavimentación sola está ayudando a reducir el costo de la misma entre 30 y 50%. Además la planta de mezcla para sello en la obra -- de Clovisatexico, reduce de 30 a 50% el valor de \$ 200,000.00 que costaría la mezcla en caliente.

Lo anterior se debe a que la mezcla en caliente requeriría más material para un espesor de 4.0 a 5. cms. sobre un nivel de 1.5 cms. de la capa base. También en este procedimiento no se necesita una tercera pasada del rodillo de acero como se ría para el caso de la mezcla en caliente la cual necesita una tercera pasada del rodillo para alisar.

Comunmente se emplea un rodillo neumático Huber para lograr la densidad de compactación. El estado requiere un 95% de compactación en la pasada final.



Fotografía 2, Trabajando en un carril ya escarificado y regado con agente rejuvenecedor, los pavimentadores del Distrito tienen espesores de 1.7 a 2.0 cms.



Fotografía 3, Las plantas mezcladoras móviles se remolcan de una obra a otra y pueden proporcionar entre 350 a 500 metros cúbicos por día.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Rehabilitación

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

38¹
R E H A B I L I T A C I O N

"LA PRIMERA VENTAJA EN LA CONSTRUCCION DE CAMINOS
DEBE FAVORECER EL PRESUPUESTO"

REIMPRESO DE: MEJORES CAMINOS — OCTUBRE DE 1976

**Witco
Chemical
Golden Bear Division**

(Representante en México: Reciclados y Pavimentos S. A.)

Fotografía 1. La petrolizadora aplica reclamite en 3 km. en carretera federal 44 de Dakota del Sur a 0.22 litros por metro cuadrado.



Se han usado 950,000 litros de agente rejuvenecedor desde 1969, en Dakota del Sur tratando aproximadamente 485 kms. de carreteras de dos carriles y aproximadamente 7.30 mts. de ancho. En los pavimentos muy densos, el Departamento aplica el procedimiento usando un tanque distribuidor que riega una cantidad de 0.23 a 0.32 litros por metro cuadrado. El trabajo de mantenimiento se realiza de mayo a noviembre, continuando el llenado de grietas hasta los primeros días de enero en algunos años, en el invierno las cuadrillas de trabajo se dedican a remover la nieve y el hielo y a controlar la erosión. El intervalo de temperaturas desde -34 a 44°C, hacen que el agrietamiento de la superficie continúa siendo un problema.

El gobierno del estado ha encontrado que el mantenimiento de los caminos, tratándolos con el agente rejuvenecedor, tiene un costo mínimo, comparado con el de las áreas sin tratar.

(Distribuido por Cortesía de la Witco Chemical Golden Bear División).



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Rejuvenecer los pavimentos economiza el dinero de
los impuestos

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

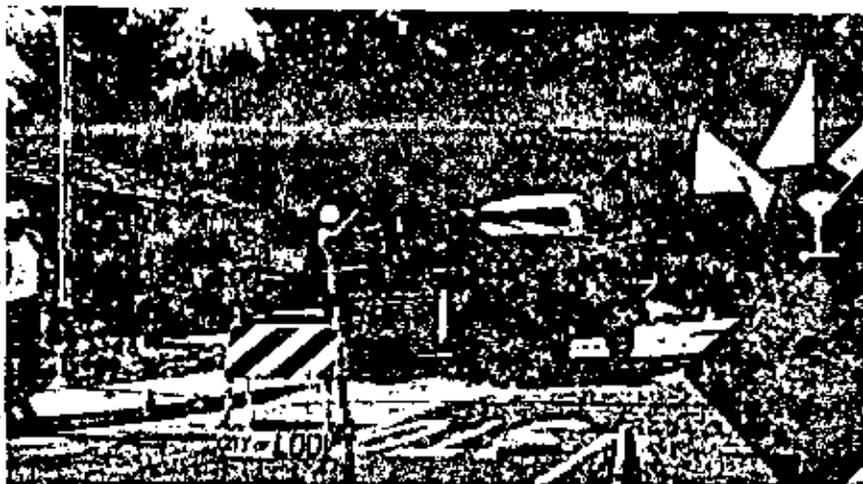
REJUVENECER LOS PAVIMENTOS ECONOMIZA EL DINERO DE LOS IMPUESTOS

Jack Ronsko.- Director de Obras Públicas y

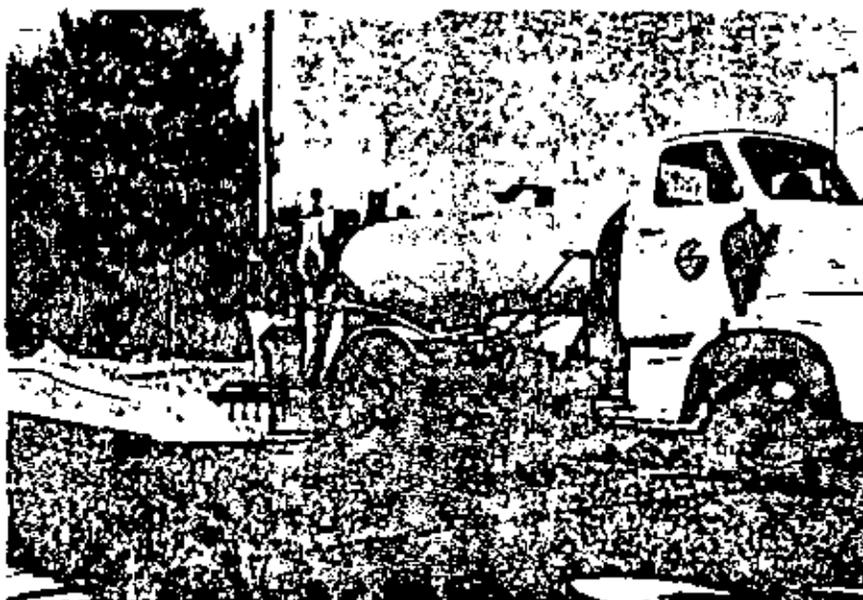
Glen Baltzer.- Supervisor de Pavimentos de Lodi, California.

1

Reimpreso de la Revista Obras Públicas
de Julio de 1976, Ridgewood, N. J.



Fotografía 1, El agente rejuvenecedor RECLAMITE es aplicado en una calle residencial que fué pavimentada el año anterior. Este mantenimiento preventivo oportuno paga dividendos a la ciudad.



Fotografía 2, El acondicionador del pavimento se aplica con un distribuidor en la proporción de 0.45 litros por metro cuadrado. El tratamiento evita el desprendimiento, grietas y otros signos de deterioro.

El agente rejuvenecedor se almacena en un tanque de 20,000 litros localizado en la unidad de servicios municipales. Lo anterior limita la compra del material a dos camiones tanque (aproximadamente 40,000 litros) por vez. En la mayoría de los fraccionamientos, los encargados realizan todas las obras públicas necesarias, tales como tendido de drenajes, alcantarillas, tuberías y alambrado, banquetas, cunetas y pavimentos de calles, y después proceden con la construcción de edificios.

El Departamento de Lodi lo hace en forma diferente. Todas las obras listadas anteriormente se terminan en la forma normal, excepto para la sección de pavimentación de calles, que se contruye hasta una primera etapa. Los suelos en el área son muy estables, con muy buen valor de soporte. Debido a esto, se usan los suelos del lugar para la capa de base. La nivelación y la compactación obedecen a las especificaciones, y además se recibe la penetración del rebajado asfáltico de fraguado lento (FM-1) en dos aplicaciones para completar una cantidad total de 2.0 litros por metro cuadrado.

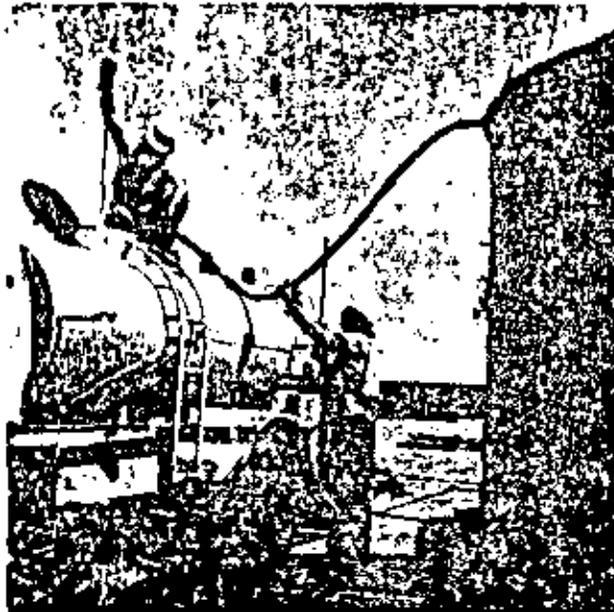
Después de dos o tres años, cuando la mayoría de las obras privadas se han terminado, cualquier daño en las calles se repara y la sección se completa con la colocación de un espesor de 5 cms. de concreto asfáltico. Debe hacerse notar que el pavimento temporal (capa base), la cual ha sido nivelada para ajustarse a las cunetas, ahora se renivela en las orillas para permitir la colocación de la sección de 5.0 cms. de concreto asfáltico.

Posponiendo la construcción del pavimento definitivo hasta que el nuevo fraccionamiento se desarrolle, la Ciudad de Lodi evita los daños en los pavimentos nuevos provocados por las aberturas en la calle para instalar los servicios necesarios no considerados oportunamente, daños debidos a los camiones pesados (de construcción) y la escarificación de los equipos usados en el embellecimiento de las zonas residenciales. Mientras los usuarios se cambian a los nuevos fraccionamientos de la Ciudad, encontrarán las calles nuevas y atractivas libres de baches y que se conservarán así por mucho tiempo.

En dicha ciudad los pavimentos nuevos se tratan con RECLAMITE en la estación posterior a su tendido. Las calles que se construyeron y trataron hace 5 ó 6 años están aún en buen estado, sin desprendimientos, grietas ú otros signos de deterioro. Las calles de mayor tránsito se tratan dentro de los dos meses siguientes a la pavimentación antes de que la superficie sea dañada.

La ciudad de Lodi se localiza cerca del delta de los Ríos Sacramento y San Joaquín y tiene algunos desniveles para desviar las inundaciones ocasionales de la primavera. En algunas zonas los propietarios estaban interesados en terminar con las tolvaneras en las áreas cercanas a sus propiedades.

Fotografía 4, Al bombear otro carga de material al tanque de almacenamiento de 20,000 litros, las cuadrillas comprueban cuidadosamente el nivel para evitar derrames.





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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAMIENTO DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Mantenimiento de carreteras

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

El reciclamiento de los pavimentos asfálticos gana impulso.

Temporalmente, a los constructores de carreteras del mundo occidental les pareció que se habían convertido en una especie en peligro de desaparecer.

Los fondos para la construcción repentinamente se redujeron y los planes para nuevos caminos se pospusieron. Pero aún las mejores carreteras pronto requieren reparación y se hace evidente que hay un buen futuro para los hombres que mejor saben reconstruirlas.

La noticia más estimulante en la industria caminera actualmente es la de que se han superado los mayores obstáculos que se oponían para la ejecución del reciclamiento de los pavimentos asfálticos viejos, en forma económica y con procedimientos prácticos aceptables. Lo anterior en este caso se refiere a los fabricantes de equipos de construcción, ingenieros de caminos, y expertos en asfalto. El más grande problema que se presentaba era el de reducir los niveles de la emisión contaminante en las obras con mezcla en caliente, hasta el punto donde tales niveles no excedieran los lineamientos para mantener el aire puro, sugeridos por la Agencia Americana para la Protección del Ambiente. El asfalto viejo no puede triturarse y pasarse a través de una planta de mezcla en caliente, en una manera normal como se hace con el asfalto nuevo; las temperaturas son demasiado altas en los secadores de la planta por lo que las partículas finas tienden a la ignición y

RECICLAMIENTO EN MEZCLA CALIENTE

Uno de los primeros fabricantes que encontró una solución fue la Cfa. Manufacturera de Iowa. Desarrolló un sistema para las plantas Cedarapids, de tambor mezclador de asfalto, que permite la producción de un pavimento de calidad, proveniente de una mezcla de pavimento asfáltico recuperado y un agregado virgen. Este nuevo proceso cumple con los reglamentos de la Agencia para la Protección del Ambiente con respecto a la regulación de emisiones cuya especificación de capacidad estándar es de 1.4 granos/m³.

De acuerdo con los funcionarios de la Cfa., se han realizado pruebas extensas en el Condado de Kossuth de Iowa, donde fueron colocadas 38,500 toneladas de asfalto reciclado para construir un pavimento de profundidad completa en un trecho de 3 km de un camino secundario, y como recubrimiento de 20 km del pavimento existente (el año pasado fue el 3er. año consecutivo en que el Condado intentaba el reciclamiento y el único en que el sistema logró ser aceptado por los funcionarios encargados de la protección del ambiente y también por los funcionarios del Contratista y del Departamento de Carreteras). El asfalto recuperado se trituró en una unidad de Cedarapids de quijadas trituradoras primarias y a continuación se redujo y se tamizó en una unidad secundaria.

El secreto del sistema de reciclamiento del asfalto en la unidad Cedarapids, es el concepto de "tambor dentro de un tambor". Un tambor pequeño se inserta en el extremo de entrada de una planta común portátil Cedarapids de tambor mezclador de asfalto. Mientras que el material nuevo se introduce en -

Otra de las firmas pioneras en el campo de reciclamiento del asfalto es la Boeing Aerospace Company. Su modelo 400 de planta con tambor mezclador está equipada con un nuevo sistema de control de combustión de marca "Pyrocone".

El Pyrocone es un cilindro de una alta aleación de metal, instalado en el extremo del quemador del tambor mezclador, entre la entrada del tambor y el quemador. Su trabajo es controlar la intensidad de la cantidad de calor que entra al tambor mezclador. En el reciclamiento, esto permite el procesamiento directo del asfalto viejo triturado sin necesidad de equipo de manejo extra o sistema para el control de la producción.

El sistema Pyrocone actúa como cubierta contra la radiación, entre la flama del quemador y el agregado que se introduce en el tambor. En el reciclamiento, controla la cantidad de los gases de combustión y el aire secundario en tal forma que reduce la temperatura del chorro de gas que entra al tambor, ésto es para prevenir el quemado de las partículas de asfalto y del agregado recubierto, eliminando las causas principales del humo en el proceso de reciclamiento.

El sistema Pyrocone se puede instalar fácilmente en los tambores mezcladores Boeing existentes y también es ofrecido opcionalmente en las plantas nuevas.

En una obra reciente en Texas, que involucraba aproximadamente 5 km de pavimento asfáltico viejo-uno de los mas grandes de 8 o más proyectos de reciclamiento asfáltico realizados en los Estados Unidos en los dos años

nuevo se introduce por la boca del tambor mezclador estándar. El material recuperado se introduce hacia abajo de la corriente, justo atrás de la flama del secador.

El Roto-Cícler se puede accionar, para una producción de mezcla hasta de 70/30 del material recuperado y del nuevo, a 100% de la producción estándar de todo el material nuevo en una operación continua.

La opción está disponible en todas las nuevas plantas con unidad de tambor mezclador CMI, que alcanza capacidades de producción desde 100 a 750 ton/hr y el sistema puede retroajustarse para la mayoría de las plantas CMI con tambor mezclador.

CÍRCULO NUM. 246 DEL KARDEX PARA SERVICIO DEL LECTOR.

La Barber-Greene Co. está trabajando en su versión de un recuperador del asfalto, que está programado para producirse a fines del presente año.

Los fabricantes de tambores mezcladores no fueron los únicos que buscaban un sistema limpio para el reciclamiento del asfalto, y hubo una cantidad de contratistas de caminos e Ingenieros de Obras Públicas que se empeñaron para encontrar su propia solución al problema de la polución. Un grupo en Minnessota efectuó solamente el tratamiento de la grava vieja triturada a través del secador, calentando el material a temperaturas más altas que las normales. La mezcla vieja de la carpeta se adicionó entonces al agregado calentado en el molino, eliminando por consiguiente cualquier contacto entre la flama y el pavimento viejo. El calentamiento extra hizo que la grava recuperada suavizara la mezcla del pavimento para que requiriera solamente 3% de asfalto nuevo para producir la mezcla final.

un 3% de asfalto nuevo en lugar del "normal" en la mezcla nueva que es de 5 a 6%. Económicamente, el nuevo proceso da al usuario la "satisfacción completa" con la nueva mezcla convencional.

Los beneficios económicos del reciclado son obvios pero difíciles de definir, debido a que las condiciones varían de un lugar a otro. Si existen materiales en la parte superficial que puedan emplearse, la diferencia sería menor de aquella en que fuera necesario traerlos desde 10 ó 20 km de distancia.

El costo del cemento asfáltico es otro factor. Ahora se vende a \$77 (dólares) la ton líquida en algunas zonas y se predice que el precio se elevará hasta \$120 o más para 1980.

Un estudio con datos promedio nacionales, indica que el costo del asfalto reciclado es de \$11.04/ton puesto en el lugar, mientras que el costo de un asfalto virgen es de \$14.68/ton en el lugar (hay un ahorro de aproximadamente 25%). Estas cantidades son en dólares.

Actualmente, parecería que el asfalto reciclado está pasando la etapa experimental, aunque todavía hay mucho por aprender. Por ejemplo, un técnico reciclador observó que la mezcla asfáltica triturada almacenada por largos periodos de tiempo a temperaturas altas tiene que retritarse por segunda vez antes de que pueda usarse nuevamente.

Hasta ahora hemos hablado principalmente de reciclamiento en "mezcla caliente", donde la mayor parte de la estructura del pavimento existente, incluyendo en algunos casos la base sin tratar, se remueve, se tamiza, y se

RECICLADO EN MEZCLA FRÍA

El reciclado en mezcla fría es uno de los varios métodos donde la estructura completa del pavimento existente incluyendo en algunos casos, la base subyacente de material sin tratar se procesa en el lugar o bien se traslada a la Planta Central.

Los materiales se mezclan en frío y pueden reusarse como agregado para base, o mezcla asfáltica, pudiéndose agregar otros materiales durante el mezclado para proporcionar una base de resistencia más alta. Este proceso requiere que se use una carpeta asfáltica.

CASOS EXPERIMENTADOS:

El Departamento de Carreteras de Texas recientemente probó el avance del reciclado en frío en una sección de la carretera rural US 227, de 13.2 m de ancho con 2 carriles de 3.9 m y hombros de 2.7 m la cual soporta tránsito constante de autos y camiones y, requería con urgencia mantenimiento correctivo.

El camino original consistía de una carpeta de 50 mm de mezcla en caliente sobre una base flexible de 300 mm de espesor de caliza triturada. Diez años después se tendió una capa adicional de 50 mm de mezcla en caliente, sobre el pavimento. Desde entonces han sido aplicadas 3 capas de penetración de asfalto y agregado sobre la carpeta.

reusarse = usarse nuevamente.

El tránsito controlado y moviéndose lentamente se dirigió sobre el camino tratado, durante un corto período de tiempo, para proporcionar compactación adicional por amasado. Finalmente, se tendió una capa de penetración de 12 mm, de mezcla de agregado-asfalto.

Los ingenieros de caminos que intervinieron, dicen que las operaciones de reciclado (caliente o frío) necesitan aproximadamente 1.5% de asfalto nuevo mientras que los recubrimientos necesitan de 5 a 8% de material nuevo. El reciclado en frío ahorra cuando menos 40% del costo de un recubrimiento de 100 mm sobre el pavimento dañado y adiciona años a la vida del camino, libres de mantenimiento.

Probablemente no todos los niveles superficiales aceptan esta simple colocación que los sobrepasa y crea sus propios problemas. -- Esta sería la etapa ideal para analizar la situación contestando a las siguientes preguntas:

- ¿ Puede el puente sostener el peso adicional de otro recubrimiento?

- ¿ Un nuevo recubrimiento reducirá seriamente el claro para los camiones bajo un viaducto o a través de un túnel?

- ¿ Se tendrán que elevar los bordes para asegurar el drenaje adecuado del flujo del agua y la protección de los peatones?

- ¿ Qué pasará con los pozos de visita y las coladeras del drenaje?
¿ Quedarán más abajo que la superficie del camino causando problemas a los automovilistas?

- ¿ Tolerará el presupuesto de rehabilitación el costo de los materiales del nuevo recubrimiento a los precios inflacionarios actuales?

- La decisión final puede ser aún en favor de un recubrimiento, - -
¿ pero por qué no usar el material del pavimento que ya está en el lugar?

- Levantándolo, reciclándolo y recolocándolo se ahorra el dinero de los impuestos de 3 a 5 dólares por ton.

(76°C) no se logró más allá de una profundidad de 9.5 mm por medio de una desbastadora en caliente, ni más allá de 12.7 mm por medio de una desbastadora caliente, que trituró en frío más allá de esa profundidad.

Uno de los más activos promotores del reciclamiento de pavimentos es la CMI Corporation, de Oklahoma, City, E.U.A., la cual parece tener más ideas sobre esta nueva tecnología que podría llamarse "perfilamiento del pavimento" Bill Swisher residente de la CMI les dirá que la capacidad de producción alta de sus métodos para remover el pavimento y controlar automáticamente el perfilamiento, ha creado varias opciones nuevas de mantenimiento para todos los tipos de pavimentos -opciones que substancialmente reducen, y en algunos casos inclusive eliminan los nuevos requerimientos para los materiales de los contratos de recubrimiento-.

"Algunas de estas opciones" indica Swisher, "incluyen: perfilamiento para el buen uso de un pavimento estructuralmente sano sin ningún recubrimiento; perfilamiento previo al recubrimiento para restaurar el pavimento afectado; perfilamiento para textura con resistencia especial al derrapamiento; perfilamiento para suavizar la superficie previamente a la aplicación de un recubrimiento delgado; y perfilamiento para un pavimento de espesor completo que se remueve y se somete a reciclamiento".

Los futuros compradores de desbastadoras frías y calientes son asesorados sobre las operaciones reales, análisis de comportamiento, y su comprobación por medio de relaciones, requerimientos de combustibles, y costos por reemplazamiento de las piezas cortadoras. También estudian la versatili -



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

SIGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Reciclamiento del concreto hidráulico

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

RECICLAMIENTO DEL CONCRETO HIDRAULICO

1

La idea de incorporar el concreto hidráulico viejo en un nuevo camino proviene desde los días de la reconstrucción que siguió a la 2a. guerra mundial.

Quizá uno de los intentos mejor documentados para reciclar el concreto de cemento Portland en una profundidad completa fue hecho en 1976. En aquel tiempo, el Departamento del Transporte del Estado de Yowa de los Estados Unidos, había contratado los trabajos para demoler un camino viejo de concreto que estaba recubierto de una capa asfáltica de 75 mm.

El proyecto estuvo caracterizado por dos conceptos diferentes:

- En el primero, el recubrimiento asfáltico fue despegado del concreto y el concreto del Cemento Portland se trituró para proporcionar agregado para un pavimento reciclado de profundidad completa de 225 mm.

En este caso, aproximadamente 15,000 ton de agregado para producir aproximadamente 5,500 ton de concreto triturado desde 0 a 35 mm.

- El segundo designado para un pavimento con espesor de 275 mm consistente de 175 mm de concreto reciclado y mezcla asfáltica en la capa inferior y 100 mm de concreto hidráulico reciclado para la superficie. La arena del concreto se usó para mejorar la trabajabilidad de la sección del camino de profundidad completa y la mezcla para el recubrimiento con la composición del diseño.

Una retroexcavadora desquebrajó el pavimento asfáltico viejo y el material se transportó hasta una trituradora primaria de quijadas de 105 cm donde se trituró entre 100 a 150 mm, entonces en una trituradora secundaria se redujo el con

para el suelo cemento. También puede usarse en bases de concreto (apoyo del concreto) usando mezcladoras de concreto y pavimentadoras. El concreto reciclado puede posteriormente usarse como agregado en un nuevo pavimento de concreto si las pruebas del nuevo concreto hechas con el agregado del concreto triturado indican que la resistencia y la durabilidad son aceptables".

Materiales asfálticos	Cemento - ampliamente usados y ofrecen ventajas de costo. asfáltico, emulsiones y rebajados	Bajo costo, fácil colocación, necesitan poco tiempo de curado.	No siempre se usa la mezcla adecuada. Muchos de estos parches tienen poca vida y en las cubiertas de puente, algunos pueden acelerar el deterioro del concreto cercano.
Guss-asfalto	Ampliamente usado en Europa para las membranas en las cubiertas de puente bajo las carpetas de otros materiales.	Parece ser altamente impermeable y resistente al agua.	Se vierte muy caliente, a 200°C.
Sulfato de calcio	Algunas marcas han producido buenos resultados. El uso de buenas marcas se justifica para los parches pequeños en áreas de mucho tránsito.	Gana resistencia rápidamente y puede usarse a temperaturas de congelamiento.	No se ha encontrado durable en todos los casos en clima húmedo o frío.

Indicaciones sobre la carta: Esta carta está basada en un resumen de la cooperativa nacional para el programa de investigación de carreteras, síntesis Núm. 45 titulada "Materiales de rápido fraguado para resanar (parchar) el concreto". La síntesis intenta reportar varias prácticas, que hacen recomendaciones específicas donde no se tienen guías detalladas en los manuales.

La síntesis 45 es de interés especial y muy útil para los ingenieros encargados del mantenimiento, materiales, y de todos los que busquen información sobre las marcas de materiales Americanos para resanar pavimentos de concretos y cubiertas de puente.

Como una base razonable para comparación se sugiere el Tipo III de cemento. Para hacer una mezcla rica (de 390 a 560 kg de cemento/m³ de concreto) conteniendo 2% de cloruro de calcio, aire incluido, y una cantidad mínima de agua para mezclado lo cual producirá resistencia estructural y contra la abrasión, suficiente para abrir al tránsito en cuatro o cinco horas cuando la temperatura no sea inferior a 10°C.

Cualquiera que sea el material para resanar, es muy importante la preparación del área que se va a parchar. El reporte de la NCHRP indica que las herramientas para impacto tienden a dejar una capa dañada en el concreto lo cual puede causar que el parche falle. Los investigadores sugieren como el mejor medio para preparación el chorro de agua.

El reporte de la NCHRP es muy crítico con respecto a los productos "nuevos" y deplora la escasa información disponible sobre el comportamiento de un producto, mientras que al mismo tiempo reconoce la falta de procedimientos para la evaluación

LISTA DE FOTOGRAFÍAS

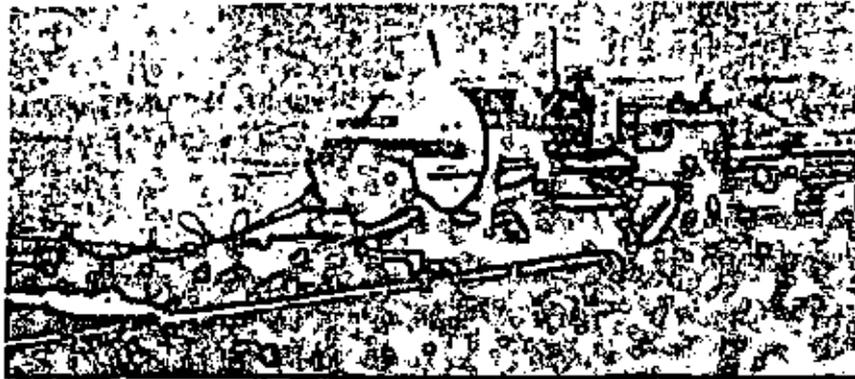


FOTO 1 - WIRIGEN - Es una superdesbastadora para trabajar en caliente, que ha sido mejorada para doblar su velocidad de operación en aproximadamente 100 m²/hr. y desbasta hasta una profundidad promedio de 50 mm. — Esto se logró por medio de un banco extra de calentadores. Normalmente, hay una hilera frontal de quemadores LPG de alta presión para vaporizar cualquier agua sobre el pavimento y a la derecha en la parte de atrás tiene un banco de calentadores de gas e infrarojos para suavizar dicho pavimento. Un tanque de 6,000 lt. proporciona el combustible para los quemadores y calentadores. La unidad tiene una amplitud de corte de 3,800 mm. y una profundidad máxima de corte de 110 mm. (Círculo Núm. 247 del servicio de kardex para el lector).

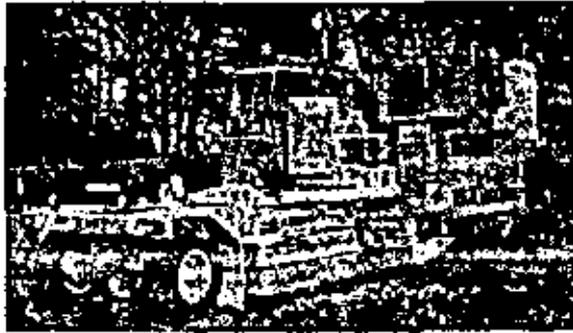


FOTO 4 - MILLARS - Esta desbastadora de pavimentos se introdujo originalmente en 1972 como desbastadora en caliente. Ofrece una alternativa para las flamas y el humo al trabajar en caliente y para el ruido y estremecimiento cuando es para trabajar en frío, de acuerdo con su literatura. La MK III se dice que es doblemente productiva, gracias a un incremento en el tamaño y la potencia de las unidades hidráulicas y en el doble número de dientes en cada una de las cabezas cortadoras operadas individualmente. (Círculo Núm. 249 del servicio del kardex para el lector).

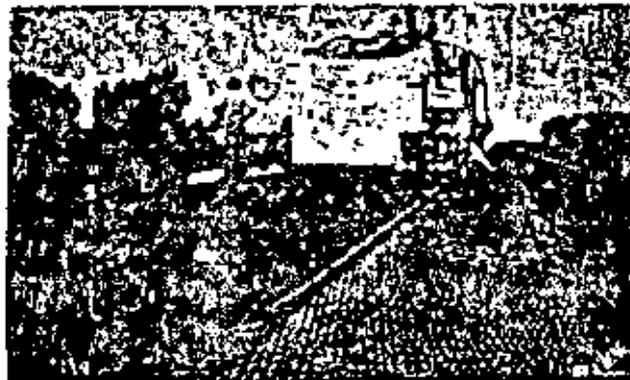


FOTO 5 - CMI Roto-MILL - Esta desbastadora superficial tiene características de solidez y está lista para usarse inmediatamente. Mejora la resistencia al derrapamiento y en climas húmedos drena el agua para reducir los riegos. (Círculo Núm. 251 del servicio del kardex para el lector).

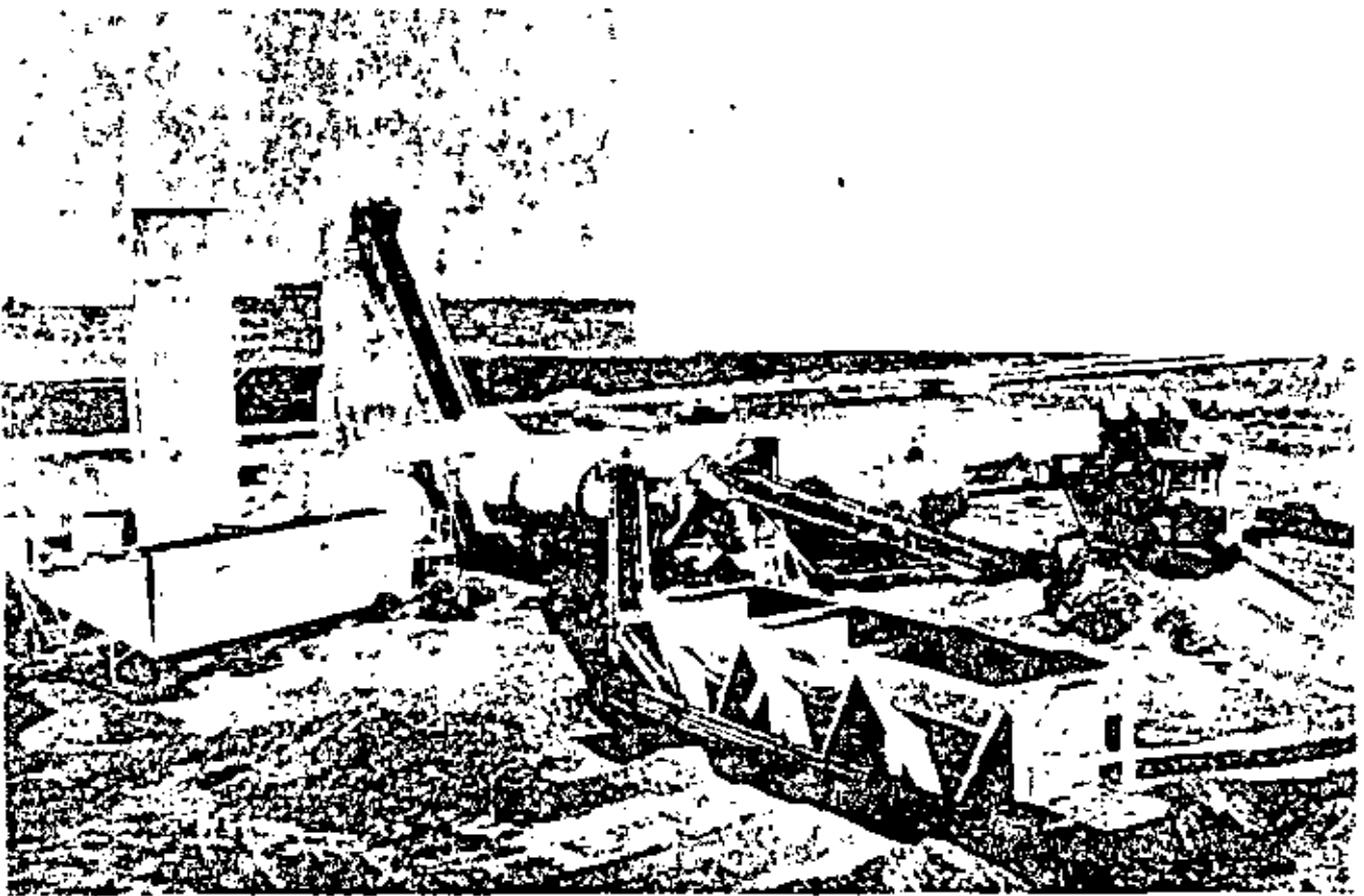


FOTO 7 - La CEDARAPIDS - "tambor dentro de un tambor" mantiene al material virgen separado del material recuperado el cual se seca completamente y se calienta, pero no se expone al calentamiento intenso. Los aditamentos para el reciclamiento pueden ajustarse a las plantas Cedarapids - actuales en el campo.



FOTO 10 - EL RECICLAMIENTO EN MEZCLA FRÍA requiere que el pavimento existente se procese a una profundidad de 150 mm. después de que ha sido suavizado por un agente rejuvenecedor y tratado con una emulsión catiónica.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Para rejuvenecer los pavimentos oxidados de las calles

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

PARA REJUVENECER LOS PAVIMENTOS OXIDADOS DE LAS CALLES:

Calentamiento-escarificación, remezclado y recubrimiento.

1

Por Lewis W. Garber, J. - Ing. de Proyectos en Vernon, Cal.

En muchas ocasiones las calles requieren tratamientos más sustanciales que un riego de sello, pero los recubrimientos ordinarios, aún los de poco espesor, no siempre se ajustan sin provocar desniveles y distorsiones geométricas en las calles. Este era el dilema que nosotros encaramos en Vernon, Cal. Después de un estudio -- prolongado descubrimos cómo lograr el incremento de resistencia necesario sin interferir con las líneas de drenaje y los accesos a las vías rápidas:

Calentar y desbastar la superficie adyacente a las cunetas de concreto.

Calentar, escarificar y rejuvenecer la superficie en una pulgada de profundidad del concreto asfáltico viejo.

Recubrir con una capa de 2.2 cms. de espesor de nueva mezcla caliente.

Esta secuencia revitaliza al glutinante oxidado nocivamente para que pueda una vez más adquirir flexibilidad y evitar el agrietamiento, también se obtiene la calidad de adhesión necesaria para asegurar el recubrimiento.

El uso de los 58 kms. de calles aquí en Vernon, es más intenso que en la mayoría de las ciudades. Nuestra población que trabaja es de 60,000 personas, pero solamente 211 de ellas tienen sus casas dentro de los límites de la ciudad. El tránsito es pesado y frecuente en las horas de servicio de nuestras 1,100 plantas industriales las cuales incluyen Alcoa, Bethlehem Steel, Pioneer Flintkote and Byron Jackson.

A pesar de un mantenimiento razonable los valores de penetración del cemento asfáltico en muchos de nuestros viejos pavimentos ha llegado en las pruebas actuales hasta cerca de 10., la calidad de rodamiento en estas calles era mala y requerían un bacheo frecuente así como el relleno de las grietas. Las bases eran adecuadas. Los problemas emanados del envejecimiento de la superficie y un marcado incremento en las cargas y el tránsito, especialmente de los camiones con ejes múltiples.

El agrietamiento se extendió y se transmitió a través de los riegos de sello delgados. Cuando el agua penetró éstas grietas en algunos lugares reblandeció la base y provocó hoyancos.

Diseño basándose en un manual.

Para determinar los requerimientos estructurales de nuestras calles, se consultó el manual MS-1 del Instituto del Asfalto, en el cual se muestra como determinar los espesores adicionales de pavimento necesarios debido a la evaluación de las cargas de

Debido a que los distribuidores se desplazan más rápidamente que los calentadores, el conductor deja que los separen casi una manzana antes de iniciar la aplicación de RECLAMITE. Directamente atrás una pavimentadora Barber Genne, S.A. - #1, tiende un recubrimiento de 2.25 cms. que es compactada por los rodillos de acero. Todo esto, se realiza antes de que la superficie escarificada se enfríe apreciablemente. Y debido a que el recubrimiento se tendió directamente sobre el material escarificado y rejuvenecido se compactan en conjunto, produciendo una trabazón muy resistente. El agente rejuvenecedor del asfalto se aplicó a razón de 0.45 a 0.67 litros por metro cuadrado, basándose en las pruebas de laboratorio que se realizaron en corazones de muestra.

Para determinar las velocidades de aplicación en el campo se había aprobado el aglutinante con diferentes cantidades de aditivo, en el laboratorio. El método es muy simple. Primero, los laboratoristas separan mecánicamente los materiales de la superficie para simular la operación de remezclado por escarificación. A continuación obtienen el cemento asfáltico por el método de recuperación de Abscon, y le determinan su valor de penetración. La adición de Reclamite, al cemento asfáltico, en diferentes cantidades, incrementa los valores de penetración hasta una condición más deseable. Lo anterior proporciona un índice de la cantidad que se debe adicionar. Otro índice es la granulometría aparente y la relación de vacíos en muestras inalteradas (para determinar el espacio disponible para el aditivo). Ya había una experiencia previa en un proyecto de remezclado en la Av. Vernon. Los resultados de laboratorio en la obra de la Av. mencionada anteriormente indicaron una aplicación óptima de 0.7 lts. por m².

Cuando sacamos corazones y revisamos la capa remezclada, después de transcurrido un mes, sin embargo, encontramos que los valores de penetración del cemento asfáltico fueron dobles a lo predicho. Basándose en esta experiencia redujimos las cantidades proporcionalmente en el nuevo contrato.

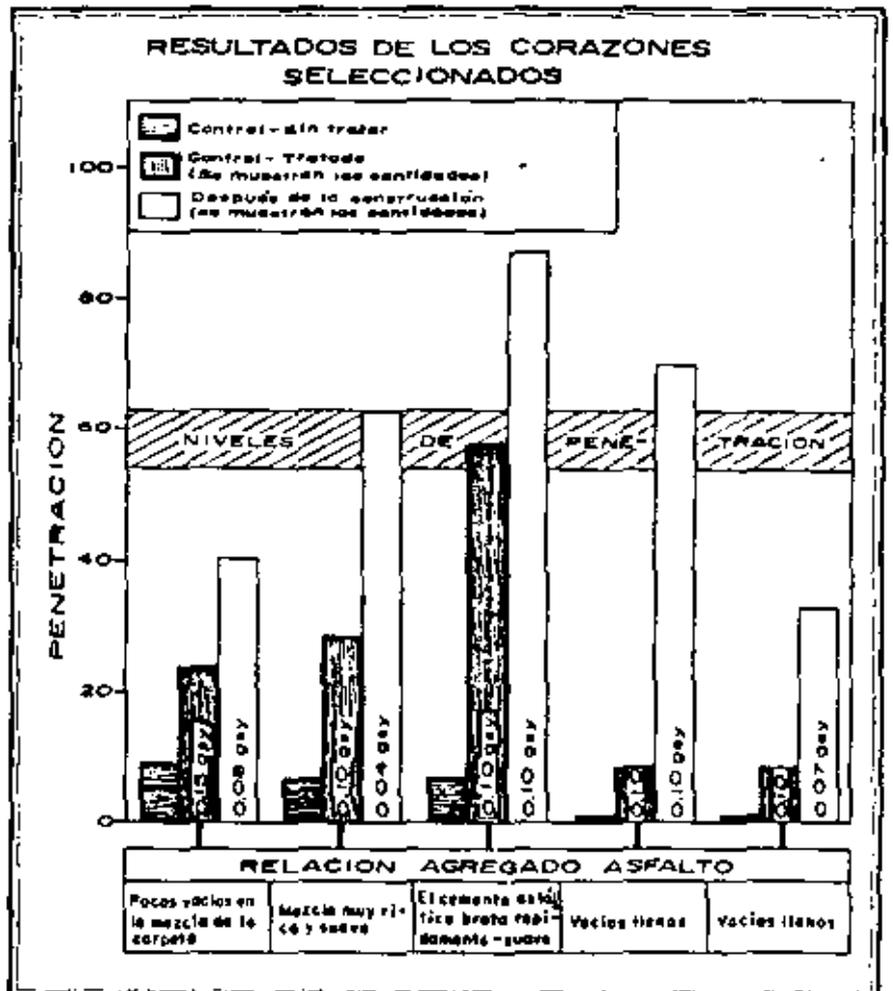
Penetración. - Después de la construcción se hicieron revisiones para determinar la penetración de la mezcla. Los resultados aparecen en la carta anexa. Se indican los valores antes de construir (control-sin tratar), en el laboratorio (control-tratado) y después de la construcción. Estos corazones también exhibieron valores de penetración incrementados, pero algo menores a los determinados para la Av. Vernon.

Se muestra que las cantidades de RECLAMITE indicadas por las pruebas de laboratorio deben reducirse drásticamente cuando el cemento asfáltico exhiba una tendencia a incrementar grandemente los valores de penetración después de la adición de RECLAMITE. Esto es particularmente evidente si la mezcla tiene pocos vacíos. Se muestra que un exceso de RECLAMITE bajo estas condiciones podría causar inestabilidad en la capa remezclada, y podría llorarse el aditivo a través de ella. El llorado podría también resultar de la aplicación de mucho material en un pavimento con pocos vacíos



Fotografía 2.
Este corazón exhibe la íntima trabazón entre el recubrimiento con espesor de 3/4" y la capa original remezclada abajo.

Figura 1, En cada caso los valores de penetración del cemento asfáltico exceden las predicciones de laboratorio por un amplio margen.





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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

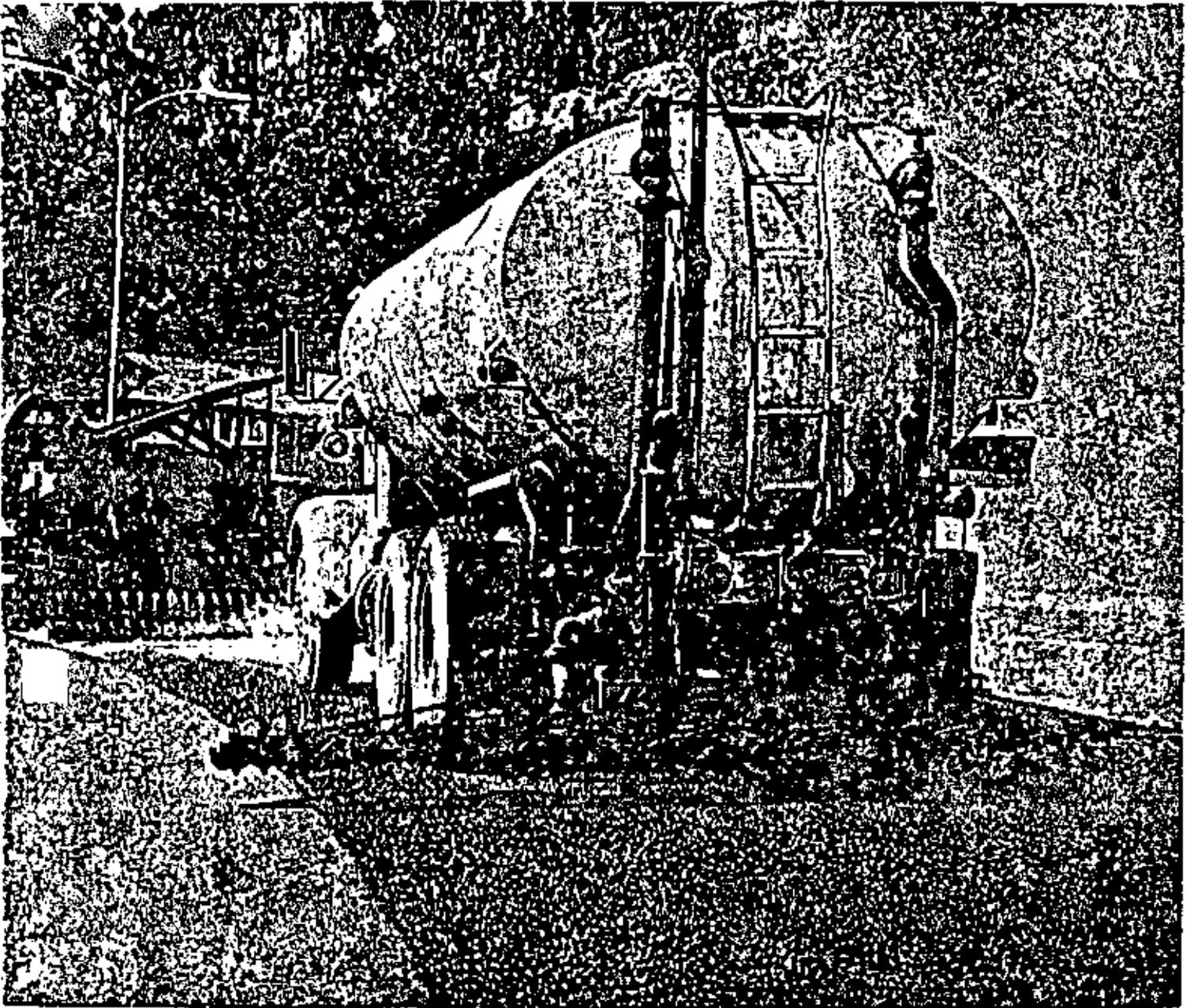
RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Reclamate 'agente rejuvenecedor'

Expositor:

Ing. Rafael Linón Linón

SEPTIEMBRE, 1983



RECLAMITE "AGENTE REJUVENECEDOR"

- LARGA VIDA DEL PAVIMENTO, CON ESCARIFICACION EN CALIENTE DE LA SUPERFICIE EN PAVIMENTOS ASFALTICOS ENVEJECIDOS.

RECLAMITE. Aplicándolo en el procedimiento de escarificación en caliente da nueva vida a los pavimentos asfálticos envejecidos.

- * Rápido y simple procedimiento/recubrimiento de pavimentos asfálticos envejecidos.
- * Transformación positiva de superficies viejas y nuevas en carpetas estables y flexibles.
- * Retarda y minimiza las grietas normales por reflexión.
- * Extiende la vida útil de los pavimentos tanto como jamás se había logrado.
- * Reduce los costos y requerimientos de mantenimiento al mínimo.

Ahora usted puede revitalizar los pavimentos asfálticos envejecidos y mantenerlos como el "primer día de nuevos" por años. Las propiedades excepcionales para rejuvenecer de RECLAMITE combinadas con un procedimiento adecuado de calentamiento y escarificación convierten los recubrimientos asfálticos envejecidos en flexibles y buenos nuevamente. La económica preparación de los pavimentos asfálticos viejos, seguida por un tratamiento con RECLAMITE de material escarificado y un nuevo recubrimiento asfáltico fresco transforma los caminos peligrosos y fuera de uso en cómodamente transitables durante años.

RECLAMITE efectivamente restaura el pavimento asfáltico dañado y quebradizo en un flexible, al aplicarlo en un procedimiento de escarificación en caliente. La escarificadora con calentador mostrada en la foto de la cubierta, calienta y desprende la capa superficial del pavimento envejecido para preparar la aplicación del rejuvenecedor. El RECLAMITE aplicado al pavimento escarificado, como se muestra en la parte izquierda, penetra rápidamente para restaurar la plasticidad perdida por el envejecimiento. Ahora al aplicar un recubrimiento de mezcla asfáltica nueva resultará el conjunto en una carpeta flexible y duradera.

¿QUE ES RECLAMITE?

RECLAMITE, es una emulsión especial de resinas y aceites del petróleo (químicamente una emulsión catiónica de maltenos), que acondiciona y sella los pavimentos asfálticos contra los efectos del intemperismo, uso y envejecimiento. Los pavimentos tratados con RECLAMITE parecen nuevos y permanecen nuevos durante años. RECLAMITE proporciona los ingredientes químicos necesarios para reconstituir los pavimentos asfálticos envejecidos y restaurar su flexibilidad y ductilidad. En combinación con los procedimientos de escarificación en caliente, sus funciones específicas son:

CATEGORIA	FUNCIONES	TIEMPO
Construcción de sellado.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Para sellar profundamente. 2) Para restaurar las propiedades originales. 3) Para mejorar la durabilidad. 	Tan pronto sea práctico, después de terminada la pavimentación
Mantenimiento preventivo.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Para rejuvenecer el asfalto envejecido 2) Para detener picaduras y desprendimientos. 3) Para evitar la tendencia a la contracción. 4) Para evitar la propagación de las grietas. 5) Para disminuir la permeabilidad. 6) Mejorar la durabilidad. 	A los primeros signos del envejecimiento del asfalto (resequedad, picaduras, desprendimiento, contracción, agrietamiento, etc.)
Reacondicionar mezclas en el camino.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Facilitar la escarificación y mezclado. 2) Restituir la plasticidad al asfalto. 3) Mejorar su durabilidad. 	Cuando se nota el intemperismo y las costras.
Calentamiento desbastado del concreto asfáltico.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Resellar y "curar" las superficies, después del desbastado (cepillado) 2) Restaurar las propiedades perdidas del asfalto, debido al sobrecalentamiento. 3) Mejorar la durabilidad. 	Poco después de usar el desbastador-calentador.
Impregnación.	<ol style="list-style-type: none"> 1) Rejuvenecer la superficie vieja antes del recubrimiento. 2) Propiciar la adhesión entre la superficie nueva y la vieja. 	Aplicar RECLAMITE cuando menos dos semanas antes del riego de liga y del recubrimiento.

NOTA DE PRECAUCION: Jamás deberá usarse RECLAMITE en pavimentos asfálticos, viejos o nuevos que tengan en la superficie el asfalto suelto o cuando la nueva mezcla contenga exceso de asfalto o menos del 5% de vacíos. Si alguna cantidad de RECLAMITE permanece en la superficie, el área debe ser arenada (un kilo por metro cuadrado) antes de abrir al tránsito.

MANTENIMIENTO CORRECTIVO POR EL METODO DE CALENTAMIENTO-
ESCARIFICACION Y APLICACION DE RECLAMITE

El procedimiento de calentamiento-escarificación y aplicación de RECLAMITE para el recubrimiento de pavimentos asfálticos han ganado una amplia popularidad en todos los tipos de obras de pavimentación, incluyendo calles, estacionamientos y similares. Basándose en las propiedades excepcionales de rejuvenecimiento de la emulsión RECLAMITE, el proceso ofrece tres ventajas sobre los recubrimientos convencionales.

- 1) Asegura la trabazón entre las capas asfálticas vieja y nueva.
- 2) Rejuvenece el pavimento viejo escarificado, desarrollando cuando menos una pulgada adicional de pavimento flexible.
- 3) El agrietamiento superficial en el pavimento existente queda eliminado y por consiguiente, retarda el agrietamiento por reflexión.

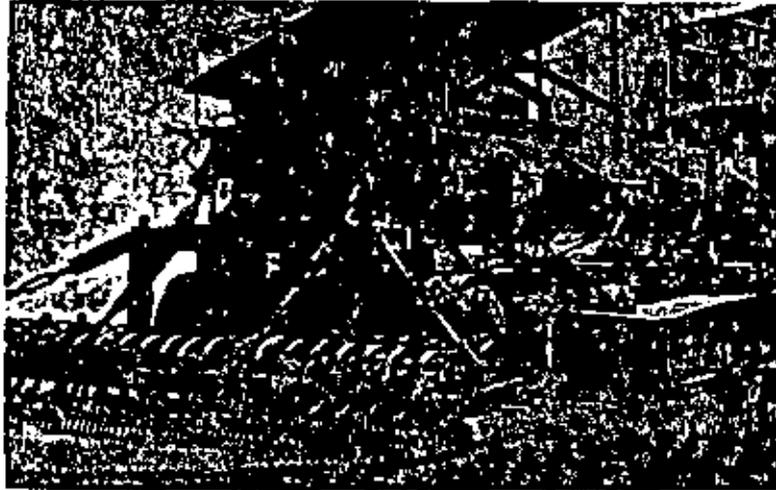
El método de calentamiento-escarificación, para rejuvenecer el asfalto, se puede realizar en cuatro partes. El primer paso es el calentamiento y desprendimiento de la parte superficial (de 1.7 a 2.2 cms. de espesor) del pavimento, usando una unidad convencional de calentamiento superficial con dispositivos para la escarificación y desprendimiento en la parte de atrás.

El segundo paso, consiste en regar de 0.45 a 0.90 Litros por metro cuadrado de RECLAMITE concentrado, inmediatamente después de la operación de desprendimiento, para rejuvenecer el material viejo.

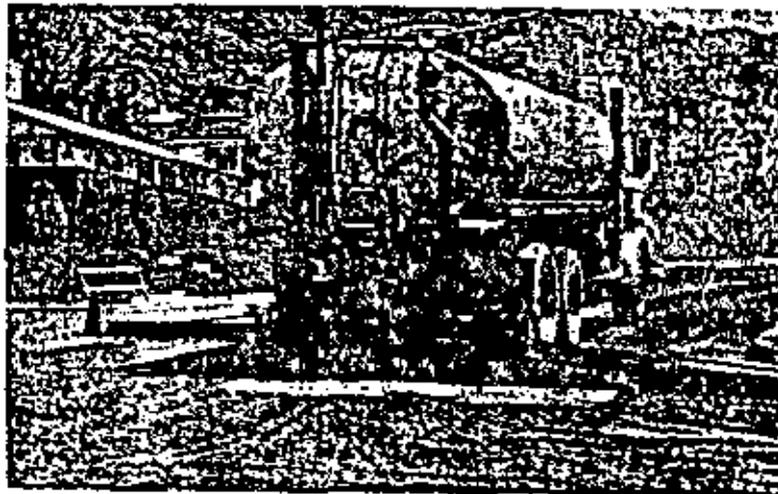
Un recubrimiento asfáltico nuevo se coloca sobre el pavimento rejuvenecido en el tercer paso. La colocación del recubrimiento se efectúa de una manera convencional, inmediatamente después del tratamiento con RECLAMITE. Una extendedora mecánica para colocar un espesor de dos a cuatro cms. de concreto asfáltico ó bien de mayor espesor, dependiendo de los requerimientos estructurales del pavimento terminado. La operación de recubrimiento debe llevarse a cabo tan pronto como la aplicación de RECLAMITE sea práctica.

El cuarto paso del procedimiento, es la compactación. Se usan rodillos convencionales de acero y neumáticos para compactar simultáneamente el material asfáltico remezclado y el nuevo para formar una sola capa. Un tratamiento nuevo del recubrimiento con aproximadamente 0.08 galones por yarda cuadrada de RECLAMITE diluido en una relación de partes del concentrado

Fotografía 4.- La unidad calentadora-escarificadora, emplea un elemento calefactor montado en la unidad para calentar el pavimento asfáltico viejo, antes de que los rastrillos montados en resortes escarifiquen completamente todo el material calentado.



Fotografía 5 - Se está regando una emulsión de RECLAMITE sin diluir sobre el pavimento asfáltico escarificado y sin compactar. El RECLAMITE penetra rápidamente para revitalizar y replastificar la mezcla asfáltica vieja. A continuación se coloca el recubrimiento con la nueva mezcla asfáltica, y se compacta.

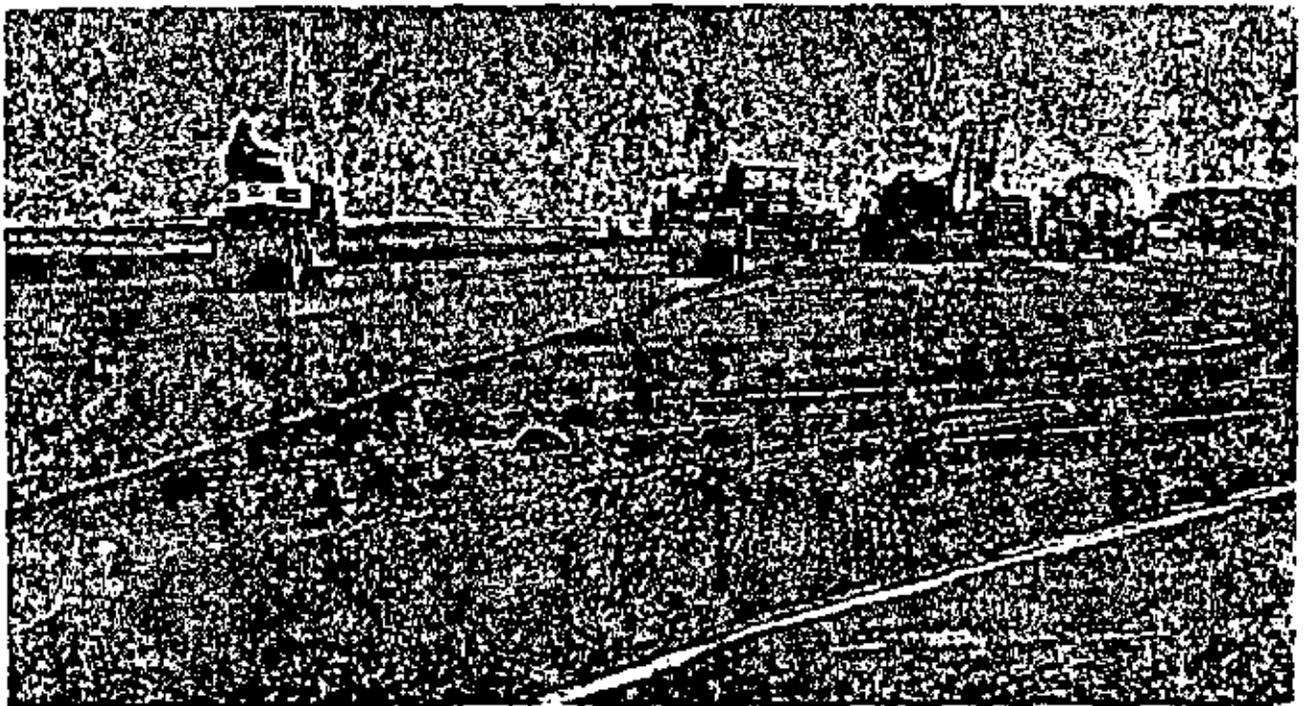


El Aeropuerto Internacional El Paso, fue el primer Aeropuerto Municipal en Texas que usó RECLAMITE. El primer proyecto establecía el recubrimiento de 110,000 metros cuadrados de aeropistas con el procedimiento calentamiento-escarificación/RECLAMITE, y el sellado de varios miles de yardas cuadradas de pistas para maniobras, calles y estacionamientos para detener la oxidación superficial, y las condiciones del agrietamiento debido al intemperismo. La operación inicial fue tan satisfactoria, que los ingenieros consultores recomendaron RECLAMITE para el siguiente paso en el programa de mejoramiento de largo alcance. Esto involucraba el reforzamiento de la sección central de la aeropista Este-Oeste, para mejorar la resistencia necesaria para las cargas por eje, incrementadas de las nuevas aeronaves. Los resultados de la compactación, confirmaron la opinión de los ingenieros, y que el procedimiento de reconstrucción era fácil y práctico.

Fotografía 8.- Oakland, California.- Desde 1965, la división de mantenimiento urbano de la Cd. de Oakland, California, incorporó RECLAMITE en sus procedimientos de recubrimiento con calentamiento-escarificación. Aproximadamente se emplearon 190,000 litros de RECLAMITE en las obras recientes de recubrimiento de unos 40 Kms. lineales de calles en la ciudad. La Avenida Keller, una de las calles incluidas en el proyecto, originalmente había sido construída como camino a una nueva unidad habitacional. Posteriormente la calle se extendió para proporcionar acceso a una segunda unidad, y recientemente se convirtió en una calle que conduce a un viaducto. Debido a que había sido durante muchos años, una calle sin terminar, el pavimento asfáltico de granulometría abierta se había deteriorado tanto por la falta de uso como por el intemperismo normal y el envejecimiento. El tratamiento inicial con RECLAMITE en 1962, había detenido el deterioro por mucho tiempo, pero cuando la calle se abrió a los grandes volúmenes de tránsito, se requirió el recubrimiento necesario para soportar las cargas adicionales. Un procedimiento convencional de calentamiento y escarificación de la superficie existente, fue seguido por un tratamiento con RECLAMITE de 0.68 litros por metro cuadrado. A continuación se tendió el recubrimiento y se compactó, para luego abrir la calle al tránsito.

mero removió una capa superficial de 3 cms. de espesor en el pavimento de Concreto Asfáltico, en la intersección y a lo largo de una porción de 185 metros de la pista 28-L adyacente. Después se regó con RECLAMITE a razón de 0.9 litros por metro cuadrado, para proporcionar una buena adhesión entre el material existente y el nuevo recubrimiento. A continuación se tendió un nuevo recubrimiento asfáltico, manteniendo la pendiente de 1 1/2% de la corona a los lados. Se aplicó por segunda vez el RECLAMITE, como un nuevo sellado sobre el recubrimiento. La operación de repavimentación se terminó dentro del programa estipulado. Los ingenieros del aeropuerto, estimaron que el nuevo recubrimiento, permanecerá en condiciones de servicio durante 10 años.

Fotografía 9 -



REQUERIMIENTOS TÍPICOS ESPECIALES PARA LOS RECUBRIMIENTOS
CON EL PROCEDIMIENTO CALENTAMIENTO-ESCARIFICACION Y APLI-
CACION DEL AGENTE REJUVENECIDOR

Generalidades.- El propósito de ésta exposición es describir el alcance del trabajo que debe realizarse, así como del establecimiento que ciertos requerimientos para el equipo y la secuencia de actividades. El trabajo consistirá esencialmente en rejuvenecer las superficies asfálticas existentes por el procedimiento calentamiento-escarificación y la aplicación de un agente rejuvenecedor (RECLAMITE) y reforzarlo con una capa de concreto asfáltico.

Limpieza.- Antes de iniciar las operaciones de calentamiento-escarificación deberá limpiarse el pavimento de todo el material desprendido que se presente en cantidades que interfieran con el trabajo. El suelo y/o agregado adherido al pavimento, debe desprenderse y removerse. Una barredora mecánica -- puede sustituirse por un barrido manual, cuando sea necesario, hasta que la superficie quede libre de materiales indeseables. Los agujeros en el pavimento existente, deberán parcharse según lo determine el ingeniero antes de empezar la operación de calentamiento-escarificación.

Calentamiento-Escarificación.- El equipo para realizar éste trabajo, debe ser autoimpulsado y capaz de cubrir un mínimo de 2,500 metros cuadrados por hora, mientras calienta las superficies existentes, al grado de que puedan remezclarse hasta una profundidad no menor de 1.3 cms. La superficie escarificada debe quedar uniformemente extendida y los agregados no deben ser pulverizados, ni lajeados ó quebrados. La mínima temperatura, medida dentro de los tres minutos del tratamiento, no deberá ser inferior a 107° C. La mínima amplitud de la superficie escarificada, debe ser la necesaria para acomodar la anchura de recubrimiento del Agente Rejuvenecedor del concreto asfáltico; inmediatamente después de la operación de calentamiento-escarificación, debe hacerse una aplicación de aproximadamente 0.45 galón por yarda cuadrada ó lo que designe el ingeniero, de rejuvenecedor asfáltico diluido (RECLAMITE) sobre la nueva área escarificada. Las dimensiones de los orificios de la barra regadora, deben graduarse para que en conjunto liberen la aplicación en la proporción aplicada.

Recubrimiento con concreto asfáltico.- La capa de concreto asfáltico para el recubrimiento, deberá tenderse inmediatamente después de la aplicación del agente rejuvenecedor del asfalto.

- 1) La prueba de evaporación ASTM D244, para el por ciento de residuo, se hace calentando una muestra de 50 gramos a 300° F., hasta que cesa de espumar; a continuación se enfría (inmediatamente) y se calculan los resultados.
- 2) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D244-60, excepto que una solución normal del cloruro de calcio al 2%, debe usarse en lugar del agua destilada.
- 3) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D244, excepto que se deberá usar agua destilada en lugar de la solución de Oleato de Sodio al 2%.
- 4) En la prueba ASTM D2006-65-T, para la relación de distribución de malte-

PC	Compuestos Polares	A ₁	Primeros aciduoafines
A ₂	Segundos aciduoafines	S	Saturados

Los materiales deberán tener un record de servicio satisfactorio como agentes rejuvenecedores de asfalto; dicho servicio satisfactorio, estará basado en la capacidad de los materiales para incrementar la ductibilidad y penetración de los aglutinantes asfálticos de las carpetas.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Para mantenimiento preventivo comprobado de caminos...

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

COMPARACION ENTRE CAMINOS TRATADOS CON RECLAMITE Y LOS NO TRATADOS



Fotografía 1, Localización: Carretera Federal 395, al Norte de Carson City, Nev.
 Dependecia: Departamento de Carreteras de Nevada.

Se usó RECLAMITE en un tratamiento superficial sobre una mezcla de granulometría - abierta elaborada en planta, con material para sello, en 1965. Esta foto que fué - tomada en 1969 muestra la diferencia en textura entre el pavimento tratado con RECLAMITE, (parte superior derecha) comparado con el no tratado, (parte inferior izquierda). Note el gran desprendimiento y la pérdida de material en la parte no tratada, mientras que la sección tratada no presenta superficies dañadas.

DATOS DEL ASFALTO DE LOS CORAZONES

Valores de penetración del asfalto extraído

Tratado con RECLAMITE

Noviembre 1965		Diciembre 1968
Superficial	1.5 cms. 82	40
Segunda	3.0 cms. 46	35
Tercera	4.5 cms. 45	33

No Tratado

Noviembre 1965		Diciembre 1968
Superficial	1.5 cms. 24	17
Segunda	3.0 cms. 45	22
Tercera	4.5 cms. 48	26

DATOS DEL ASFALTO DE TRES CORAZONES

(No mostrados en foto)

Valores de penetración del asfalto extraído

Corazón núm. 1

Corazón núm. 2

Superficial	1.5 cms. (sin tratar)	17.0
Superficial	1.5 cms. (tratada)	52.0

Superficial	1.5 cms. (sin tratar)	23.0
Superficial	1.5 cms. (tratada)	48.0

Corazón núm. 3

Superficial 1.5 cms. (sin tratar) 22.0

Superficial 1.5 cms. (tratada) 40.0



Fotografía 4, Localización: Calle Day,
Condado de
Kern, Calif.

Se usó RECLAMITE en un tratamiento superficial en las porciones de este pavimento, en 1970. Esta foto tomada después de una lluvia en 1974 muestra una sección de las áreas de prueba y del pavimento tratado. Note las porciones secas del pavimento que habían sido tratadas con RECLAMITE.

DATOS DEL ASFALTO DE LOS CORAZONES

Valores de penetración del asfalto extraído

Tratado con RECLAMITE

Noviembre 1970		Enero 1974
Superficial	1.0 cms.	30
Segunda	2.0 cms.	31
Tercera	3.0 cms.	17

La parte superior de este camino fué tratada con RECLAMITE en 1961. En la foto - tomada en 1967, seis años después, la sección sin tratar del camino muestra un - desprendimiento severo, pérdida de material y agrietamiento que termina justo -- donde se inicia la sección tratada con RECLAMITE.



Fotografía 10, Localización: Ruta Estatal 20, cerca de Nevada, City California.

Dependencia: Departamento de Transportes de California.

Se aplicó RECLAMITE en el carril izquierdo en 1962 y el carril derecho no se trató. En esta foto tomada en 1967 el carril derecho sin tratar muestra daños severos y ha requerido, bacheo y mantenimiento, mientras que el lado izquierdo tratado con RECLAMITE no muestra daños y no ha requerido mantenimiento.



Fotografía 11, Localización: Ruta Estatal- 178, cerca de Bakersfield, California.

Dependencia: Departamento de Transportes de California.

En 1968, esta autopista fué tratada con RECLAMITE en una construcción de sello. - Esta foto tomada en 1974, muestra una pequeña sección sin tratar, la cual presenta una grieta grande mientras que la porción tratada con RECLAMITE tiene una grieta - pequeña. Note la textura superficial de la parte no tratada con daños superficiales severos y pérdida de finos mientras que la parte tratada con RECLAMITE no presenta tales fallas.



Fotografía 12, Localización: Aeropista, -
Aeropuerto
Internacio-
nal El Paso,
El Paso, Tex.

En 1965 esta Aeropista fue tratada con RECLAMITE en una construcción de sello. - Esta foto tomada en 1973 muestra una pequeña sección sin tratar en la parte cen-
tral derecha. Note el desprendimiento y los daños en la superficie en esta se-
cción sin tratar comparada con el resto del pavimento que ha sido tratado.

Nota de Precaución: Las instrucciones detalladas para este tratamiento están dis-
ponibles y deben ser consultadas para asegurar la debida aplicación y la conser-
vación de las características de tracción de los pavimentos asfálticos. No debe-
rá usarse RECLAMITE en cualquier pavimento asfáltico donde existan o vayan a --
existir después del tratamiento contaminaciones de combustible, aceite, grasa o
asfalto, o cuando la mezcla contenga un exceso de asfalto. Bajo ciertas condicio-
nes las superficies frescas, tratadas con RECLAMITE, pueden requerir arena, an-
tes de que el área se abra al tránsito. Una o dos libras de arena por metro cua-
drado, son generalmente suficientes para una buena tracción; sin embargo, las --
condiciones reales de la superficie indicarán la cantidad exacta de arena que --
debe aplicarse.

Nota de Garantía: Ninguna garantía, expresa o implicada, incluyendo garantía de
patente, o garantía de mercados o de uso conveniente, serán aceptadas por Witco-
Chemical Corporation con respecto a los productos descritos o a la información -
que aquí se expone. Nada de lo contenido en estos artículos constituye una auto-
rización o recomendación para poner en práctica cualquier invención cubierta por
una patente sin la licencia de su respectivo propietario.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Poniendo nueva vida a los pavimentos viejos

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

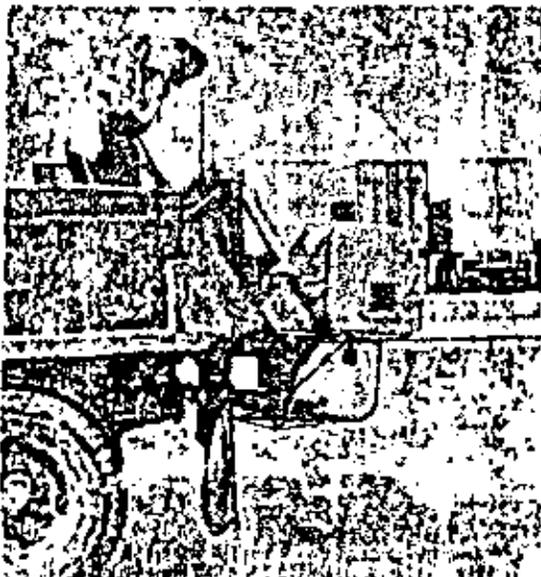
..PONIENDO NUEVA VIDA A LOS PAVIMENTOS VIEJOS:

01

William Canessa, P. E.,
Golden Bear Division,
Witco Chemical Corporation

Reimpreso en Febrero de 1973 de la
Revista OBRAS PUBLICAS de Ridgewood, N.J.

Fotografías 1, 2, y 3 : Prueba del Anillo de Grasa (parte superior izquierda), con la cual se determina la disponibilidad de un pavimento para el tratamiento y la proporción apropiada de la aplicación.- La foto de arriba muestra el RECLAMITE aplicado, aún fresco brillando en el sol. El tratamiento es seguido por un arenado para reducir el derrapamiento.



Pruebas para determinar el uso apropiado:

Un método simple para determinar las condiciones de absorbencia del pavimento, - su disponibilidad para el tratamiento con rejuvenecedor y la aplicación correcta, es por medio de la prueba del anillo de grasa. Esta consiste en formar un anillo con diámetro de 15.0 cms. sobre el pavimento de pruebas, con un tubo de grasa para formar un recipiente sellado para la aplicación gradual y decreciente, de la cantidad de emulsión. Los estuches de prueba están provistos de un frasco o tubo marcador para duplicar varias proporciones de aplicación.

La cantidad del agente rejuvenecedor disminuye en forma gradual, basándose en un análisis preliminar de las condiciones del asfalto, y se mide en la obra vaciando el agente en el anillo y extendiéndolo rápido y uniformemente sobre el área circular con un cepillo pequeño. Se registra entonces el tiempo requerido para que el agente penetre en la superficie. Los datos que deben registrarse en esta prueba incluyen: Descripción de la superficie de prueba; localización del anillo de prueba; tiempo de penetración de cada cantidad usada; y la proporción de aplicación, la cual debe ser la mayor cantidad que penetre la superficie en un lapso de 15 a 20 min., la prueba deberá realizarse en las partes más transitadas marcadas por las rodaduras, que es donde el pavimento es más denso comunmente (mayor dificultad para penetrar) para asegurar los resultados más confiables; y debido a que las condiciones varían en la superficie, la prueba deberá repetirse en diferentes áreas.

Si el área superficial aparece con un residuo grueso, del material aplicado, después de un intervalo de 15 min. indica que se usó mucho agente rejuvenecedor para la prueba o bien que el pavimento no requiere tratamiento.

Cuando se considera la aplicación del agente en pavimentos asfálticos nuevos, la proporción recomendada varía de 0.22 a un máximo de 0.44 litros por metro cuadrado (gsy) y comúnmente estarán en el intervalo de 0.22 a 0.35 litros por metro cuadrado. Jamás deberá excederse de 0.52 litros por metro cuadrado la dilución de 2 a 1. Si la cantidad de 0.22 litros por metro cuadrado del agente no penetra completamente en un pavimento nuevo, entonces no debe ser usado.

Condiciones del pavimento:

Las características del pavimento nuevo indicarán al ingeniero no solamente la cantidad de material que debe aplicarse, sino también si es que el tratamiento debe realizarse completamente. Un estudio cuidadoso de las condiciones del pavimento debe hacerse antes de decidir si debe emplearse un tratamiento de este tipo.

El efecto de la emulsión en la tracción del camino depende de las condiciones y de la textura superficial del pavimento antes del tratamiento. Después del tratamiento puede existir un peligro temporal en ciertos casos. Este se debe a la penetración incompleta de la emulsión como consecuencia del exceso o de la aplicación no uniforme, o bien de las variaciones de la permeabilidad del pavimento; acumulaciones de aceite y grasa, por contaminaciones o por ser remanentes de recubrimientos asfálticos previos del tipo de sellado sobre el pavimento; y al agregado que ha sido pulido por el tránsito hasta lograr una superficie lisa.

Si se notan condiciones de resbalamiento después del tratamiento, la aplicación de 0.5 a 1.0 litros por metro cuadrado de arena seca o polvo de roca, generalmente proporcionarán la tracción necesaria para reducir el derrapamiento a un mínimo. En cualquier caso cuando exista duda acerca de las condiciones de seguridad para el tránsito, después de un tratamiento del pavimento, se debe efectuar un areneo de acuerdo a las condiciones locales. Durante más de 10 años de experiencia en el rejuvenecimiento de los pavimentos se ha determinado que éstos requieren de areneo si se quiere abrir al tránsito el camino después de pocas horas. Sin embargo se ha notado que el areneo generalmente no es necesario en los lotes para estacionamiento y en otras áreas que puedan mantenerse cerradas al uso durante varios días.

Durante cualquier tipo de trabajo en las carreteras, incluyendo tratamientos con emulsión, disposición de barricadas, se deben usar barricadas adecuadas, señalamientos preventivos y sistemas de control de tránsito (tales como luces, carros pilotos y hombres con banderas). Donde se hace necesario el tratamiento con arena, dicho trabajo no deberá considerarse terminado a menos que el areneo sea adecuado hasta que el agente ha sido completamente absorbido.

Además de sus usos primeros para tratar el pavimento nuevo y como mantenimiento preventivo para los pavimentos viejos, la emulsión puede usarse en operaciones de calentamiento-escarificación, calentamiento repavimentación y relleno de grietas. En el primer caso, el material se aplica en la carpeta vieja, después de la escarificación, sin diluir y en una cantidad que varía de 0.45 a 0.90 litros por metro cuadrado. Es práctica común tender inmediatamente el pavimento escarificado y tratado. Algunas veces esta etapa de recubrimiento es retardada y se hace necesario abrir, la sección escarificada y compactada, al tránsito. Si así fuera esto podría hacerse solamente si ya ha ocurrido la penetración completa y se tiene en la superficie el coeficiente de fricción necesario para la seguridad.

El llenado de las grietas con el agente es comúnmente una operación libre de peligros. Sin embargo, siempre debe aplicarse arena para ayudar en el llenado de las grietas y en la absorción de cualquier material derramado en exceso o en otras partes del pavimento.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Prolongación de la vida útil de los pavimentos de concreto
asfáltico

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

PROLONGACION DE LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS DE CONCRETO ASFALTICO

William Chavesa, P.E.
Gerente de Productos de
Ingeniería de la

Golden Bear División,
Witco Chemical Company, Inc.,
Bakersfield, California.

Reimpreso de la Revista de Obras Públicas
de Noviembre de 1968
Ridgewood, N. J.

La vida útil efectiva del pavimento de concreto asfáltico se puede prolongar considerablemente usando un agente rejuvenecedor de asfaltos como sellador. Esto es sostenido y verificado en la inspección de campo y por los análisis de laboratorio de los pavimentos construidos desde 1951 en los cuales se usó el rejuvenecedor como sellador.

El agente rejuvenecedor del asfalto ha sido efectivo en una gran variedad de usos, tales como mantenimiento preventivo en los pavimentos viejos, operaciones de sellado de grietas, construcciones de sello y recubrimientos por el proceso de calentamiento remezclado. Existen muchos artículos y manuales que describen el primero de los usos que se mencionan anteriormente y, un departamento de carreteras del estado, está estudiando y preparando detalladamente un reporte sobre el uso del agente rejuvenecedor, así como de otros productos para rellenar grietas.

Este artículo discutirá detalladamente las dos funciones mencionadas anteriormente: el uso del rejuvenecedor del asfalto como sellador, y en los recubrimientos con calentamiento-remezclado para los pavimentos asfálticos existentes.

El rejuvenecedor asfáltico usado en la obra que se describe aquí es RECLAMITE, una emulsión de resinas y aceites seleccionados del petróleo, desarrollada por la Golden Bear División de Witco Chemical Co., Inc.

Suponiendo que todas las fases de la constitución de un pavimento de concreto asfáltico se ejecuten en la mejor forma de la práctica actual, hay tres operaciones básicas de la construcción que acortan la vida útil esperada de la obra: La operación de calentamiento en planta donde el asfalto se expone al calor; las temperaturas ambientales y la distancia de acarreo tales que enfrían la mezcla en caliente a un grado tal que no pueda obtenerse la debida compactación, exponen a los pavimentos a la introducción de aire y agua; que afectan las características químicas del asfalto.

Usado como sellador, el agente rejuvenecedor tenderá a corregir estos problemas, restaurando las fracciones del asfalto que se han perdido durante el ciclo de mez-

cedor como construcción de sellado. La sección sin tratar empezó a mostrar desprendimiento severo casi inmediatamente a diferencia de la sección tratada que no tenía material suelto. En 1966 se empezaron a desarrollar grandes grietas longitudinales en la sección sin tratar las cuales se detuvieron en las áreas tratadas, que se mantenían sus apariencias de agrietamiento en toda la zona tratada.

En 1963, el Departamento de Carreteras de Nuevo Mexico aplicó el agente rejuvenecedor como construcción de sellado en una obra de 4 millas. En 1965 se sacaron corazones y el análisis fué el siguiente: Los valores de penetración del asfalto de la parte de arriba (1/2" de profundidad) en tres corazones de partes separadas, en la sección tratada, fueron de 52, 48 y 40; y en los tres corazones de la sección sin tratar los valores obtenidos fueron de 17, 23 y 22. La inspección visual de este pavimento nuevamente indica una diferencia muy notoria entre las partes tratadas y sin tratar, con grietas y desprendimiento apareciendo a través de toda la longitud de 4 millas del carril sin tratar, lo contrario del carril tratado que no presenta tal deterioro superficial, ni en desarrollo.

Algo importante que debe mencionarse en relación con los experimentos de Nuevo Mexico y Arizona es la extrema diferencia en condiciones climáticas. La sección de Arizona está cerca de PHOENIX en una área sumamente caliente y seca; la sección de Nuevo Mexico está en Bibo, a una altura de más de una milla y expuesta a condiciones invernales muy severas.

Otros ejemplos:

A finales de 1964 la División de Carreteras de California recubrió una ruta (U.S. 101) constituida por 4 carriles, con porciones de las líneas hacia el Norte y hacia el Sur tratadas con el agente rejuvenecedor. En julio de 1965 se sacaron corazones y los valores de penetración del asfalto extraído (1/2" de profundidad) de la parte tratada fué de 47 y de la de sin tratar 33. En ese tiempo se empezó a notar la diferencia marcada entre la textura superficial de las dos secciones, indicando nuevamente las secciones sin tratar desprendimiento de material, picaduras y en general deterioraron en la superficie, los cuales no eran visibles en las secciones tratadas.

Otro proyecto experimental realizado por la División de Carreteras de California usando agente rejuvenecedor como sellador, comparado con un sello asfáltico (SS-1h) de fraguado lento, se llevó a cabo en la autopista 178 en Bakersfield. Tanto el agente rejuvenecedor como el SS-1h, fueron regados en el nuevo pavimento asfáltico en diciembre de 1960; se sacaron corazones de muestra en marzo de 1968. El valor de penetración del asfalto de la parte superior (1/4" de profundidad) de la porción tratada con el agente rejuvenecedor fué de 58, mientras que el valor correspondiente a la sección tratada con el SS-1h fué de 12.

Figura 1, Los valores de penetración del asfalto extraído de la parte superficial (1/4" ó 1/2" de profundidad) de los corazones de pavimento de las secciones tratadas, durante la construcción.

Figura 2, Valores de penetración del asfalto extraído de la parte superficial y de cierta profundidad, de los pavimentos donde se usó rejuvenecedor asfáltico como construcción de sellado.

El condado de Fresno realizó un proyecto experimental similar en septiembre de 1966 en la parte alta de las montañas de la Sierra Nevada, con un extremo de la obra tratada con agente rejuvenecedor y el otro extremo con SS-1h (FL). Se sacaron corazones en diciembre de 1967. El asfalto de la parte de arriba (1/4" de profundidad) de la sección tratada con el agente rejuvenecedor tuvo valores de 134 y 101 en dos corazones separados, mientras que los corazones de la parte tratada con el SS-1h tuvieron valores de 33 y 34. Vale la pena hacer notar que los valores del estrato de media a 3/4" de la parte superficial, fueron de 70 y 41.5 en los corazones de la parte tratada con el agente rejuvenecedor y de 36 y 33 en los de la parte tratada con el SS-1h (FL).

Existen muchos otros pavimentos que podrían ser mencionados como ejemplo de la aplicación del agente rejuvenecedor pero los datos son similares en naturaleza y, con objeto de ser breves, no es necesario incluirlos. Los pavimentos y la información mencionada tomados en diferentes condiciones climáticas, variaciones en construcción y agregados diferentes, indican que los resultados finales son consistentes en el sentido de que las secciones tratadas con el agente rejuvenecedor muestran un comportamiento superior, tanto visual como analíticamente.

También se ha determinado que la textura superficial de un pavimento que ha sido tratado con el agente rejuvenecedor como construcción de sello, no cambia apreciablemente. Esto ha sido verificado y documentado por medio de las pruebas ejecutadas en el Aeropuerto Internacional El Paso, usando especificaciones de la Fuerza Aerea de los Estados Unidos, para medir las condiciones de derrapamiento con un decelerómetro.

Una técnica para el recubrimiento:

Este procedimiento para recubrir los pavimentos asfálticos existentes, está ganando una popularidad muy amplia y se lleva a cabo en todo tipo de obras con dicho pavimento, tales como calles, áreas de estacionamiento y aeropistas.

Brevemente, el proceso consiste en calentar el pavimento existente y a continuación escarificarlo a una profundidad de cuando menos 1/2", preferiblemente 3/4", regar el material del recubrimiento con una cantidad de 0.10 a 0.20 galones por yarda cuadrada de agente rejuvenecedor concentrado y entonces recubrir con una mezcla asfál-

Otra ventaja digna de mencionarse es que se puede diseñar un recubrimiento delgado cuando se utiliza el calentamiento-remezclado, el cual evita las coronas abultadas y los problemas de drenaje.

Existen dos requisitos importantes que deben tenerse en mente para tener éxito en una obra con el procedimiento de calentamiento-remezclado: el pavimento no debe -- tener fallas estructurales; y la escarificación debe ser de cuando menos 1/2", preferiblemente de 3/4", de profundidad.

Basándose en los datos presentados, junto con la experiencia obtenida desde 1961, se hacen evidentes las siguientes conclusiones, cuando se usa el rejuvenecedor del asfalto en un tratamiento superficial en un pavimento recién construido, o en con junción con la operación de recubrimiento a base de calentamiento-remezclado:

Se restauran las fracciones del asfalto que normalmente se pierden en la plan ta de calentamiento.

El nuevo pavimento queda sellado contra la introducción de aire y agua y, dicho sello, no se deteriora ni con el uso ni con el intemperismo.

Se extiende la vida útil efectiva de un pavimento asfáltico, generalmente al doble, antes de que se haga necesario el mantenimiento normal.

La textura superficial del pavimento no se afecta apreciablemente, por consiguiente, las características antiderrapantes, ya sea húmedas o secas, no se de decrementan.

Cuando se aplica en pavimentos que han sido calentados y escarificados antes del recubrimiento, se obtiene un espesor adicional de carpeta flexible, se a segura la adhesión, se retardan las grietas por reflexión y se el elimina la ten dencia a laminarse.

La información analítica anterior y las conclusiones están basadas en el comportamiento particular del agente rejuvenecedor RECLAMITE y no son necesariamente repre sentativas de otros productos similares.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RECLAMITE

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

RECLAMITE

Un tratamiento superficial comprobado en el campo para extender la Vida Util de los Pavimentos Asfálticos.

Por William Canessa, P.E. Gerente de Productos de Ingeniería de Golden Bear Division, Witco Chemical Corporation Bakersfield, California.

Existen numerosas ventajas en la utilización del asfalto en la construcción de los pavimentos requeridos para las carreteras, aeropistas, caminos de acceso, calzadas y zonas de estacionamiento. La primera y más importante es el costo inicial de la construcción donde el asfalto ha probado ser el más económico para cualquier situación dada. Debe mantenerse en mente que el pavimento considerado es capaz de soportar las cargas del tránsito moderno, lo que significa que debe ser una estructura diseñada con las más altas especificaciones.

Existen pavimentos asfálticos construidos desde hace décadas que todavía están dando un excelente servicio con un mínimo de mantenimiento. La magnitud de la vida de servicio de un pavimento asfáltico, que puede considerarse antes de tomar en cuenta el mantenimiento, ya sea menor o mayor, varía para cada situación dada. Hay muchos factores que afectan la magnitud de la vida de un pavimento asfáltico libre de mantenimientos, esto se debe a las especificaciones de diseño originalmente establecidas para la construcción del pavimento en sí, así como de la mezcla de diseño, operación de la planta en caliente, compactación, condiciones climatológicas durante la construcción, bancos de agregados, etc.

Si por algo, uno o más de los factores anteriormente mencionados, no cumplen las especificaciones necesarias, el pavimento asfáltico es tal que deben tomarse medidas correctivas o preventivas para corregir la deficiencia después de terminado el camino, ya sea inmediatamente o años más tarde. Algunas de las medidas correctivas o preventivas generalmente son a base de riegos complementarios de emulsión asfáltica (de niebla), riegos de sello, slurry seal, riegos de arena, recubrimientos y otras técnicas que utilizan asfalto o productos asfálticos.

Recientemente ha sido desarrollado un producto del petróleo, Reclamite, que es una emulsión de resinas y aceites seleccionados del petróleo, que da al ingeniero dedicado a los pavimentos una herramienta muy valiosa para utilizarse en el mantenimiento preventivo y correctivo de los pavimentos asfálticos.

mínimo, ha probado ser muy efectivo. Debe tenerse en cuenta que si están involucrados problemas estructurales o el pavimento ha llegado al estado donde se hace necesario el mantenimiento correctivo, un tratamiento superficial con Reclamite será de poco o ningún valor. Estas condiciones requerirán otros métodos o procedimientos para corregir la situación, pero solamente con un pavimento asfáltico el ingeniero de mantenimiento tiene disponibles varios métodos para enfrentarse a la corrección de las condiciones que han llevado a un estado más allá del mantenimiento preventivo.

Proceso de Recubrimiento con Remezclado en Caliente con Reclamite.

Uno de los problemas a que se enfrentan las dependencias gubernamentales responsables del diseño y mantenimiento de carreteras y aeropistas, es la demanda creciente, tanto en el número de vehículos y del tránsito aéreo, así como del incremento de cargas. Aunque muchos pavimentos asfálticos, tanto para autos como para aeronaves, fueron diseñados adecuadamente en su tiempo y han dado buen servicio, ahora están en el estado en que deben ser reforzados por medio del incremento de espesores de la carpeta. Con un pavimento asfáltico, esto puede lograrse con un mínimo de esfuerzo simplemente colocando el espesor requerido por el diseño de un pavimento asfáltico nuevo, sobre el pavimento existente. El procedimiento de recubrimiento con una mezcla en caliente y aplicación de Reclamite ha definido ventajas sobre los cubrimientos con riego de liga, ya conocidos, y el método de recubrimiento normalmente usado. Este procedimiento consiste en calentar el pavimento existente, escarificar hasta una profundidad de cuando menos 1.3 cms. preferible 20 cms., regar de 0.6 a 1.2 litros por metro cuadrado de Reclamite concentrado, y entonces recubrir con una mezcla asfáltica. Este procedimiento tiene tres ventajas básicas sobre los tipos de recubrimiento convencional: (1) asegura la trabazón, (2) rejuvenece el pavimento viejo escarificado, logrando cuando menos 2.5 cms. de pavimento flexible adicional, (3) elimina las grietas superficiales en la carpeta, retardando por consiguiente el agrietamiento por reflexión. Otro beneficio que debe mencionarse, aunque en forma teórica, pero sin embargo significativo y que necesita investigación adicional, es la eliminación de tendencias de laminación entre el pavimento viejo y el pavimento nuevo. El valor de la deflexión de una carpeta asfáltica vieja es muy diferente que el de una sobrecarpeta nueva, consecuentemente, la posibilidad de laminación puede desarrollarse entre las carpetas viejas y nuevas, y comunmente desarrolla en uno o tres años después de que se termina la sobrecarpeta. Se estima que este tipo de falla es debida básicamente a la diferencia en los valores de la deflexión. El remezclado en caliente con Reclamite desarrolla una área de transición que elimina o disminuye los efectos de la diferencia en los coeficientes de deflexión y elimina este tipo de falla.

Llenado de Grietas (calafateo)

RECLAMITE

Una discusión cuando y donde debe usarse el RECLAMITE como aplicarlo debidamente, y algunos datos que demuestran sus efectos.

Por:

Ing. William Canessa, Gerente de Productos de Ingeniería
Golden Bear Division, Witco Chemical Corporation
Bakersfield, California.

Copia del artículo presentado en la sesión especial del -
Comité del Consejo de Investigación de Carreteras, Washing-
ton, D.C.

Enero 22-26 1973.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RECLAMITE

Una discusión de cuando y donde debe usarse el RECLAMITE, como aplicarlo debidamente, y algunos datos que muestran sus efectos.

Expositor:

Ing. Rafael Limón Linón

SEPTIEMBRE, 1983

RECLAMITE

Una discusión de cuando y donde debe usarse el RECLAMITE como aplicarlo debidamente, y algunos datos que muestran sus efectos.

Los ingenieros dedicados a la construcción de caminos cada vez incrementan el uso del agente rejuvenecedor Reclamite* en sus procedimientos de mantenimiento y en sus programas de construcción. Entre los trabajos específicos en que se está aplicando están los siguientes:

Restaura o mejora grandemente la flexibilidad y ductilidad de los pavimentos asfálticos viejos que han sido atacados por el intemperismo.

En construcción nueva, para restaurar las cualidades originales del asfalto, que han sido parcialmente perdidas debido al envejecimiento artificial ocurrido durante la operación de calentamiento en la planta. La acción de rejuvenecimiento ocurre solamente en la parte superficial de la carpeta hasta la profundidad de 0.6 a 1.5 cms. por consiguiente, no provoca ningún efecto adverso en la estabilidad de las carpetas.

Reduce la intrusión de aire y agua proporcionando un sello profundo y duradero que no puede ser removido por el tránsito o el intemperismo. Esta acción ocurre en los pavimentos viejos y en los nuevos que reciben un tratamiento -- con RECLAMITE.

Ayuda a reducir la permeabilidad donde las densidades deseadas no se lograron debido a las bajas temperaturas ambientales o a las mezclas empleadas durante el acarreo debido a las largas distancias desde la planta hasta la obra.

Los tratamientos con RECLAMITE también son usados ampliamente para mejorar las propiedades del asfalto en las operaciones de reciclamiento en caliente y repavimentación en caliente, y para llenar y sellar las grietas pequeñas del pavimento. Como tales tratamientos tienen mucho uso, cada vez incrementa la importancia de conocer y entender cuando son más efectivos y cuando deben aplicarse, particularmente en las aplicaciones a construcciones nuevas.

La experiencia ganada con RECLAMITE, el agente rejuvenecedor más efectivo y más ampliamente usado, puede ayudar a guiar a los ingenieros cuando están considerando programas de tratamiento rejuvenecedor. El agente, que es una emulsión con agua y petroquímicos seleccionados, se proporciona en forma de un concentrado frío y diluido en el lugar de la obra con cualquier agua fría disponible (aún agua --

Condiciones del Pavimento

Las características del nuevo pavimento dictaminarán el criterio del ingeniero no solamente en la velocidad de aplicación del material sino también en si debe hacerse el tratamiento. Se debe hacer cuidadoso de las condiciones del pavimento, antes de decidir sobre el uso de un tratamiento de este tipo.

El pavimento asfáltico debe tener un contenido de vacíos de cuando menos 5% para que la aplicación resulte práctica y benéfica. Los pavimentos con un contenido de asfalto alto o en exceso, tienen pocos vacíos y por lo tanto están sujetos a inestabilidad, surcamientos, y llorado ya sea que sean o no tratados con el rejuvenecedor por lo tanto, el tratamiento de tales pavimentos es contraindicado. Además, si la calidad del agregado es tal que será pulido o degradado rápidamente, la longevidad extra que un tratamiento proporcionaría se nulifica, por lo que el tratamiento debe evitarse.

Los pavimentos más viejos, antes de ser tratados con RECLAMITE en un mantenimiento preventivo, también requieren un examen cuidadoso. El tratamiento será efectivo solamente si el material rejuvenecedor puede penetrar debidamente. El pavimento no debe exhibir asfalto libre en su superficie, y su absorbencia debe determinarse con la prueba de anillo de grasa. Los proporcionamientos de aplicación recomendados varían desde 0.3 a 1.7 litros por metro cuadrado dependiendo de las características de absorbencia.

Los ingenieros deben estar alertas sobre ciertas condiciones que hacen los pavimentos más viejos inadecuados para tales tratamientos. Entre estos están; los pavimentos recientemente sellados con materiales asfálticos (tipo niebla), emulsión asfáltica o rebajados; las superficies inestables (como las indicadas por surcamientos, corrimientos o grietas); las superficies que han desarrollado zonas vidriadas por el tránsito o acumulaciones considerables de materiales extraños que pueden evitar la absorción del agente. El RECLAMITE debe absorberse completamente, para que sea de valor.

Aplicación

El RECLAMITE se riega mejor usando una Petrolizadora convencional de asfaltos.

El equipo debe estar limpio, sin remanentes de asfalto o disolventes en el tanque y ajustado para que no se propicien goteos en las conexiones. Es aconsejable aplicar una pequeña cantidad del material a través de la barra distribuidora, fuera del camino, para asegurarse de que la barra está limpia y debidamente ajustada. Las boquillas rociadoras deben ser del menor diámetro (aproximadamente de 3 milímetros de

En el proceso de escarificación en caliente, el Reclamite se aplica sobre la carpeta vieja después de la escarificación, en forma concentrada (sin diluir) en proporciones que varían desde 0.6 a 1.2 litros por metro cuadrado. Es práctica común recubrir inmediatamente el pavimento escarificado y tratado. En ocasiones esta etapa de recubrimiento se retrasa, y es deseable abrir al tránsito la sección escarificada y compactada. Si esto sucede, debe hacerse solamente si ha ocurrido la penetración completamente y la superficie ha obtenido suficiente coeficiente de fricción para considerarse segura.

Existen dos requisitos importantes que deben tener en mente para tener éxito en una obra de escarificación en caliente; El pavimento existente no debe tener fallas estructurales; y la escarificación debe llegar hasta cuando menos 1.5 cms., preferiblemente 2.0 cms. de profundidad.

Este procedimiento tiene tres ventajas básicas sobre un tipo convencional de recubrimiento: 1) Asegura la trabazón; 2) Rejuvenece el pavimento viejo escarificado, desarrollando cuando menos una pulgada adicional de pavimento flexible; y 3) elimina las grietas superficiales en la carpeta, retardando por lo tanto el agrietamiento reflectivo.

El Reclamite usado en el llenado de grietas ha probado tener mucho éxito si se usa en grietas de un cuarto de pulgada o menos. Este tamaño de grieta es difícil de llenar con los componentes normales para el calefateo que utilizan materiales asfálticos, mientras que la baja viscosidad de Reclamite le permite penetrar en las grietas fácilmente. A continuación se riega arena sobre el área agrietada y el pavimento queda listo para el tránsito. Las ventajas de esta técnica son: 1) no es necesario limpiar las grietas; 2) el Reclamite restaura la flexibilidad en el área agrietada por lo que elimina el descantillamiento y las zonas frágiles; 3) no provoca deformaciones o decoloración peligrosa. También es digno de mencionarse que debido a que Reclamite no requiere calentamiento, se simplifica toda la operación.

El pavimento asfáltico es extremadamente versátil, y si por cualquier motivo se abusa en un diseño impropio o durante la construcción inicial en las operaciones de mezclado, las fallas resultantes pueden corregirse por alguno de los diferentes métodos que existen.

Dicho pavimento proporciona una vida útil larga y, cuando parece que ha concluido su tiempo de vida, puede aún ser utilizado y formar parte de una capa adicional de pavimento asfáltico aplicando de escarificación en caliente o las técnicas convencionales de recubrimiento.

2. Corazones sacados de la Carretera 178 (Autopista) de Calif., Bakersfield, construída en Diciembre de 1966. Porción del pavimento tratada con 0.5 - litros por metro cuadrado de una dilución de Reclamite 2:1 la otra parte se trató con emulsión asfáltica aniónica (RL-1), ambos tratamientos como construcción de sello. Los corazones se sacaron en marzo de 1968.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO

Profundidad	Sección con RECLAMITE	Sección con RL-1H
Parte superior		
0.6 cms.	57.8	11.5
0.6 a 2.0 cms.	13.8	13.2

3. Corazones de la Carretera Estatal de Nueva York, sección Berkshire, trata da con 0.6 litros por metro cuadrado de una dilución de RECLAMITE 2:1 en Agosto de 1964 cuando la edad del pavimento era de 6 años. Los corazones se sacaron en octubre de 1965, dos corazones de cada sección.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO

Profundidad	Sección con RECLAMITE	Sección sin tratar
Parte superior		
1.5 cms.	43 - 42	20 - 19

4. Corazones de una carpeta de granulometría densa sobre la Carretera al Nor te de Carson City, Nevada, tratados en septiembre de 1965 con 0.75 litros por metro cuadrado de una dilución de RECLAMITE 2:1, con excepción de tra mos cortos que se dejaron para comparación.

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO

	Profundidad	Sección con RECLAMITE	Sección sin tratar
NOV/1965	Superior 1.3 cms.	82.0	23.5
	1.3 - 2.6 cms.	46.0	45.0
	2.6 - 4.0 cms.	45.5	48.0
ABR/1967	Superior 1.3 cms.	48.0	19.4
	1.3 - 2.6 cms.	40.0	34.5
	2.6 - 4.0 cms.	41.6	34.5
DIC/1968	Superior 1.3 cms.	39.8	16.8
	1.3 - 2.6 cms.	34.6	22.0
	2.6 - 4.0 cms.	33.5	26.0

RECLAMITE^R

FUNCION DE RECLAMITE Y DE LA ESCARIFICACION EN CALIENTE

Por:

Ing. William Canessa

Gerente de Productos de INGENIERIA

Golden Bear Division Witco Chemical Corporation

Bakerfield, California

Copia del Artículo presentado en el Quinto Curso Anual de Obras
Públicas en Texas

Universidad de Texas

College Station, Texas

Febrero 23-25, 1976



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

RECLAMITE

Función del Reclamite en el procedimiento
de escarificación en caliente

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

RECLAMITE

Función del RECLAMITE en el procedimiento de Escarificación en Caliente

Por: Ing. William Canessa

Gerente de Productos de Ingeniería
Golden Bear Division, Witco Chemical
Corporation Bakersfield, California.

En vista del alto costo actual de los materiales de construcción de caminos y del mantenimiento de los mismos, junto con el hecho de que la renta pública de los caminos no se está incrementando y en muchas áreas se está reduciendo, la utilización completa de los pavimentos asfálticos existentes se hace una necesidad económica. Sin embargo, para que este pavimento existente sea una parte integral útil de un recubrimiento planeado o de un programa de rehabilitación, tiene que ser restaurado a su condición original o cerca de la original. Esta restauración puede hacerse a través del procedimiento de reciclamiento completo del espesor total de la carpeta, o por el método de eskarificación en caliente donde la restauración se realiza generalmente en la parte superficial a 2.5 cms. de profundidad del pavimento existente.

Este artículo se dirigirá a este último método de eskarificación en caliente y aplicación de RECLAMITE para la rehabilitación de los pavimentos de concreto asfáltico existentes, lo cual es mucho menos costoso que el reciclamiento.

Función del RECLAMITE

Un paso importante y vital en el proceso de eskarificación en caliente es el de rejuvenecer cuando menos 2.5 cms. de espesor del pavimento existente (parte superficial), y ésto puede realizarse solamente con el uso de un agente rejuvenecedor probado y conocido como el RECLAMITE. El RECLAMITE es una emulsión catiónica de maltenos que restaura la plasticidad y ductilidad del pavimento asfáltico hasta la profundidad donde penetra. Esta acción se realiza químicamente por la adición de las fracciones del asfalto que se perdieron durante el proceso de envejecimiento, incrementando por consiguiente el valor de penetración del asfalto existente. El uso de emulsiones asfálticas, rebajados, o cualquier otro producto asfáltico no rejuvenecerá un pavimento asfáltico existente.

El RECLAMITE tiene una función muy útil en la vida total de un pavimento asfáltico, desde el momento en que el pavimento se coloca al nivel y se usa el RECLAMITE como construcción de sello, hasta el momento en que el reciclamiento se hace necesario -

en caliente y aplicación de RECLAMITE cuando se va a usar un recubrimiento (1.8 a 2.5 cms.) o slurry seal.

Existen dos procedimientos para la escarificación en caliente, el método en serie y el método de pavimentación retardada. El método en serie se usa cuando el recubrimiento va a ser de una mezcla de graduación densa. Para recubrimientos de granulometría abierta, slurry seal o riego de sello, el método de pavimentación retardada es el que debe usarse. También puede usarse el de una graduación densa después del pavimento retardado.

Método en Serie

Este método de escarificación en caliente y aplicación de RECLAMITE en procesos de recubrimiento es un procedimiento de 4 pasos. El primer paso es para calentar y escarificar la parte superficial con espesor de 1.5 a 2.0 cms. del pavimento. El segundo paso consiste en aplicar por regado de 0.5 a 1.0 litros por metro cuadrado de RECLAMITE concentrado inmediatamente después de la operación de escarificación para rejuvenecer el material viejo.

En la tercer etapa o paso se coloca un recubrimiento asfáltico nuevo sobre el pavimento rejuvenecido. La colocación del recubrimiento se efectúa en forma convencional tan pronto como sea práctico después de la aplicación del RECLAMITE. Debe mantenerse en mente que debe haber suficiente espacio entre las operaciones para que el equipo funcione debida y eficientemente.

El cuarto paso del procedimiento es la compactación. Para compactar se usan compactadores convencionales de rodillos de acero y neumáticos con objeto de lograr una carpeta adecuada con la mezcla preparada y la de asfalto fresco. Un tratamiento subsecuente de la sobrecapa con aproximadamente 0.25 a 0.35 litros por metro cuadrado de RECLAMITE diluido a razón de dos partes de concentrado por una parte de agua prolongará la vida útil del pavimento. Debe hacerse notar que si el RECLAMITE se va a usar como construcción de sello el nuevo recubrimiento no debe diseñarse con un alto contenido de asfalto y que debe haber cuando menos 4% de vacíos en la carpeta.

Método de Pavimentación Retardado

Este método de pavimentación es el siguiente: el primer paso es de calentamiento y escarificación. El segundo paso es seguir inmediatamente detrás de la escarificadora con equipo de compactación de rodillos de acero y neumáticos. La aplicación de RECLAMITE por medio de riego sobre el área compactada, se hace al final de cada día de trabajo. La proporción de aplicación puede variar desde 0.70 a 1.12 litros por metro

Localización 1	10.2	16.0	18.1
Localización 2	25.3	46.4	63.0

Departamento de Trans-
portes de Arizona Ca-
rrretera Panamericana

Corazón # 1	6.5	19.9	35.5
-------------	-----	------	------

La siguiente operación es de un corazón de prueba del aeropuerto del Condado de --
Yuba California, que se escarificó y se trató con RECLAMITE, colocándose además --
una sobrecarpeta de 6.5 cms. El corazón se tomó, aproximadamente, tres meses des-
pués que el trabajo se terminó.

Espeesor de 1.5 cms. de mezcla nueva sin tratar	37.4	valor de penetración
2.0 cms. del pavimento original, escarificado en caliente y trata- do con 1.0 litros/m ² de RECLAMI- TE concentrado.	147.0	valor de penetración
4.0 cms. bajo la porción escari- ficada en caliente.		Demasiado duro para registrarse.

CONCRETO ASFALTICO (Reciclado)

Descripción:

El concreto asfáltico reciclado consistirá de mezclar en una planta el material re-
movido de acuerdo con el artículo 2020030 y un agente reciclante para formar una ca-
pa de pavimento de acuerdo a los requerimientos del proyecto y de los requisitos es-
peciales.

Material:

Agregado Mineral:

Se procesa el concreto asfáltico existente para que cumpla los siguientes requisitos
de granulometría:

Pasa Malla	Por ciento
1 1/2"	100
1"	90 - 100

rátula u otros instrumentos termométricos aprobados, para determinar la temperatura de los agregados asfálticos.

El contratista debe instalar dispositivos satisfactorios de precipitación o usar -- otros tipos de aparatos para el control de emisiones excesivas durante las operaciones de mezclado de la planta y cumplir las normas para la protección del ambiente, tanto las Locales como las Estatales o Federales.

El contratista debe poner especial atención a las posibilidades de emisión excesiva de contaminantes del ambiente debida a los materiales asfálticos para el recubrimiento, utilizados en la mezcla.

Mezclado:

La temperatura de mezclado de las carpetas asfálticas recicladas estarán en el intervalo de 85° a 100°C.

La atención del contratista se dirige a las posibilidades de emisión excesiva de contaminantes del ambiente debido al material recubierto con asfalto. Por lo que instalará elementos de control para estas emisiones durante las operaciones de la planta de mezclado, cumpliendo así las normas Locales, Estatales y Federales al respecto.

El concreto asfáltico para reciclamiento se introduce a la planta y se mezcla aproximadamente con 1.0 por ciento de agente reciclante como porcentaje del peso total de la mezcla.

El porcentaje real se determinará con la fórmula del mezclado en obra.

Se debe adicionar uniformemente, de cinco a siete por ciento de agua en peso al agregado, inmediatamente antes del mezclado, con objeto de retardar la inflamación del - agente reciclante y reducir la contaminación del aire.

Colocación y Acabado:

La temperatura del concreto asfáltico reciclado, justamente antes de compactar, no - debe ser menor a 77°C; sin embargo, la temperatura deberá ser tal que el material reciclado puede ser colocado, terminado y compactado según lo requerido por el ingeniero.

Se debe agregar de 5 a 7% en peso de agua al agregado por medio de boquillas rociadoras colocadas en dos o más lugares a lo largo de la banda de alimentación en frío, - con objeto de retardar la inflamación del agente reciclante y de reducir la contaminación del aire.

remezclado de la carpeta asfáltica existente, donde el ingeniero lo juzgue práctico, sobre la cual se coloca concreto asfáltico.

El equipo de escarificación en caliente debe usar como combustible gas licuado derivado del petróleo que cumpla con las especificaciones de la Oficina del Control de la Contaminación Ambiental, de la División de Servicios de Salubridad Ambiental del Departamento de Salubridad de Arizona, E. U. A.

Antes de iniciar las operaciones de escarificación en caliente debe limpiarse, el pavimento existente, de todo material extraño. Cuando sea necesario debe reforzarse a la barredora mecánica con un barrido a-mano, hasta que todo el material perjudicial se elimine de la superficie.

El pavimento existente debe calentarse hasta una extensión mínima de dieciseis (16)-cms., más grande que la amplitud del material que va a ser escarificado.

El material que se va a reciclar debe escarificarse y voltearse para separar las partículas pero no al grado de quebrar el agregado. El material escarificado debe distribuirse por medio de una máquina pavimentadora aprobada o cualquier otro equipo capaz de producir el mismo resultado final. La extensión del material procesado por la pavimentadora u otro dispositivo de nivelación, deberá confiarse a la extensión original del material escarificado. Se estima que se alcanzó la profundidad de escarificación requerida, cuando al medir dicha profundidad se tiene un mínimo de 2.5 cms.

No menos de 58.5 kgs. por metro cuadrado, de acuerdo con el procedimiento 409 de Arizona, de la superficie del pavimento existente deberán escarificarse y remezclarse basándose en un peso unitario de $2,300 \text{ kgs./m}^3$ del material especificado. El ingeniero deberá ajustar los kgs. especificados por metro cuadrado cuando las pruebas indiquen que el peso específico del material escarificado varía en más del 5% de $2,300 \text{ kgs/m}^3$.

El peso específico deberá determinarse de acuerdo al método AASHTO T-166 empleando el material escarificado, compactado según el artículo 3.5 de Método AASHTO T-245 excepto que las temperaturas de compactación deberán ser de $150^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}$.

La escarificación se considerará aceptable cuando el promedio móvil de tre (3) pruebas consecutivas (al azar) sea igual o exceda a los 58.5 kgs/m^2 , determinado con el Método Tentativo 409 de Arizona. Si no se obtienen resultados satisfactorios después de la primera hora completa de operación, se suspenderá la escarificación. El trabajo se reanudará solamente después de que el contratista haya hecho ajustes y de que el ingeniero compruebe que pueden cumplirse los requisitos.

La temperatura del material escarificado no deberá exceder de 280°F cuando se mide inmediatamente atrás de la escarificadora.

INFLUENCIA DEL AGENTE
REJUVENECEDOR DEL ASFALTO COMO
CONSTRUCCION DE SELLO EN LOS PAV. ASFS.

POR:

W I L L I A M C A N E S S A , P. E.

GERENTE DE PRODUCTOS DE INGENIERIA DE LA GOLDEN BEAR
DIVISION, WITCO CHEMICAL COMPANY, INC., BAKERSFIELD, CALIFORNIA.

COPIA DEL TRABAJO PRESENTADO A LA "ASOCIACION AMERICANA" DE
OBRAS PUBLICAS EN LA CONFERENCIA REGIONAL DEL OESTE EN LAS
VEGAS, NEVADA. MAYO 12-15 DE 1970.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Influencia del agente rejuvenecedor del asfalto como construcción
de sello en los pavimentos asfálticos

Expositor:

Ing. Rafael Limón Linón

SEPTIEMBRE, 1983

INFLUENCIA DEL AGENTE REJUVENECEDOR DEL ASFALTO COMO CONSTRUCCION DE SELLO
EN LOS PAVIMENTOS ASFALTICOS.

Por el Ing. William Canessa,
Gerente de Productos de Ingeniería de la Golden Bear Division,
Witco Chemical Company, Inc.,
Bakersfield, California.

La vida útil de un pavimento de concreto asfáltico puede extenderse considerablemente usando agente rejuvenecedor del asfalto como construcción de sello. Esto es verificado por los inspectores de campo y el análisis de laboratorio de los pavimentos - construídos en 1961 en los que se usó agente rejuvenecedor del asfalto como construcción de sello.

El agente rejuvenecedor del asfalto ha sido efectivo en una variedad de usos, tales como (1) mantenimiento preventivo de los pavimentos más viejos, (2) operaciones de llenado de grietas (calafateo), (3) construcción de sello, (4) sobrecapa con remezclado en caliente.

Existen muchos artículos e instructivos publicados que describen el primero de los usos anteriores, y un departamento de carreteras estatal está en el proceso de estudiar y preparar un reporte detallado sobre el uso del agente rejuvenecedor, así como el uso de otros productos, para el llenado de grietas.

Este artículo tratará en detalle las dos últimas aplicaciones mencionadas anteriormente, o sea el uso del agente rejuvenecedor como construcción de sello, y en la sobrecapa de remezclado en caliente sobre los pavimentos asfálticos existentes.

El rejuvenecedor del asfalto que se usó en el trabajo aquí descrito es "RECLAMITE", que es una emulsión de resinas y aceites seleccionados del petróleo, desarrolladas por la Golden Bear Division de Witco Chemical Company, Inc.

Construcción de Sello

Suponiendo que todas las fases de la construcción de una obra de pavimentación con concreto asfáltico se ejecuten con los mejores métodos actuales, aún permanecen tres funciones básicas de los procedimientos de construcción que acortan la vida útil esperada de la obra, (1) la operación de calentamiento en la planta donde el asfalto - se expone al calor, (2) que las temperaturas ambientales y las distancias de acarreo sean tales que enfrien la mezcla caliente hasta un grado en que no pueda obtenerse - la debida compactación, lo cual posteriormente expone al pavimento a la intrusión de aire y agua, y (3) las características químicas del asfalto.

La sección de prueba de la Carretera Hilton en Arizona jamás se ha mostrado por lo que no se dispone de información analítica. Visualmente, ésta es una demostración muy espectacular del beneficio duradero del efecto benéfico del agente rejuvenecedor como construcción de sello. La sección sin tratar empezó a mostrar desprendimiento severo casi inmediatamente, mientras que la tratada con agente rejuvenecedor no había perdido material. En 1966 empezaron a desarrollarse grandes grietas longitudinales en la sección sin tratar y se detuvieron en las áreas tratadas con el agente rejuvenecedor sin la aparición de grietas en la porción tratada.

En agosto de 1963, el Departamento de Carreteras de Nuevo Mexico usó agente rejuvenecedor como construcción de sello sobre un carril de una obra de cuatro vías. Se tomaron corazones en marzo de 1965, y los análisis fueron los siguientes. Los valores de penetración del asfalto en 1.3 cms. de espesor superficial en tres diferentes corazones de las secciones tratadas con el agente rejuvenecedor fueron 52, 48 y 40, y en tres corazones de la sección sin tratar, se obtuvieron valores de 17, 23 y 22 (Figura 1). La inspección visual de este pavimento nuevamente indica una diferencia espectacular entre la parte tratada y la sin tratar, grietas y desprendimiento en la parte sin tratar en todos los 6.0 kilómetros de longitud del carril, tal deterioro superficial no existe en el carril tratado.

Un hecho importante que debe mencionarse en los experimentos de Arizona y Nuevo Mexico es la extrema diferencia en las condiciones climáticas. La sección de prueba en Arizona está cerca de Phoenix, que es una área extremadamente seca y caliente, mientras que la sección de Nuevo Mexico está en Bibo, que está a una altitud de 1,600 mts. S.N.M. y expuesta a severas condiciones invernales.

A fines de 1964, la División de Carreteras de California recubrió un tramo de la carretera de cuatro carriles U.S. 101 con porciones de los carriles hacia el norte y hacia el sur tratadas con agente rejuvenecedor. En julio de 1965 se sacaron corazones y los valores de penetración del asfalto de la parte superior de 1.3 cms. de espesor de la sección tratada fue de 47 y de la sin tratar 33 (Figura 1).

Para este tiempo la diferencia entre la textura superficial de las dos secciones era notable, indicando nuevamente pérdida de material, desprendimiento y deterioro general de la superficie en las secciones sin tratar, pero tales condiciones no eran visibles en las partes tratadas.

Otro proyecto experimental de la División de Carreteras de California se realizó sobre la Carretera 178 en Bakersfield, Calif., donde se comparó el uso de agente rejuvenecedor como construcción de sello, con un riego negro de emulsión asfáltica (sello de tipo niebla) (74-1b). Tanto el agente rejuvenecedor como la emulsión 74-1 en 1965

Muchas dependencias gubernamentales han utilizado este avance y han tenido grandes contratos durante los tres ó cuatro años pasados; por nombrar unos cuantos, San José California; Reno, Nevada; Las Vegas, Nevada; así como los de los Departamentos de Carreteras de los Condados de Kern y Tulare en California. Las aeropistas que han sido recubiertas usando este proceso son las del Aeropuerto Internacional El Paso (tres contratos), La Base de la Fuerza Aérea Mountain Home, La Base Aérea en Travis, La Estación Aérea Naval en Point Mugu y las Estaciones Navales Armadas en el Lago China, así como en las carreteras de las Bases de la Fuerza Aérea en Edwards y Vandenberg.

Brevemente, el proceso consiste en calentar el pavimento existente, escarificarlo hasta una profundidad de cuando menos 1.3 cms., preferiblemente 2.0 cms. y luego regar de 0.5 a 1.2 litros por metro cuadrado de agente rejuvenecedor concentrado, y a continuación recubrir con mezcla asfáltica. Este proceso tiene tres ventajas básicas sobre los tipos de recubrimiento convencional (1) asegura la trabazón, (2) rejuvenece el pavimento viejo escarificado desarrollando, cuando menos, 2.5 cms. de pavimento flexible adicional, (3) elimina las grietas superficiales en la carpeta existente retardando así las grietas por reflexión. Otro beneficio que debe mencionarse, aunque de tipo teórico, que sin embargo es significativo y que necesita investigación adicional, es la eliminación de las tendencias de laminación entre el pavimento viejo y el nuevo. Es un hecho que el valor de la deflexión en una carpeta asfáltica vieja es muy diferente que el de la sobrecapa nueva, consecuentemente, la posibilidad de laminación puede desarrollarse entre las capas viejas y nuevas. Esto probablemente se desarrollará algún tiempo después de que se haya terminado el recubrimiento, pero así sucede, y se atribuye a la falta de trabazón. Se cree que este tipo de falla se debe básicamente a la diferencia en el valor de la deflexión. El remezclado en caliente con el agente rejuvenecedor desarrolla un área de transición para absorber o amortiguar los efectos de la diferencia en los coeficientes de deflexión.

El efecto del agente rejuvenecedor en un pavimento escarificado en caliente, es el de incrementar el valor de penetración de esta capa de pavimento hasta una profundidad de cuando menos 2.0 cms. y generalmente hasta 3.0 cms. Esto significa que si la sobrecapa tiene 2 ó 3 cms. de espesor, en realidad el espesor del pavimento nuevo es de 4 a 6 cms. Varios corazones extraídos de las obras de remezclado en caliente indican que el asfalto en la capa remezclada en caliente tiene un valor de penetración más alto que el de una sobrecapa nueva.

Las pruebas de laboratorio se pueden efectuar fácilmente sobre los pavimentos viejos para determinar la cantidad de agente rejuvenecedor que debe especificarse y también

Las grietas existentes en un pavimento viejo tienden a reflejarse rápidamente en un recubrimiento convencional, pero en la operación de remezclado en caliente, el agrietamiento por reflexión se retarda. Las grietas se reflejarán eventualmente y algunas lo harán más bien pronto, pero generalmente, la magnitud de la grieta es mucho menor que la esperada normalmente.

Otra ventaja que debe mencionarse es que cuando se utiliza el remezclado en caliente puede diseñarse una sobrecapa delgada, la que a su vez evita la construcción por arriba de la corona y por lo tanto los problemas de drenaje.

Existen dos requisitos importantes que deben tenerse en cuenta para obtener éxito en una obra de remezclado en caliente (1) el pavimento no debe tener fallas estructurales, y (2) la escarificación debe llegar hasta cuando menos 1.3 cms., preferiblemente hasta 2.0 cms. de profundidad.

CONCLUSIONES

Basándose en los datos presentados, y en la experiencia obtenida desde 1961, las siguientes conclusiones son evidentes cuando se usa el agente rejuvenecedor del asfalto como tratamiento superficial sobre pavimentos recientemente construidos, o en conjunción con el remezclado en caliente, en las operaciones de recubrimiento.

1. Las fracciones del asfalto que normalmente se pierden en el calentamiento en la planta se restauran.
2. El pavimento nuevo se sella contra la intrusión de aire y agua formando un sello que no puede ser removido por el uso o el intemperismo.
3. La vida útil efectiva de un pavimento asfáltico se extiende, generalmente al doble, antes de que se haga necesario el mantenimiento superficial normal.
4. La textura del pavimento no se afecta apreciablemente, por lo que las características de propensión al derrapamiento no se incrementan ni en mojado ni en seco.
5. Cuando se usa sobre pavimentos que han sido calentados y escarificados antes del recubrimiento, se obtiene un espesor adicional de pavimento flexible, asegurando la trabazón, retardando el agrietamiento por reflexión y eliminando las tendencias de laminación.

Los datos analíticos y las conclusiones anteriores están basados en el agente rejuvenecedor del asfalto (RECLAMITE) ya que otros materiales o compuestos que pueden --

PENETRACION EN LA PARTE SUPERIOR DEL PAVIMENTO

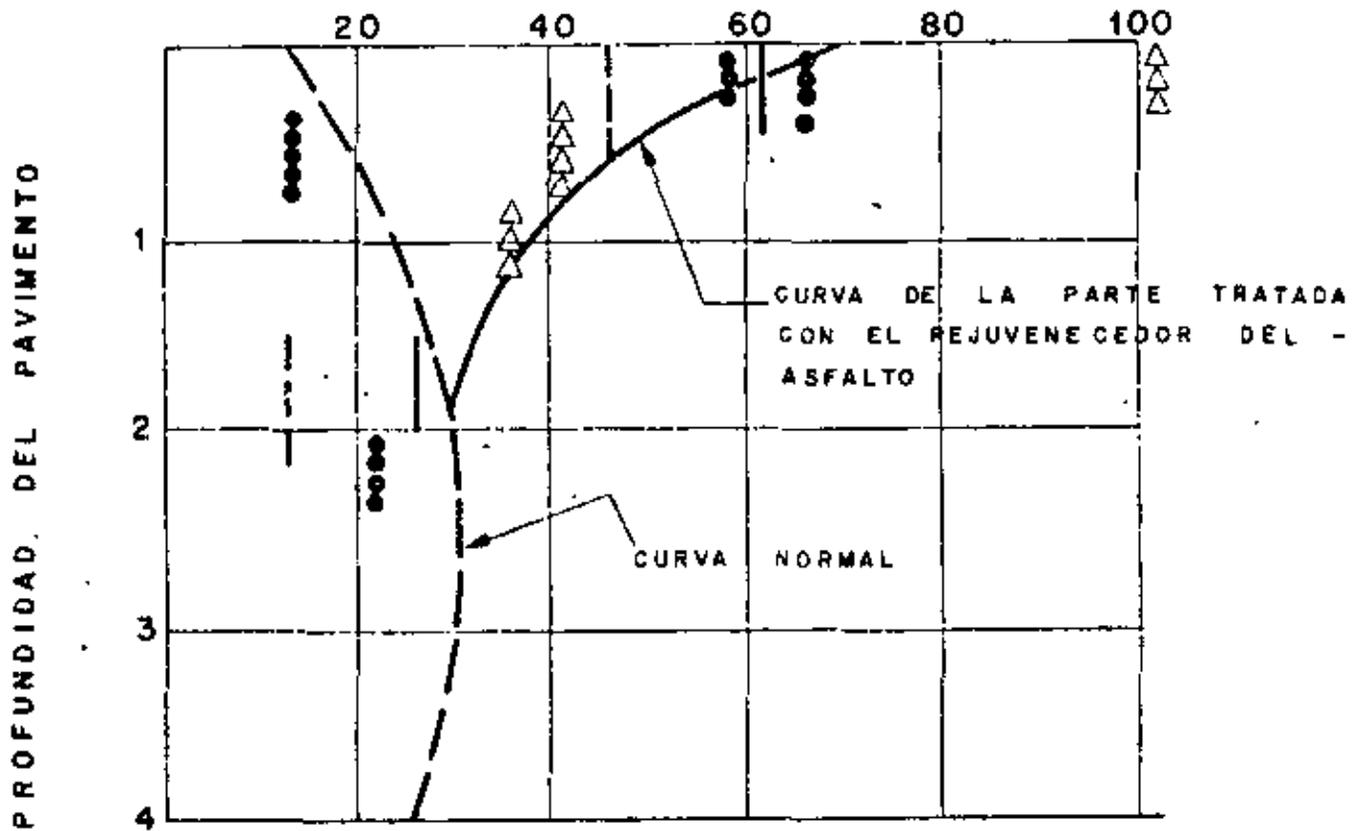


FIGURA 2

- | CONDADO DE TULARE, CALIF. EDAD 8 MESES
- AUTOPISTA 178, CALIF. EDAD 15 MESES
- BASE F.A. EN REESE, TEXAS EDAD 21 MESES
- △ CONDADO DE FRESNO, CALIF. EDAD 14 MESES
- | CONDADO DE KERN, CALIF. EDAD 3 AÑOS

VALORES DE PENETRACION DEL ASFALTO EXTRAIDO DE LA PARTE SUPERIOR Y DE PROFUNDIDADES MAS BAJAS DE LOS PAVIMENTOS DONDE SE USO AGENTE REJUVENECEDOR DEL ASFALTO COMO CONSTRUCCION DE SELLO.

REJUVENECIMIENTO Y RECICLAMIENTO DEL ASFALTO

Por:

William Canessa, P. E.
Gerente de Productos de
Inteniería de la Golden
Bear División Witco
Chemical Corporation

Bakersfield, California

Copia del artículo presentado por el Instituto Técnico de
Reciclamiento de Pavimentos

Octubre 25-26, 1978

Nueva York,



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Rejuvenecimiento y reciclamiento del asfalto

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

REJUVENECIMIENTO Y RECICLAMIENTO DEL ASFALTO

Por William Canessa, P. E.

Gerente de Productos de Ingeniería
Golden Bear Division, Witco Chemical Corporation
Bakersfield, California

Mucho se ha publicado sobre las técnicas, procedimientos, equipo y todo lo demás involucrado en el área de reciclamiento de los pavimentos asfálticos, tanto superficial como profundo.

Este artículo se dedica primeramente a decir como evitar la etapa de reciclamiento total que resulta caro, por medio de la utilización de herramientas disponibles, tecnología y materiales para prolongar la vida de los pavimentos existentes, usando procedimientos de mantenimiento ya sea preventivos o correctivos.

Sin embargo, antes de entrar en materia, sería conveniente hablar por un momento acerca de la significancia de los agentes rejuvenecedores en los procedimientos de reciclamiento y de como se relacionan para el desarrollo de un procedimiento racional de diseño de la mezcla. Estos son conceptos que ya habíamos presentado otros compañeros y yo en dos artículos recientes.

Uno de ellos, salió en la junta de la Asociación de Tecnólogos en Pavimentos Asfálticos, y es una guía para un procedimiento de diseño racional de la mezcla y el otro que apareció en diciembre de 1977 en la junta de la ASTM, ofrece recomendaciones prácticas para seleccionar el agente rejuvenecedor indicado. Las copias de ambos artículos están disponibles para los que deseen más detalles.

Uno de los principales puntos de estas presentaciones es la importancia de rejuvenecer o reconstituir el asfalto residual más bien que limitar el procedimiento de reciclamiento a la adición de un asfalto de alta penetración para satisfacer la demanda total de asfalto del agregado. Creemos que la última condición es insana desde el punto de vista de la ingeniería. Si hay un 4% de asfalto residual y la demanda es de 6% ¿como puede alguien ignorar el 60% del aglutinante?. Tiene que restaurarse si la mezcla final reciclada tiene que ser durable. ¿Porque aceptar todos los problemas, gastos, esfuerzos y el uso de la energía para reciclar sin asegurar la durabilidad?.

También cuestionamos la práctica de adicionar 50% de agregado vírgen al pavimento asfáltico envejecido triturado. Se dice que esto se hace para eliminar el problema de la contaminación ambiental. La opinión de la Golden Bear, por otro lado, recomienda la adición del 10 al 15% de agregado vírgen, si es necesario para ajustar la granulometría. Los fabricantes del equipo y los operadores de la planta son capaces de manejar el problema de la contaminación, y de verdad que lo hacen.

El procedimiento de recubrimiento aplicando la escarificación en caliente y RECLAMITE se emplea para cubrir el área de mantenimiento correctivo y es probablemente el menos utilizado o comprendido. Todas las agencias interesadas deberían de examinar este avance cuidadosamente y sus tres marcadas ventajas: 1.- Economía, 2.- evitar el alto costo del reciclamiento total; 3.- se dispone, al mismo tiempo, de 5 a 10 años o más de uso adicional al costo nominal. El proceso de calentamiento-escarificación se termina generalmente con una superficie de rodamiento en buenas condiciones de tracción para el tránsito, que puede ser un slurry o riego de sello para caminos de bajo volumen de tránsito o bien del tipo de granulometría densa o abierta para los caminos importantes y las aeropistas.

Se anexa a este artículo una copia de una presentación hecha en la Universidad de Texas, que describe todos los aspectos del proceso de calentamiento-escarificación detalladamente, junto con el procedimiento que usa la Golden Bear en las pruebas -- preliminares de los pavimentos para determinar la cantidad del agente rejuvenecedor que debe aplicarse y lo que se hará con un pavimento dado. También se incluyen páginas seleccionadas de las especificaciones del Departamento de Transportes de Arizona, que establecen detalladamente los requisitos para obras recientes de reciclamiento total fuera del lugar, así como en la aplicación del agente rejuvenecedor en el procedimiento de escarificación en caliente en este mismo proyecto. El procedimiento del Departamento de Transportes de Arizona para las carreteras de carriles múltiples es el reciclamiento en caliente del carril de viaje, fuera del lugar, y la escarificación en caliente en el carril de rebase, y entonces colocar como acabado una superficie de rodamiento sobre la completa extensión, consistiendo generalmente de una mezcla de granulometría abierta de 2.0 cms. La porción de reciclamiento de estos contratos requiere la aplicación del aditivo CYCLOGEN-™ y para la escarificación en caliente requiere del aditivo RECLAMITE[®].



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Los aspectos químicos del reciclamiento de los pavimentos
asfálticos que debe conocer el ingeniero

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

LOS ASPECTOS QUÍMICOS DEL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS QUE DEBE CONOCER EL INGENIERO.

INTRODUCCION.

Mi contribución en el simposium es un intento para presentar los puntos de vista de un ingeniero, sobre los aspectos químicos, del reciclamiento de los pavimentos asfálticos. Es básicamente una discusión de cómo, el tópico de este simposium, se trata generalmente. Se han publicado un gran número de artículos y reportes por los ingenieros que tratan con los aspectos mecánicos y económicos de la materia, pero su lectura revela una clara omisión de los aspectos químicos relevantes en las consideraciones ingenieriles. Las presentaciones hechas por los químicos son, en la mayoría de los casos, difíciles de entender para los ingenieros. Los términos científicos de las reacciones químicas, nombres de compuestos químicos específicos la estructuración con las fórmulas y de otros recursos para describir los fenómenos químicos, que resultan claros para un químico orgánico con práctica, resultan barreras para los ingenieros encargados de la construcción y por lo tanto dichos artículos resultan confusos.

Nosotros los ingenieros, debido a nuestra práctica, no tenemos dificultad para entender los fenómenos químicos, pero cuando aparece la química es otra historia diferente. Sin embargo, tenemos muchas preguntas con respecto a la química de los materiales que manejamos y usamos, pero por las razones mencionadas la mayoría de los ingenieros están temerosos de preguntar. Afortunadamente yo tengo muy buen trato con los químicos que trabajan con el asfalto en nuestro departamento de investigación y tuve confianza de preguntarles sobre la química del asfalto, sobre la cual recibí muy buenas respuestas en un lenguaje fácil de entender por el ingeniero civil.

El propósito de este artículo es el de mostrarles lo que yo aprendí.

No es mi intención indicar que los aspectos químicos son los únicos que deben considerarse, pero quiero enfatizar que deben tenerse en cuenta y que no pueden ignorarse en las aplicaciones de la ingeniería de los pavimentos asfálticos.

La presentación comprende los siguientes tópicos del reciclamiento:

- (1) Objetivos Generales
- (2) Operaciones Mecánicas
- (3) Aspectos físicos y químicos fundamentales
- (4) Procedimientos de Operación
- (5) Resumen

Mecánica del Reciclamiento.

Los aspectos básicos que deben considerarse en todas las operaciones de reciclamiento son los mismos.

Los pasos ejecutados son también los mismos, y consisten en (1) desbastar el pavimento viejo, (2) analizar su composición, (3) determinar la cantidad requerida de agente rejuvenecedor; (4) mezclar los ingredientes, lo cual en algunos casos puede incluir pequeñas cantidades de agregados y asfalto nuevos y (5) tender el pavimento reciclado.

El primer hecho básico.- que debe considerarse es que el calentamiento es benéfico en todas las operaciones desde el desbastado del pavimento hasta la etapa final de tendido de la nueva mezcla.

El calentamiento moderado reduce la viscosidad del cemento asfáltico envejecido y por lo tanto ayuda a desmenuzar los trozos de la carpeta vieja sin triturar el agregado; el mezclado en caliente agiliza la combinación de los ingredientes (asfalto viejo y aditivos) y ayuda a la distribución uniforme del cemento asfáltico nuevamente formado, a través del agregado; el calentamiento empleado al pavimentar, ayuda a la compactación y agiliza las operaciones de acabado. Otro punto importante es que en todas las operaciones, el calentamiento, reduce el uso del equipo empleado. Al escoger el equipo, el proporcionamiento de calor, en adición a las operaciones mecánicas eficientes, será siempre preferido.

El segundo aspecto básico.- que debe considerarse es que entre mayor sea el volumen del aditivo que se incorpore en la mezcla los resultados son mejores. Es difícil, y frecuentemente imposible, distribuir uniformemente una pequeña cantidad de fluido a través de una cantidad grande de ingredientes sólidos secos. Una masa porosa seca, como la de un pavimento viejo desmenuzado, absorberá rápidamente cualquier tipo de hidrocarburo líquido en el lugar donde se adicione antes de que pueda ser distribuido uniformemente en toda la mezcla. La situación se agrava si se usa más de un aditivo. Por ejemplo si los ingredientes que van a mezclarse son (1) el pavimento viejo desmenuzado, (2) un agente rejuvenecedor, (3) agregado nuevo, y (4) asfalto nuevo, la práctica mejor será promezclar (1) con (2) y (3) con (4) y entonces combinar dichas mezclas.

Tal mezclado múltiple de ingredientes múltiples requiere de consideraciones especiales en cuanto al equipo y tiempo de mezclado empleados en cada paso.

Esta ha sido mi primera referencia sobre la composición química y creo apropiado explicar la pertinencia de la química en la ingeniería en este punto. La química del asfalto es más importante cuando se examina la durabilidad. Ya que la falta de durabilidad es la causa del deterioro, y restaurar la utilidad de los pavimentos deteriorados constituye la esencia del reciclamiento, por lo que es conveniente poner un poco de atención a la química involucrada.

Fundamentos Físicos y Químicos del Reciclamiento.

El comportamiento mecánico del asfalto y de los agregados, así como de las mezclas de los dos está gobernado por las leyes de la física. Los principales factores que deben con las leyes de la física. Los principales factores que deben considerarse son los efectos de la temperatura y de las fuerzas mecánicas aplicadas. Esto es el área donde el equipo eficiente es más importante. Debido a la previsión de los fabricantes de equipo, actualmente se tiene disponible maquinaria que proporciona, en el lugar o fuera de él, mezclado efectivo y calentamiento cuando se requiera. Se está desarrollando nuevo equipo para cumplir con las necesidades y adaptarse con los procedimientos de procesamiento mejorados. Los fabricantes de equipo están muy avanzados en el campo de la pavimentación.

La investigación química ha creado agentes rejuvenecedores que pueden reconstituir los cementos asfálticos envejecidos hasta una calidad superior en durabilidad al asfalto originalmente empleado en el pavimento viejo y, aún superior, a la de muchos asfaltos que cumplen solamente los requerimientos de la especificación física. La composición de los agentes rejuvenecedores puede especificarse, ahora, para asegurar la compatibilidad deseada con todos los asfaltos envejecidos, y un alto grado de durabilidad del asfalto nuevamente formado.

Las Figuras 4 y 5 muestran los cambios físicos y químicos de un asfalto durante el envejecimiento, reciclamiento, y reenvjecimiento.

El requerimiento importante de que el agente rejuvenecedor debe impartir ligazón a la mezcla, es olvidado con frecuencia. La ligazón es necesaria no sólo para desarrollar la cohesividad en la mezcla durante la compactación, sino también adhesión y fusión de las capas, si un pavimento es tendido en dos o más niveles.

Los principios químicos pertinentes que gobierna el comportamiento de un asfalto pueden explicarse y entenderse fácilmente con unos cuantos hechos fundamentales. Los asfaltos consisten de cinco grupos de componentes:

pecificación de que la relación de composición, $(N+A_1) / (P+A_2)$, debe estar para un asfalto altamente durable entre 0.4 y 0.8.

La relación, N/P, cantidad de peptizador (solvente) para el agente gelizante - (floculante), regula la sinéresis, o sea la compactibilidad de las fracciones. La viscosidad de los maltenos la mezcla de N, A₁, A₂ y P, juega un papel significativo para formar un asfalto de acuerdo con la cantidad de agente estructurador (A) necesario para satisfacer los requerimientos de consistencia del asfalto. Un asfalto con valor de penetración de 60 (por ejemplo, BPR 348) que contiene maltenos con una viscosidad de 300,000 poises a 25°C contiene solamente 11% de asfaltenos, mientras que un asfalto con igual penetración (por ejemplo asfalto BPR 349) que contiene maltenos con viscosidad de 6,000 poises a 25°C tiene - aproximadamente 28% de asfaltenos.

El envejecimiento de un asfalto se inicia al aplicarlo. El envejecimiento causa un desequilibrio de estos componentes, resultando en un incremento de asfaltenos a expensas de la fracción de maltenos, los cuales se convierten gradualmente en asfaltenos.

El efecto sobre los pavimentos es de endurecimiento, pérdida de cohesión, desprendimiento, agrietamiento y desgarramiento. Estos efectos adversos del envejecimiento son progresivamente más severos con el contenido de vacíos incrementado del pavimento. Un agente rejuvenecedor debidamente formulado reconstituye al asfalto envejecido reabasteciéndolo la cantidad recuperada de las fracciones de maltenos, formando un nuevo cemento asfáltico altamente durable.

Esto es en forma simplificada, toda la química que el ingeniero de pavimentos necesita para especificar un agente rejuvenecedor adecuado. Las especificaciones para los agentes rejuvenecedores que se muestran en las Tablas 1 y 2 aseguran que el cemento asfáltico reciclado tenga una composición que le de libertad de sinéresis y resistencia al envejecimiento.

En mi discusión sobre la química del asfalto, yo confío en los estudios químicos y en las interpretaciones de los resultados que se practicaron en nuestro laboratorio de investigación. Estoy consciente de que algunos otros usan diferentes -- recursos. Yo estoy usando solamente los recursos de la Witco-Golden Bear para explicar nuestros razonamientos y presentar las evidencias experimentales acumuladas.

Procedimientos de Operación.

El principal pre-requisito para un procedimiento de diseño racional es entender y conocer la validez de los principios científicamente establecidos aplicables -

cualquier obra de reciclamiento con la condición de que sean observados los principios científicos adecuados y que se use el equipo apropiado. Se ha mostrado -- que la química del asfalto no es tan compleja como se cree comúnmente, sino que puede entenderse fácilmente si se reduce a lo fundamental y se ve al asfalto constituido de 5 fracciones con propiedades específicas relacionadas con el comportamiento del asfalto total.

Los principios químicos y de ingeniería presentados están de acuerdo con el conocimiento técnico general y con los hechos específicos de la química del asfalto involucrada y comprobada en los estudios realizados durante muchos años en -- los Laboratorios de Investigación de la Witco Golden Bear Division. Todos los aspectos mostrados están bien documentados en la literatura publicada.

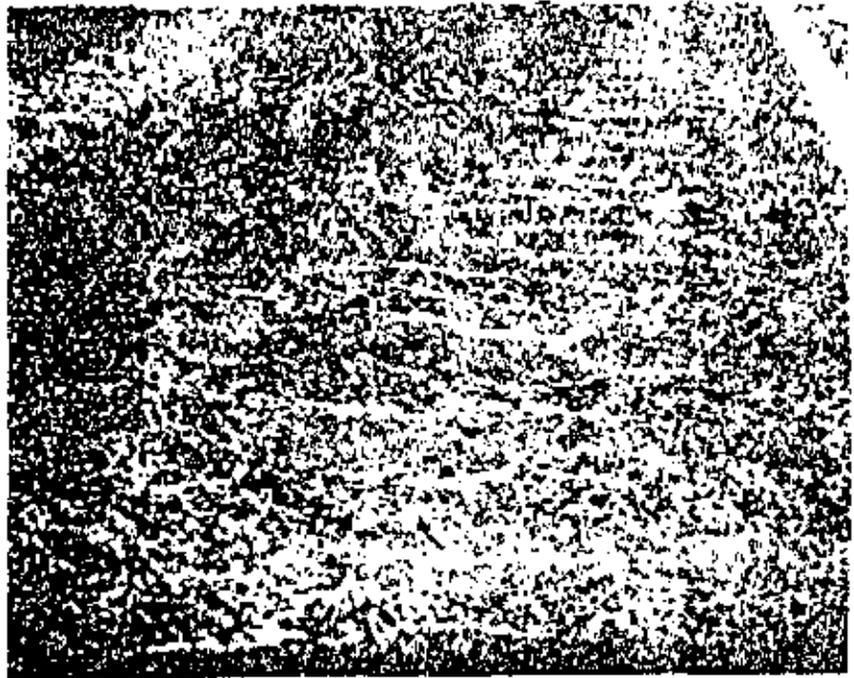
Se ha hecho un esfuerzo para no mencionar simplemente un equipo o material específicos y para usar solamente términos y definiciones genéricos. Sobre solicitud, con gusto proporcionaremos el material y el equipo específicos que se usaron en los ejemplos, así como las referencias de la literatura que documenta los hechos mostrados.

TABLA 1

ESPECIFICACIONES PARA EL AGENTE REJUVENECEDOR

PROPIEDAD	METODO DE PRUEBA	ESPECIFICACIONES
Viscosidad 140 F, CST	ASTM D 2170-74	1000-4000
Punto de Inflamación Orpa Abierta de Cleveland	ASTM D 92-72	350 min.
Volatilidad	ASTM D 1160-61,	.
10% , F	10 mm.	300 min.
2% , F		375 min.
5% , F		410 min.
Compatibilidad, N/P	ASTM D 2006-70	0.5 min.
Composición Química, (N+A ₁) / (P+A ₂)	ASTM D 2006-70	0.2 - 1.2

Superficie antes
del Reciclamiento



Petrolizadora
Aplicando el Rejuvenecedor
atras de la Escarificadora

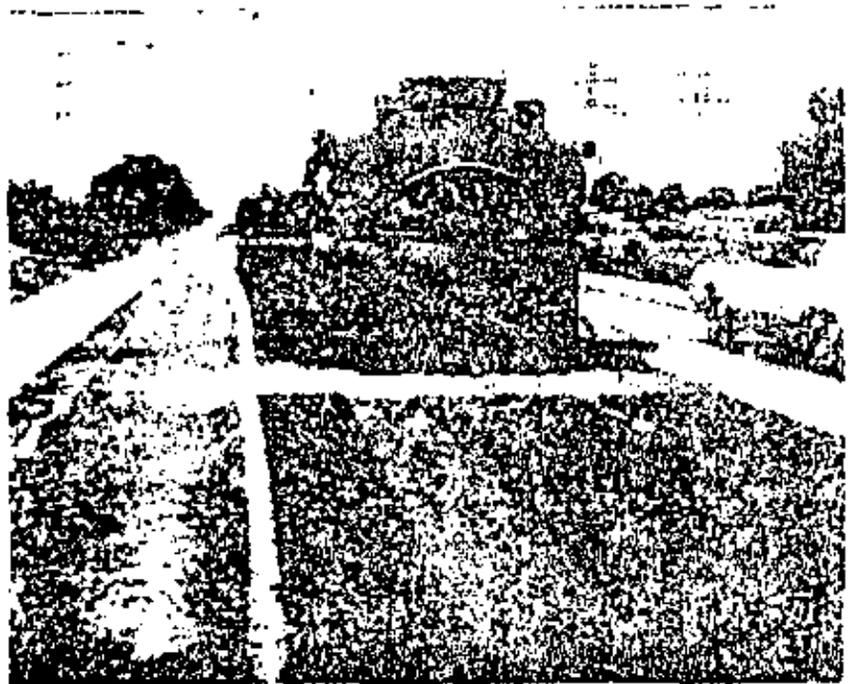


FIGURA - 1 RECICLAMIENTO SUPERFICIAL.
(REEDLY CALIF, 1955)

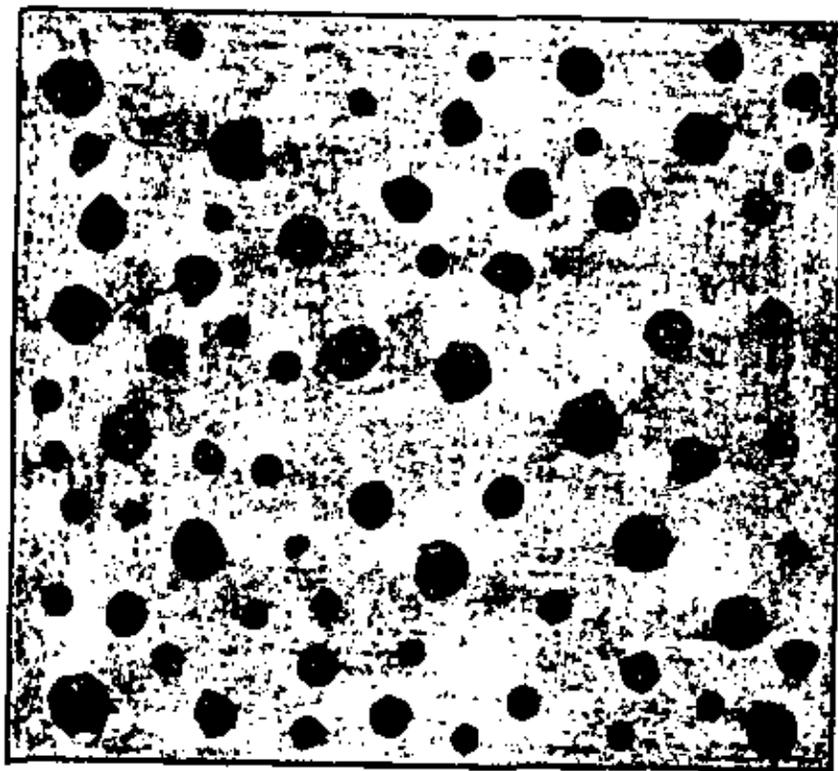


FIGURA 3. _ ACEITE EN EMULSION CON AGUA
(AMPLIFICACION 530X)

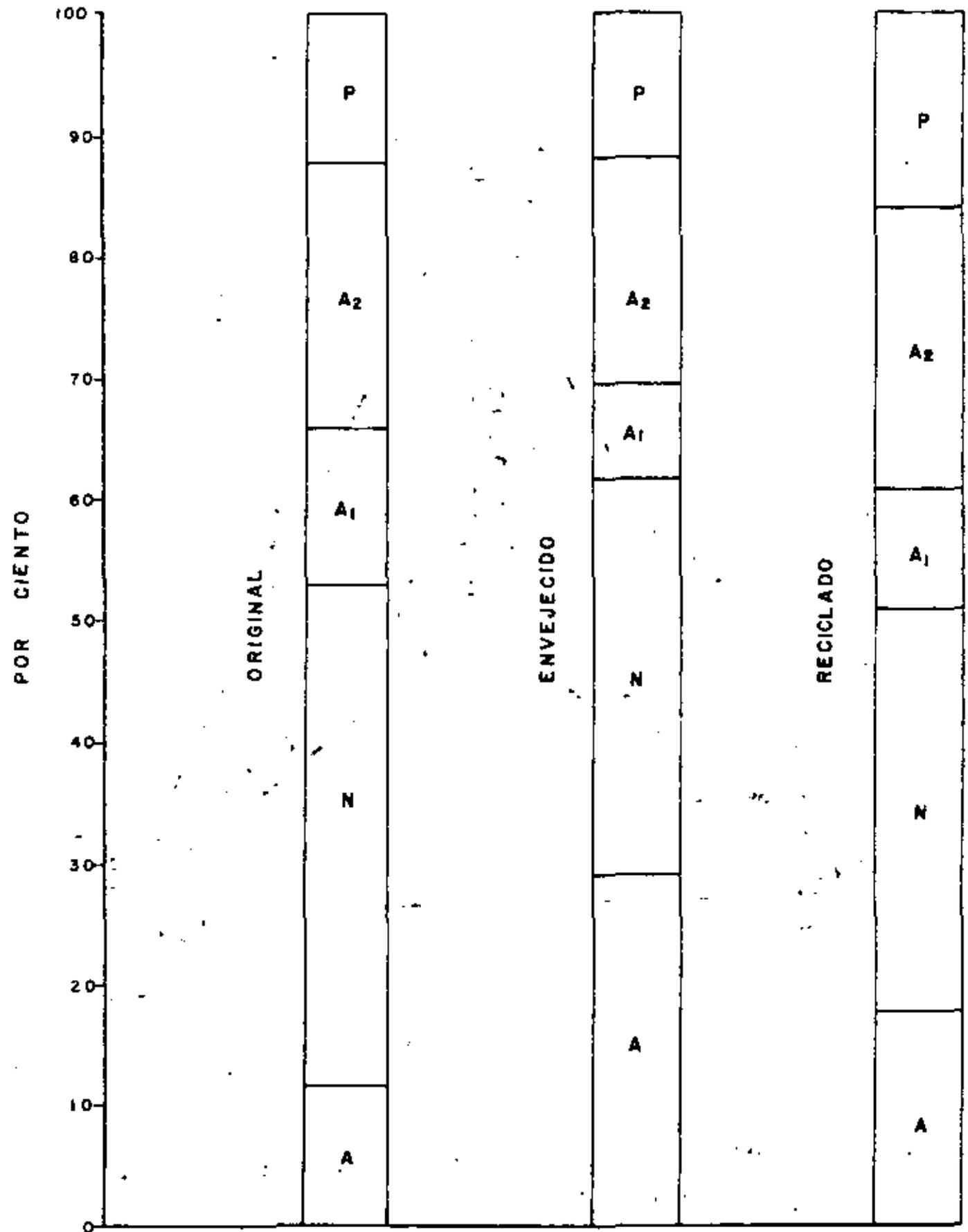
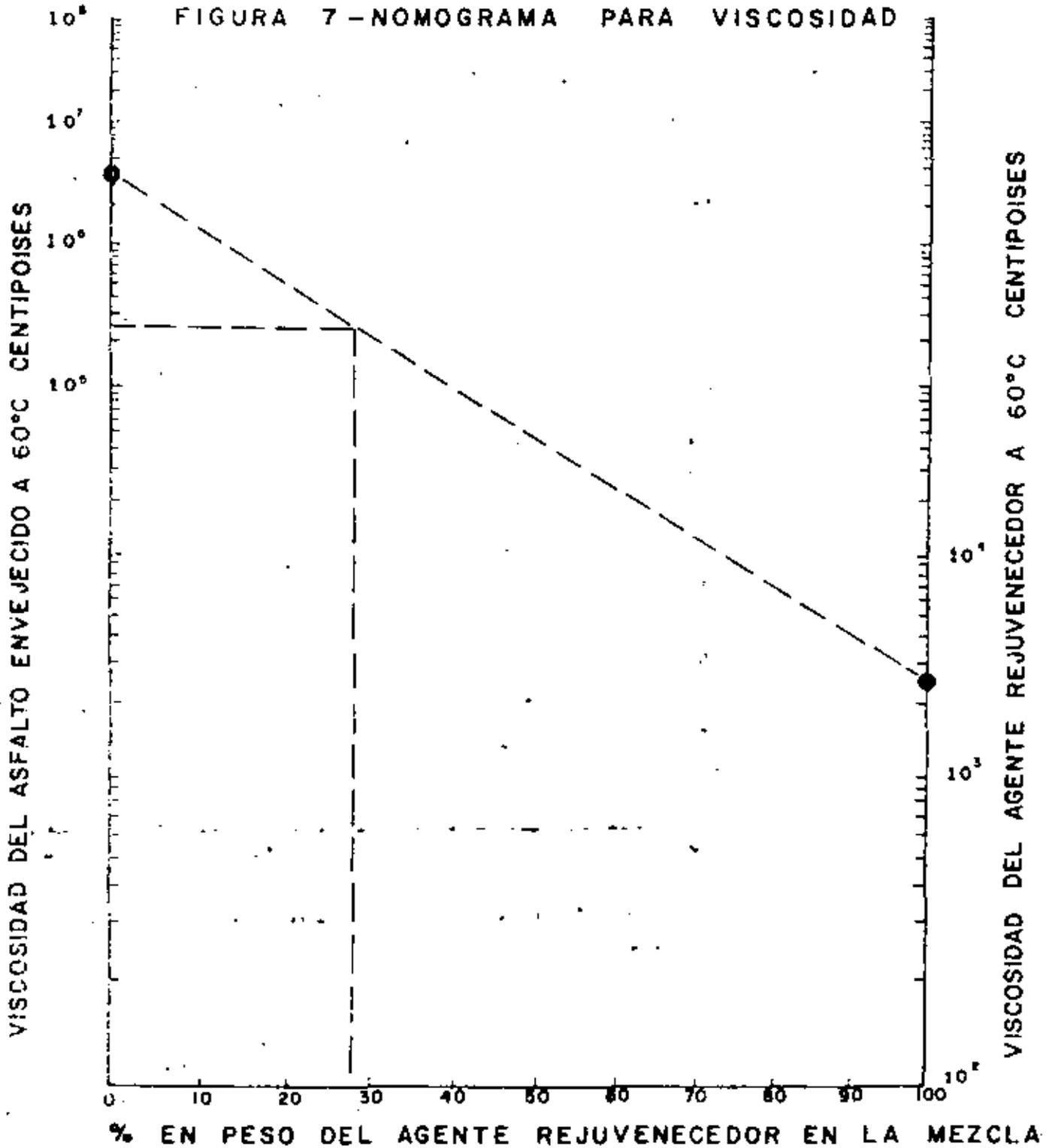


FIGURA 5 - CAMBIOS EN LA COMPOSICION QUIMICA DE UN ASFALTO EN

FIGURA 7 - NOMOGRAMA PARA VISCOSIDAD



MODO DE EMPLEO: Trace una línea recta que conecte la viscosidad del asfalto envejecido con la viscosidad del agente rejuvenecedor, trace una línea vertical hacia arriba desde el por ciento de agente rejuvenecedor en la mezcla, la intersección de las dos líneas define aproximadamente la predicción de la viscosidad del asfalto reciclado.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Criterio de diseño y especificaciones para el sellado con "slurry
seal" de las carpetas recicladas

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

CRITERIO DE DISEÑO Y ESPECIFICACIONES PARA EL SELLAJO CON "SLURRY SEAL"
DE LAS CARPETAS RECICLADAS.

Por:

C. Robert Benedict, Gerente de la Investigación
de la Asociación Internacional del Slurry Seal,
Washington, D.C.

Presentado en el Instituto Técnico y el Seminario sobre Reciclamiento de Pavimentos, patrocinado por Novedades en Ingeniería, de la Compañía de Publicaciones, Mc Graw -- Hill, y preparado por el Departamento de Ingeniería y Ciencia Aplicada de la Universidad de Wisconsin - Nueva York, Octubre 25 - 26, 1978.

"INTRODUCCION"

Siempre es un placer tomar parte en el descubrimiento de una nueva e importante Tecnología para el reciclamiento de los pavimentos. Cuando Allen Wortley y Artur Fox, me invitaron a discutir sobre el tema del diseño de Slurry Seal en este seminario, yo indiqué que se sabía muy poco sobre el tema específico y que me habían colocado en las posiciones de Colón que, cuando partió en su misión de descubrimiento, no sabía a donde iba, cuando llegó no sabía donde estaba y cuando regresó no sabía donde había estado.

Esta presentación, por lo tanto, será una aventura en el descubrimiento de los problemas de las superficies de los pavimentos reciclados y de los métodos de diseño que pueden usarse para resolver estos problemas con el uso de tratamientos superficiales con Slurry Seal.

Mi discusión se dividirá en los temas siguientes:

- 1) Problemas de diseño de superficies recicladas.
- 2) Fundamentos de Ingeniería para abordar los problemas de diseño.
- 3) Definición de "Slurry Seal", el proceso y los usos.
- 4) Técnicas de diseño.
- 5) Problemas de investigación y su aplicación en las técnicas de diseño.
- 6) Especificaciones generales y especificaciones para el comportamiento.
- 7) Participación de la audiencia si el tiempo lo permite.

II ALGUNAS PREMISAS USADAS EN LA INGENIERIA PARA ABOGAR PROBLEMAS DE DISEÑO.

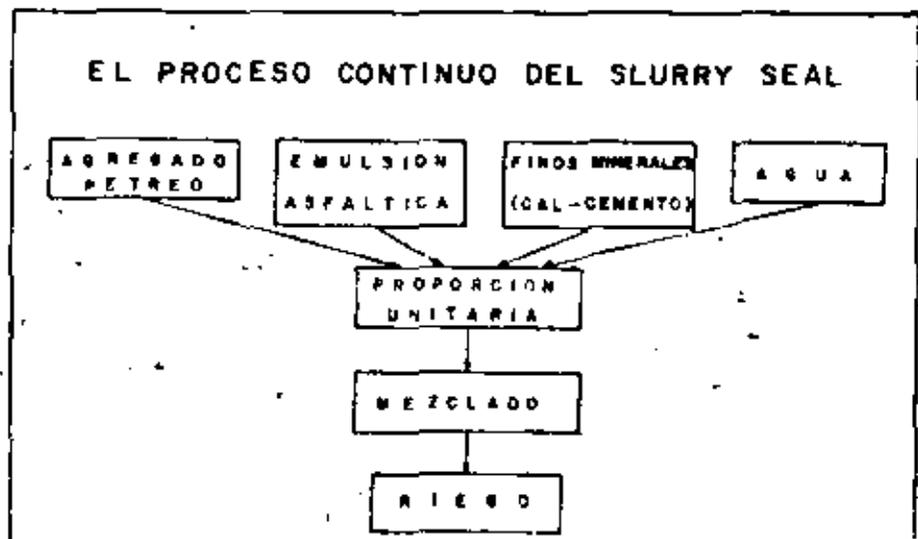
1. Los recursos de la tierra son finitos. El desperdicio ya no está de moda.
2. El objetivo del diseño de pavimentos debe combinar las cantidades de calidad, durabilidad, economía y seguridad. La estructura debe ser adecuada para la vida útil de diseño. La superficie debe permanecer segura durante la vida de diseño de la estructura.
3. La práctica de la ingeniería requiere un equilibrio pragmático entre los requerimientos específicos de la ingeniería y las realidades políticas y económicas de la época y del lugar.
4. Estas realidades requieren que el ingeniero ahora y siempre obtenga lo más de lo menos. Esto significa "pensar fino".

"Por pensar fino", queremos decir diseñar y construir una carpeta que ayude poco o nada al valor estructural del pavimento... generalmente una pulgada o menos y, en el caso del Slurry Seal, un tratamiento superficial generalmente de tres octavos de pulgada o menos, o simplemente "Una mezcla asfáltica con agregados finos".

III DEFINICION DE SLURRY SEAL, EL PROCESO Y LOS USOS.

Hemos llegado a entender al material llamado "Slurry Seal" como una mezcla homogénea y semi-fluida de emulsión asfáltica, agua, filler mineral, y agregados finos bien graduados, la cual se aplica a la superficie del pavimento por medio de una caja distribuidora adaptada con correderas y dispositivos adecuados (enjuagadores).

Figura Núm. 1 - El proceso continuo del Slurry Seal proporciona con precisión los materiales, mezcla y distribuye.



2. Correctivo . . . para corregir los desperfectos superficiales que ya han ocurrido en los pavimentos más viejos tales como agrietamiento superficial, desprendimiento, pérdida de aglutinante, permeabilidad incrementada al aire y al agua y condiciones malas contra el derrapamiento producidas por el flujo o por los agregados pulidos.

El Slurry Seal en las superficies de los pavimentos reciclados cumple con el doble propósito de corrección y prevención.

Figura Núm. 3

LAS TRES GRADUACIONES BASICAS DEL SLURRY SEAL

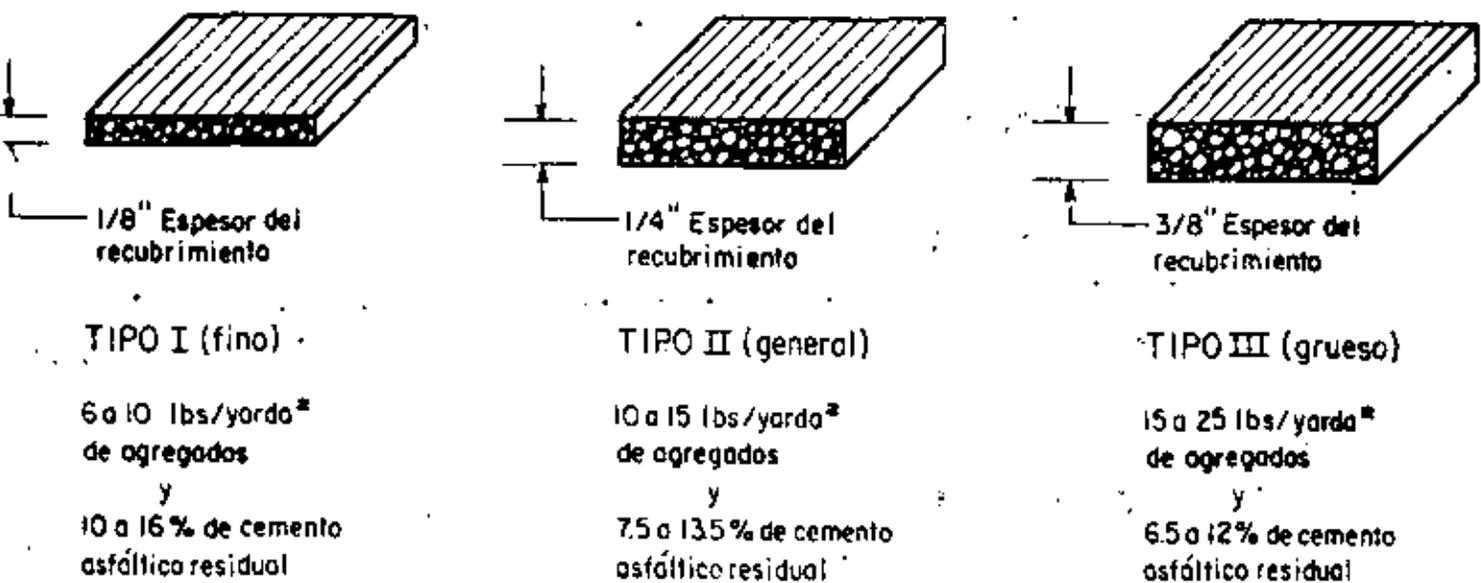
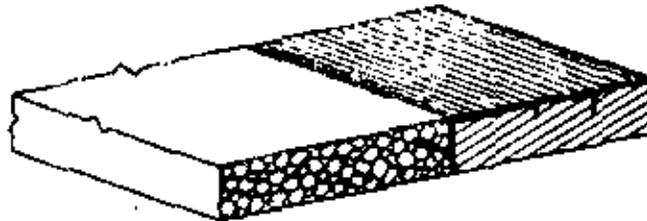


Figura Núm. 3 - Las especificaciones generales de la Asociación Internacional del Slurry Seal en su guía A-105 reconoce tres graduaciones básicas de agregado:

Tipo Fino (I) 1/8" Tipo General (II) 1/4" Tipo Grosso (III) 3/8"

VERSATILIDAD DEL SLURRY SEAL



EL SLURRY SEAL EN UN SOLO PASO :

- 1 - Deposita un sello asfáltico acorde con las necesidades de la superficie
- 2 - Llena las grietas en la superficie de contacto
- 3 - Coloca una cuña modesta
- 4 - Coloca un buen sello contra la meteorización
- 5 - Llena los vacíos superficiales
- 6 - Proporciona coloración para delinear la textura
- 7 - Logra buena resistencia al derrapamiento

Figura Núm. 4 - Un ejemplo, es esta sección recta de un acotamiento de camino inter-estatal donde el slurry llenará las grietas de la cara de contacto, depositando una cuña modesta, llenará los vacíos dejados por el desprendimiento superficial y las grietas transversales, proporcionará resistencia al derrapamiento, sellará bien contra la meteorización y proporcionará color para delinear, y todo en un solo paso.

Las propiedades de un slurry seal varían con las propiedades de los materiales incorporados en la mezcla y con el diseño y construcción de las combinaciones seleccionadas. Comúnmente se considera que el slurry seal tiene muy baja permeabilidad (un excelente sello), poca resistencia a la tensión, alta resistencia a la compresión, resistencia alta al derrapamiento, buena textura y resistencia alta al resbalamiento — por los efectos del agua, buena estabilidad excelente adherencia y apariencia.

Estas propiedades pueden variarse por la selección de materiales como agregados especiales para impartir durabilidad y resistencia al derrapamiento según las necesidades, también se combinan elastómeros para impartir flexibilidad y resistencia al agrietamiento térmico.

IV TÉCNICAS DE DISEÑO

El desarrollo de los procedimientos de diseño del slurry seal es parecido al desarrollo de otros materiales de pavimentación; es decir, con pruebas de tanteo se va relacionando el comportamiento en el campo con la experiencia del laboratorio. En la investigación para entender el incremento de la vida útil de los pavimentos, se está bajo cambios anuales de dirección y de filosofía. Por ejemplo, los argumentos del contenido de vacíos adecuado o de la penetración del asfalto que puede usarse en una situación dada, permanecen sin resolver después de veinticinco años de mi experiencia profesional. Cada año la industria de los pavimentos reinventa conocimientos antiguos y algunas veces repite errores del pasado. Los profesionales de esta industria reconocen que no se conoce todo al respecto y esperan cambios completos en las corrientes y nociones acerca del diseño conforme vayan apareciendo las novedades. Yo confío principalmente en los procedimientos de diseño listados en la Guía de Especificaciones Generales ISSA A-105, el Manual de Carpetas Asfálticas de la Cía. Slurry Seal, las instrucciones del Reporte S-75-1, Experimentos sobre Vías Fluviales del Ejército de los EE.UU. y las publicaciones de ASTM y de los Boletines Técnicos del ISSA sobre diseño en 1978 y los Reportes Técnicos del Comité ISSA R & D. Para su referencia hemos incluido aquí el Boletín Técnico ISSA Núm. 111 revisado en enero de 1978.

2. (Figura N^om. 7)

Figura N^om. 7 - Selección de los agregados para determinar la Durabilidad por medio de la prueba correspondiente.

3. Determinación para proporcionar el esparcimiento o regado y las mediciones de macrotextura por medio de la caja de arena.

La especificación A-105 ha resistido la prueba de quince años de experiencia y recomendamos su uso como punto de partida para desarrollar las especificaciones para el control de calidad regional o local, ya sean estas del tipo de resultado final o del tipo de compensación económica.

La especificación A-105 incluye las siguientes secciones:

1. Alcance
2. Especificaciones aplicables al material
3. Descripción
4. Materiales y Requerimientos de Diseño
5. Descripción del equipo
6. Preparación de la superficie.
7. Proporción de la composición y la aplicación
8. Limitaciones de temperatura
9. Control del tránsito
10. Aplicación
11. Mediciones y pago

El término "Especificaciones de Ejecución" significa (Especificación detallada) la cual trata de describir con precisión los materiales, métodos de diseño y técnicas de construcción para lograr el objetivo establecido.

Típicamente, "Las Especificaciones de Ejecución" son, comúnmente, excesivamente amplias a tal grado que no son entendibles para los inspectores y contratistas que deben usarlas. El costo del cumplimiento absoluto puede ser prohibitivo. (Estoy tratando de ser lo más amable posible).

Mi manera personal para las especificaciones de esta clase es, con objeto de simplificar:

1. Establecer el objetivo de una construcción particular que se va a realizar.
2. Establecer la vida útil esperada.
3. Permitir al contratista su completo criterio
4. Hacer los pagos cuando se haya logrado el objetivo.

Los Estados de Virginia, Kansas y Ohio han desarrollado sus especificaciones, a través de los años, en respuesta a sus problemas. Cada uno tiene sus particularidades, pero generalmente, ellos piden al contratista seleccionar materiales de alta calidad hacer su propio diseño y establecer sus propios procedimientos de control. La inspección consiste en medir los materiales usados por unidad. El pago se hace en base a la ejecución de la construcción relacionada con el diseño del contratista. Las penalidades se deducen del pago en el caso de que el comportamiento esté por abajo del estándar.

Instituto del Asfalto CL-22 "Slurry Seal"
Construcción 1978.

- Publicaciones ISSA "Especificaciones Generales A-105 para Slurry Seal - 1978, --
Asociación Internacional del Slurry Seal, 1101 Connecticut --
Ave. N. W., Washington, D.C. 20036
Boletines Técnicos de Diseño - 1978, 45 p.
- Young, R.T. entre "Pruebas de Durabilidad y de Insolubilidad en ácido" Quinta -
otros. Convención Anual de ISSA y Primer Congreso Mundial sobre Slurry
Seal, Madrid, España, febrero 1977.
- Whitney, G. F. "Reciclamiento de Pavimentos Asfálticos usando el Método de --
Slurry Seal de Mezclado en Caliente, ISSA Congreso de Madrid,
febrero de 1977. Ver también Obras Públicas, julio 1977.
- Benedict, C.R. "Planta Viajera de Emulsiones Asfálticas para tendido con Má--
quina" - Aplicaciones y usos. Primera Junta Anual AFMA, enero
1974. "Una introducción a los usos ponenciales de una probado
ra de carga por eje" (UWT) para determinar el tránsito de di-
seño para el Slurry Seal 13ava. Convención Anual ISSA 1975. --
23 p.
- "Una introducción a los elementos y usos de sistemas de slurry
seal", Instituto de Tecnología de la Fuerza Aérea de los EE,
UU., WPAFB, Ohio, abril 5 de 1976; 2da. Edición marzo 14 1977,
3ra. Edición enero 23 de 1978.
- "Pruebas de laboratorio y el diseño y control del Slurry Seal"
"Introducción a un estudio para la predicción y mantenimiento
de las proporciones de tendido del Slurry Seal".
- "Un reporte interino sobre el proyecto del camino de prueba --
A-B y la prueba de carga por eje", 15ava. Convención Anual ISSA
y Primer Congreso Mundial sobre el Slurry Seal Madrid España --
febrero 1977.
- "Diseño y Control de Mezclas de Slurry Seal, 4ta. Convención --
Anual de la Asociación de Fabricantes de Emulsión Asfáltica, --
Phoenix, Marzo 1 de 1977.
- "Sistemas del Slurry Seal de rompimiento rápido y de curado len
to-estado del arte", ISSA R & D (Artículo de su Simposio de fe-
brero 13 de 1978.
- "Vacíos y macrotextura de sistemas de capas Mono-, Menos-Mono y
multicapas de agregado fino con granulometría discontinua, Slu-
rry -como mezcla asfáltica" - ISSA R & D (reporte de su Comité,
Washington, D.C. Mayo 3 de 1978.

Figura Núm. 10 - Mezcla en caliente molida en frío después de doce meses.

NOTA: La macrotextura superficial varía desde 80 cms. a 300 cm, en las rodadas.

Figura Núm. 6 - Procedimientos de diseño del Slurry Seal - ISSA Boletín Técnico -- Núm. 111.

- 1.- Descripción del pavimento, condiciones, datos de tránsito, clima.
- 2.- Objetivos - vida esperada - requerimientos de textura.
- 3.- Selección de materiales.
 - a. Selección de agregados
 - b. Selección de la emulsión asfáltica.
 - c. Selección del filler
- 4.- Diseño en el laboratorio
 - a. Determinación teórica del cemento asfáltico
 - b. Determinación del agua y del filler (consistencia)
 - c. Prueba de compactabilidad en copa y prueba de adherencia
 - d. Someter las mezclas de prueba a las pruebas físicas.
- 5.- Aplicar el diseño óptimo al control de las cantidades en el campo.

PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DEL SLURRY SEAL - Boletín ISSA 111

- 1.- Descripción del pavimento condiciones, datos de tránsito, clima.
- 2.- Objetivos - Vida Esperada, Requerimientos de Textura
- 3.- Selección de Materiales:
 - a. Selección de Agregados
 - b. Selección de la Emulsión Asfáltica
 - c. Selección del Filler
- 4.- Diseño en el Laboratorio
 - a. Determinación Teórica de los Requerimientos de Cemento Asfáltico
 - b. Determinación de Los Requerimientos de Agua y Filler (Consistencia)
 - c. Prueba de Compactibilidad en Copa y Prueba de Adherencia.
 - d. Sujetar las Mezclas de Prueba a las Pruebas Físicas
- 5.- Aplicar el Diseño Óptimo al Control de las Cantidades en el Campo.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y REICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Proyecto para demostración de reciclamiento de los pavimentos
de concreto hidráulico

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

Proyecto Núm. 47, para Demostración de
Reciclamiento de los Pavimentos de Concreto
Hidráulico.

Gary L. Henderson.

Reciclamiento de Pavimentos
Octubre 25 - 26, 1978.

I Objeto del Proyecto.

El de animar a las dependencias encargadas de la construcción de las carreteras a reconstruir y evaluar las obras de concreto hidráulico reciclado.

II Definición.

Concreto Fresado de cualquier fuente satisfactoria (principalmente - pavimentos de concreto hidráulico que requieran reconstrucción) y volver a usarlo como agregado en nuevas carpetas de concreto hidráulico y en los acotamientos del mismo material.

III Investigación Inicial.

A.- Determinar lo adecuado de los agregados reciclados.

B.- Estudio Económico del reciclamiento.

C.- Resultados.

1.- Comportamiento adecuado como sustituto de los agregados naturales.

2.- La distancia de acarreo es el factor económico principal.

IV Investigación Común.

A.- Construcción y Evaluación.

B.- Desarrollo de los Diseños de Mezcla Optima.

C.- Remoción de las partes empotradas.

PLAN DE EVALUACION

Este plan está dirigido a servir como guía para evaluar los pavimentos de concreto hidráulico reciclados construidos como obras experimentales de categoría tres. Estas obras involucrarán concreto triturado (de cualquier fuente satisfactoria) y volver a usar el producto triturado en nuevos pavimentos de concreto hidráulico.

La siguiente información se debe obtener para cada obra o proyecto:

INVESTIGACION PRELIMINAR.

1.- Establecimiento de una Fuente de Concreto Reciclado.

Antes de decidir sobre una obra de pavimentación de concreto hidráulico reciclado, debe realizarse una investigación preliminar.

Se deben obtener muestras representativas de todas las fuentes bajo consideración para probar el concreto que se va a reciclar. Cada muestra debe probarse para asegurar que se pueden obtener agregados aceptables triturando el concreto y que se puede producir una mezcla satisfactoria para la pavimentación. Basados en los resultados de la investigación, se debe establecer la fuente del concreto que va a reciclarse. Si no pueden obtenerse resultados de prueba aceptables de cualquiera de las fuentes de concreto disponibles, no se debe considerar un proyecto de pavimentación de concreto hidráulico reciclado.

2.- Fuente de los Agregados Reciclados.

Si la fuente de los agregados reciclados es un pavimento existente, especificar el año en que el pavimento fue originalmente construido, la sección típica del pavimento, la cantidad de acero de refuerzo presente, el tipo de agregado en el concreto, la resistencia a la compresión del concreto, y los tipos de desperfectos del pavimento.

Si la fuente de los agregados reciclados no es la de un pavimento existente especificar la fuente, la cantidad aproximada de acero de refuerzo presente, el tipo de agregado en el concreto, y cualquier otra información apropiada que esté disponible.

2.- Operación de Triturado.

Describir el tipo y tamaño de las trituradoras, cualquier modificación requerida del equipo, así como cualquier problema encontrado durante la operación. Se deben probar muestras del producto triturado para asegurar la consistencia con el material usado en la fase del diseño. Si hay una diferencia substancial, puede ser necesario modificar el diseño de la mezcla.

3.- Operación de Pavimentación.

Describir el equipo usado, las modificaciones del equipo requeridas, la velocidad aproximada de producción, cualquier modificación a la mezcla de diseño, técnicas de terminación y curado, y las variaciones notadas con respecto a las condiciones normales.

4.- Pruebas para las Mezclas de Concreto Reciclado.

- Reportar los resultados de revenimiento, contenido de aire, peso unitario, resistencia a la compresión, resistencia a la flexión, y las otras pruebas apropiadas que se realicen en las muestras tomadas durante la fase de construcción.

INFORMACION COMPLEMENTARIA.

1.- Comparación de Costos.

Comparar el costo presente de la sección del pavimento construida con agregados reciclados contra el costo estimado de la construcción de la misma sección del pavimento con agregados convencionales (basados en los precios unitarios típicos de esa zona).

2.- Conservación de Recursos.

Reportar la cantidad de los agregados convencionales conservada por la aplicación del proyecto de reciclamiento, las cantidades de concreto asfáltico (de un recubrimiento), y el acero de refuerzo que fueron salvadas en este proyecto. Además, indicar los usos de estos materiales salvados, empleados en algo diferente al nuevo pavimento.

Obra de Reconstrucción con Concreto Hidráulico usando Agregados Convencionales.

1. Remoción del pavimento existente (incluyendo cualquier recubrimiento de concreto asfáltico).
2. Desperdicio o salvamento de cualquier concreto asfáltico.
3. Acarreo de los pedazos de concreto hidráulico al lugar dispuesto y mantenimiento de la operación de disposición.
4. Adición de material nuevo de base, reacondicionamiento de la base existente, renivelación, y/o recompactación (si es necesario).
5. Producción de los agregados convencionales (pueden incluir extracción y/o triturado).
6. Acarreo de los agregados convencionales al lugar de mezclado del concreto.
7. Proporcionamiento y mezclado del concreto.
8. Acarreo del concreto a la obra.
9. Operación de pavimentación.

Obra de Reconstrucción con Concreto Hidráulico de Agregados de Concreto Triturado.

1. Remoción del pavimento existente (incluyendo cualquier recubrimiento de concreto asfáltico).
2. Desperdicio o salvamento de cualquier concreto asfáltico.
3. Acarreo de los pedazos de concreto hidráulico al sitio de trituración.
4. Adición de material nuevo de base, reacondicionamiento de la base existente, renivelación, y/o recompactación (si es necesario).
5. Producción de los agregados de concreto triturado (incluye remoción de acero y trituración).
6. Acarreo del concreto triturado al sitio de mezclado de concreto.
7. Proporcionamiento y mezclado del concreto.
8. Acarreo del concreto a la obra.
9. Operación de pavimentación.

NOTAS : Los incisos 1, 2, 4, 7, 8 y 9 pueden cancelarse uno con otro.

Suponer: 70,000 BTU/ton. para producir roca triturada.

40,000 BTU/ton. para producir grava triturada.

15,000 BTU/ton. para producir agregado natural (sin triturar)

Gasolina = 125, BTU/Gal.

Diesel = 139,000 BTU/gal.

Asistencia técnica y financiera para la construcción y/o evaluación -
de las obras experimentales de reciclamiento del concreto hidráulico.

Departamento de Transportes de los Estados Unidos/Administración Federal -
de Carreteras zona 15, División de Proyectos para demostración, 1000 North
Glebe Road, Arlington, Virginia 22201.

Fotografía Núm. 1 REMOCION - Después de completar la operación de quebrado
del pavimento (ver fotografía), se remueve el concreto hidráulico y se trans
porta al sitio de trituración.

Fotografía Núm. 2 TRITURACION - El concreto hidráulico se tritura a un ta-
maño especificado y se apla.

Fotografía Núm. 3 PAVIMENTACION - Los agregados triturados del concreto hi-
dráulico se incorporan a la mezcla de pavimentación la cual se coloca con -
equipo convencional.

Fotografía Núm. 4 PRODUCTO TERMINADO - El pavimento reciclado parece simi-
lar a los pavimentos construidos usando agregados convencionales y el buen
comportamiento es comparable.

Cualquier agencia que desee información adicional o la presentación de es-
ta demostración debe dirigirse a la FHWA Oficina de la División en ese Es-
tado.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Experiencia de campo-productos diseñados para prolongar la vida
útil de los pavimentos asfálticos

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

EXPERIENCIA DE CAMPO-PRODUCTOS DISEÑADOS PARA
PROLONGAR LA VIDA UTIL DE LOS PAVIMENTOS ASFAL
TICOS.

Por

A. E. Ryan, Ingeniero Especialista en Ensaye de Materiales
Oakland, California.

Existe otro factor que yo creo tiene participación en el envejecimiento del asfalto, el cual es el sistema de fabricación. En los primeros días de la producción de los asfaltos derivados del petróleo, el crudo era destilado directamente y se producían los cementos asfálticos de la penetración requerida. Por este método el cemento asfáltico digamos de -- 100 de penetración existía en su forma original. De acuerdo con mis últimas informaciones, con la complejidad de los productos que ahora se derivan del petróleo crudo, el proceso de destilación se lleva hasta uno o dos grados básicos y los otros grados se hacen mezclando cuando se carga el producto, en algunos casos por el uso de rebajados. En mi opinión este procedimiento puede causar una diferencia en el comportamiento del cemento asfáltico cuando se pasa por la planta en caliente y posteriormente en el pavimento. Si estoy equivocado en esta consideración, yo agradezco cualquier comentario que se me haga al concluir mi plática.

Todos nosotros estamos familiarizados con los sellos convencionales tales como riego final (tipo niebla) tratamientos superficiales ligeros, etc. La Ciudad de Oakland ha usado estos procedimientos con diferentes grados de éxito en el pasado. Su función principal ha sido la de evitar la incorporación del agua en las grietas de las superficies intemperizadas. Los riegos finales se aplicaron en algunos pavimentos que no iban a abrirse al tránsito inmediatamente o cuando las condiciones de mal -- clima prevalecían. En los casos donde el cemento asfáltico había endurecido excesivamente o se había hecho deficiente en cantidad por su separación de las partículas de agregados, estos sellos proporcionaron solamente un alivio limitado. El slurry seal aunque tiene éxito en los pavimentos sanos, no corrige las fallas profundas del cemento asfáltico dentro de la sección del pavimento.

Un mejoramiento con una subdivisión extendió la Avenida Keller más allá del Este, en 1961. La oxidación era evidente en la sección más vieja, causada por el uso limitado de tránsito, y el tratamiento con Reclamite en una proporción de 0.5 litros por metro cuadrado ha resultado benéfico para la superficie del pavimento.

La avenida 66, del Bulevar Mac Arthur hasta la avenida Outlook los finos superficiales estaban siendo erosionados y el tratamiento con Reclamite en la proporción de 0.38 litros por metro cuadrado retardó en forma efectiva esta acción. Las calles tratadas en 1961 estuvieron sujetas a poco tránsito ya que eran calles cortas residenciales o conexiones en dichas zonas. La oxidación era notable y el tratamiento con Reclamite en la proporción 0.38 litros por metro cuadrado ha sido efectivo para rejuvenecer el pavimento en estas localidades.

TRATAMIENTO SUPERFICIAL ESPECIAL DURANTE JUNIO DE 1965

1. Reclamite

Aplicado por la Golden Bear Oil Co. en Junio 24, 1965, en las siguientes localidades:

- A. Camino Joaquín Miller, Avenida Robinson hasta el Bulevar Skyline, -- 4,650 metros cuadrados. Se aplicaron 0.98 litros por metro cuadrado sobre los carriles internos solamente.
- B. Bulevar Skyline, Camino Joaquín Miller hasta la Avenida Crestmont, - 2,050 metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.98 litros por metro cuadrado sobre los carriles más internos solamente.
- C. Carretera Redwood, desde un punto 250 metros adelante del Bulevar de la Montaña hasta el Bulevar Skyline, 5,640 metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.51 litros por metro cuadrado en el carril interno hacia el Este.
- D. Calle Fontaine, carretera Golf Links hasta la Avenida Crest, 2,210 -- metros cuadrados de área tratada. Se aplicaron 0.70 litros por metro cuadrado sobre el carril interno hacia el oeste y 0.93 litros por me-

El costo del sellado con Gilsonite basándose en la proporción de 0.47 libras por metro cuadrado promedió 5.98 (pesos por metro cuadrado).

En el pasado habíamos evaluado los diferentes métodos para el tratamiento de pavimentos asfálticos basándonos en inspección visual solamente, u ocasionalmente por una determinación del porcentaje de cemento asfáltico retenido en el pavimento. En el otoño pasado la ciudad decidió que sería conveniente gastar algunos fondos para determinar las propiedades físicas del cemento asfáltico en algunas de nuestros pavimentos. Ya que no tenemos el equipo adecuado para recibir estos cementos asfálticos convenimos en recurrir a los investigadores en el desarrollo de materiales, formamos una división en Woodland, Clyde, con accionistas y asociados de Oakland, Calif., para conducir esta investigación.

Ya que no habíamos anticipado este trabajo al principio de nuestro presente año fiscal, los fondos disponibles eran limitados. Por consiguiente el número limitado de pruebas que teníamos que reportar no podía considerarse más que un principio de lo que esperamos será una investigación constante. Las primeras pruebas se hicieron sobre corazones tomados de la carretera Joaquín Miller en su sección de pruebas cerca de la intersección entre el Bulevar Skyline y la Avenida Crestmont. El propósito de estas pruebas fue para intentar determinar la efectividad de los tratamientos con Reclamite y Gilsonite-comparándolos con las secciones sin tratar. Los resultados se tabulan a continuación:

Viscosidad a 25°C, megapoisas

Descripción del corazón	Profundidad cms.	Velocidad de corte		Penetración calculada del asfalto.
		0.05 seg-1	0.001 seg-1	
Sin tratar	0 - 1.5	172	235	8
	1.5- 3.0	78	128	12
	3.0- 4.5	73.5	151	12
Tratado con Gilsonite	0 - 1.5	265	2200	7
	1.5- 3.0	105	105	10
	3.0- 4.5	163	136	8
Tratado con Reclamite	0 - 1.5	2.95	2.95	53
	1.5- 3.0	18.7	20.3	23
	3.0- 4.5	29.8	29.9	18

Corazones sin tratar	$10 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{seg.}$
Corazón con Reclamite	$6 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{seg.}$
Corazón con Gilschite	$3 \times 10^{-3} \text{ cm}^3/\text{seg.}$

Nuevamente me agradecería indicar que estas son una serie de pruebas realizadas solamente con un juego de corazones tomados de una obra. Es posible que después de unos adicionales de tránsito los coeficientes de permeabilidad - podrían cambiar.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Escarificación en caliente

y

Rejuvenecimiento del pavimento

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

El concepto del rejuvenecimiento de los pavimentos ha sido un tema de interés nacional en los últimos años, pero realmente es tan viejo como la necesidad del hombre para mover mercancías de una ciudad a otra sobre rutas establecidas.

Nuestras necesidades en el suroeste se han venido resolviendo (durante los 50 años pasados) ya que substancialmente ese es el tiempo que llevamos construyendo lo que ahora es nuestro sistema de carreteras. El Sistema Interestatal, en una gran parte, resolvió nuestras necesidades inmediatas de rejuvenecimiento de las carpetas, creando nueva construcción o alineamiento nuevos que conectan las principales ciudades y centros de población a través de toda la nación.

Ahora tenemos al frente una red de carreteras que se espera permanezca constante durante un período indefinido de tiempo, y debido a varias presiones sociales y económicas, nosotros no contemplamos la posibilidad de continuar reemplazando, las existentes, con nuevas carreteras paralelas.

Nuestro procedimiento favorito, durante varios años, para corregir desperfectos en las carpetas, era el de aplicar un recubrimiento de sello donde lo permitían las condiciones y el volumen del tránsito, o poner una sobrecarpeta hasta donde los fondos disponibles lo permitieran.

Actualmente están en uso algunos sistemas sofisticados para el arreglo de pavimentos, los cuales proporcionan una sobrecarpeta delgada (inferior a 5 cms.) en ciclos de tiempo relativamente cortos sin preocuparse por los efectos eventuales que esto tenga sobre la geometría, dimensiones estructurales, seguridad, drenaje superficial, etc.

Sólo en una condición se requiere espesor adicional de la estructura y esto es donde hay deficiencia estructural.

En Arizona estábamos interesados, durante los años sesentas en como corregir el agrietamiento superficial y otros desperfectos que estaban más allá de nuestro alcance de mantenimiento. Nuestro principal problema era obviamente el alto costo de las sobrecarpetas con espesor suficiente para evitar el agrietamiento por reflexión durante un período razonable de tiempo, reconociendo que en la mayoría de los casos no había fallas estructurales grandes o de importancia.

En 1970, nuestra Sección de Investigación de Materiales empezó a recolectar información relacionada con la tecnología para el control del agrietamiento por reflexión, con el propósito de planificar una serie de secciones de prueba para determinar la efectividad de varios métodos. Durante la investigación de su literatura encontraron el procedimiento de escarificar o desbastar el pavimento en caliente. Extendimos nuestros conocimientos de la mecánica de este procedimiento basándonos en la información proporcionada por varias dependencias con -

pesor de 4 a 6 cms.

Para enero de 1976, ya habíamos completado 39 obras separadas aplicando la escarificación en caliente y el rejuvenecedor y cubriendo luego con una capa friccio- nante de granulometría abierta, es decir, con una sobrecarpeta o riego de sello. La Jefatura del Depto. de Carreteras de Arizona, en esta etapa formó un comité de ingenieros para revisar todo el trabajo terminado y evaluar estas 39 obras pa- ra determinar la utilidad y el valor del procedimiento de escarificación en ca- liente y aplicación de un agente rejuvenecedor. La edad de las obras terminadas, en el tiempo del estudio, variaba desde 55 meses a 1 mes.

Los treinta y nueve (39) proyectos se dividieron entre aquellos que incluían al- guna sección estructural adicional y aquellos que recibieron solamente un recu- brimiento de concreto asfáltico para capa friccioante. Posteriormente se divi- dieron por edades.

Edad Meses	Sobrecarpeta Solamente	Sobrecarpeta y RCF	RCF Solamente	Mantenimiento			
				Ningu- no'	Falla Subra- sante.	Reparar Llorado	Sellado Grietas
49 a 55	1			1			
49 a 55			5	5			
37 a 48		1		1			
37 a 48			1	1			
35 a 36			10	6	1	1	2
25 a 36		1			1		
13 a 24			7	6		1	
13 a 24		3		2			1
13 a 24	3			2			1
6 a 1			2	2			
7 a 6	2			2			
8 a 5		3		3			
TOTALES:	6	8	25	31	2	2	4

No tuvimos la capacidad para cuantificar prácticamente el agrietamiento antes de la escarificación en caliente y por lo tanto definir un valor de agrietamiento - reflectivo para todos los pavimentos. Sin embargo, hay casos donde las secciones comparativas existen o donde se tiene la posibilidad de reconstruirlas basándose en fotografías anteriores a la construcción o bien, entrevistando al personal de construcción sobre la apariencia original de la superficie.

<u>Edad del pavimento en meses</u>	<u>Agrietamiento reflectivo</u>
55	33% a 100%
54	11% a 33%
52	13% a 20%
49	0% a 11%
38	0% a 1%
26	0% a 2%
21	9% a 14%
16	4%
15	0% a 1%
5	0% a 1%

Ver Figura No. 1

De esta información llegamos a un valor promedio de agrietamiento reflectivo que muestra aproximadamente que 10% de las grietas reaparecen en dos años y que después de 5 años menos del 40% de las grietas se han reflejado .

Muchos factores contribuyen al agrietamiento superficial y los únicos tipos que pueden controlarse aplicando la escarificación en caliente corresponden a grietas que no han sido provocadas por fallas en la cimentación. Esto no es tan simple como puede creerse debido a que cuando se forman grietas en una capa del pavimento la condición inicial de la cimentación empieza a cambiar con respecto al comportamiento estructural. El agrietamiento inicial afecta a la humedad de equilibrio permitiendo un flujo de agua relativamente libre o vapor de agua entre las capas.

En las regiones desérticas puede ocurrir un secado neto mientras que en las áreas de alta precipitación y/o heladas puede experimentarse un efecto de humedecimiento total. Conforme las condiciones de soporte cambian debido a las primeras grietas, a continuación las cargas tienden a propagar las grietas rápidamente. El procedimiento de escarificación en caliente además de erradicar las grietas superficiales, también sella la superficie, con lo cual cambia las condiciones de cimentación con respecto a la humedad. Un pavimento falló debido al efecto del sellado atrapando agua abajo y dentro de las capas del pavimento hasta el grado de causar la desintegración total del pavimento subyacente.

La conclusión de todo esto es simplemente, que un pavimento con buen drenaje y estructura adecuada puede beneficiarse con el mantenimiento superficial, mientras que los pavimentos mal drenados y estructuralmente inadecuados responden en forma impredecible con el mantenimiento superficial. De los 39 pavimentos estudiados solamente dos han requerido reparación estructural y se estima que más del 95% de los proyectos terminados se beneficiaron significativamente con este proceso.

Dos pavimentos con llorado o corrimiento superficial hasta el grado de requerir mantenimiento correctivo no muestran grietas excepto en una pequeña área de asentamiento activo del terraplén. Se concluye entonces que los pavimentos adecuadamente estructurados, con llorado no están propensos al agrietamiento.

Dos de los cuatro pavimentos que recibieron sellado de grietas señalan el camino para lograr un buen recurso para reparar las grietas grandes por contracción. Donde el agrietamiento por contracción es la principal imperfección, la escarificación en caliente tiende a nivelar la superficie mientras que erradica las grietas. Las grietas por contracción se reflejan rápidamente pero pueden repararse llenando las aberturas o vacíos con aglutinante de baja viscosidad, y aplicando después un areneo superficial. La amplitud de la grieta es lo suficientemente grande que cuando se llena con un aglutinante elastico, puede expandirse y con-

por metro cuadrado de material y mano de obra precio promedio en 1977) como recurso de mantenimiento preventivo para controlar el agrietamiento reflectivo. Es útil en los pavimentos adecuadamente estructurados, pavimentos surcados, pavimentos que han sido parchados indiscriminadamente, regados o sellados porque al mezclar la carpeta se desarrollan efectos de nivelación. Se debe tener experiencia y criterio en la construcción para obtener el máximo beneficio de las ramificaciones. Donde está indicado claramente el mejoramiento estructural, los beneficios de la escarificación en caliente son difíciles de lograr.

A partir de nuestro estudio se pudieron introducir algunos cambios en nuestras especificaciones, que han sido benéficos.

Para lograr la profundidad deseada de escarificación, ahora requerimos una pulgada mínima de material suelto detrás de la escarificadora y hemos limitado la temperatura máxima, inmediatamente después de la escarificadora, a 140°C lo cual evita que el asfalto existente se quemé.

Para cumplir estas especificaciones, los contratistas usan dos unidades; la primera calienta el pavimento y la segunda lo calienta y escarifica.

Estamos muy complacidos con nuestros éxitos pasados y tenemos un entusiasmo incrementado por el servicio excelente que estamos experimentando. De hecho, con nuestra experiencia, estimamos que un período de 5 años de extensión de la vida útil del pavimento, es conservador con respecto al incremento que se obtiene con este proceso.

APENDICE NUM. 1

Costo en Pesos por Metro Cuadrado - Precio Promedio en 1977.

5.0 cms. de Concreto Asfáltico incluyendo 5% de Asfalto y 0.3 litros por M2. de liga	45.00
1.6 cms. de C.F.A., incluyendo 6.5% de Asfalto y 0.4 lts/m ² de Asfalto.	17.80
Riego de Sello RM-11 y RL-2 de Emulsión Catiónica.	11.50
2.0 cms. de Escarificación en caliente incluyendo 0.9 lts/m ² de Agente Rejuvenecedor y 0.5 lts/m ² de riego final.	16.40
Membrana de Asfalto Ahulado 2.5 lts/m ² de Asfalto Ahulado incluyendo el material de cubierta para secado y 0.3 lts/m ² de riego de liga.	32.40

C.F.A. - Carpeta Friccionante de Concreto Asfáltico con Granulometría Abierta.



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Lineamientos para el reciclamiento de los materiales
de pavimentación (recuperación de los materiales)

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS MATERIALES DE PAVIMENTACION
(RECUPERACION DE LOS MATERIALES)

(JON A. EPPS)

- I. Introducción
 - A. Tipos de Reciclamiento (Tabla 1)
 - 1. Superficial
 - 2. En el lugar
 - 3. Planta Central
 - B. Ventajas y Desventajas de las Técnicas de Reciclamiento (Tabla 2)
- II. Guía para el Reciclamiento de los Pavimentos
 - A. Presentación Gral. (Fig. 1)
 - B. El Reciclamiento como una Alternativa de Rehabilitación (Fig. 2)
 - C. Selección de la Alternativa de Reciclamiento más adecuada (Fig. 3)
 - D. Factores que se consideran (Tabla 3)
 - 1. Condiciones Superficiales
 - 2. Condición Estructural
 - 3. Textura
 - 4. Resistencia al Derrapamiento
 - 5. Tránsito
 - 6. Otros Factores
 - E. Criterios para la Selección
 - 1. Condición Superficial (Tabla 4)
 - 2. Condición Estructural (Tabla 5)
 - 3. Textura (Tabla 6)
 - 4. Resistencia al Derrapamiento
 - 5. Resumen del Criterio (Tabla 7)
- III. Economía y Energía
 - A. Datos de Costo
 - 1. Operaciones de Reciclamiento (Tablas 8 y 9)
 - 2. Operaciones de Mantenimiento (Tabla 10)
 - 3. Operaciones de Construcción (Tabla 11)

TABLA 1 - OPCIONES PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS ASFÁLTICOS

Categoría	Método	Descripción	
SUPERFICIAL	Desbastado en Caliente Escarificación en Caliente	Sin Agregado Adicional	A1
		Con agregado adicional	A2
		Escarificación en caliente solamente	A3
		Escarificación en caliente más un recubrimiento delgado o agregado	A4
		Escarificación en caliente más un recubrimiento grueso	A5
	Molido Superficial	Molido superficial solamente	A6
		Molido superficial más recubrimiento delgado	A7
Molido superficial; más recubrimiento grueso		A8	
EN EL LUGAR	Concreto Asfáltico-Carpeta menor a 2"	Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo	B1
		Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	B2
		Mejoras estructurales mayores sin aglutinante nuevo	B3
		Mejoras estructurales mayores con aglutinante nuevo	B4
	Concreto Asfáltico-Carpeta mayor a 2"	Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo	B5
		Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	B6
		Mejoras estructurales mayores sin aglutinante nuevo	B7
		Mejoras estructurales mayores con aglutinante nuevo	B8
PLANTA CENTRAL	Proceso de Mezcla en Frío	Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo	C1
		Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	C2
		Mejoras estructurales mayores sin aglutinante nuevo	C3
		Mejoras estructurales mayores con aglutinante nuevo	C4
	Proceso de Mezcla en Caliente	Mejoras estructurales menores sin aglutinante nuevo	C5
		Mejoras estructurales menores con aglutinante nuevo	C6
		Mejoras estructurales mayores sin aglutinante nuevo	C7

TABLA 3 - RESUMEN DE LAS CONDICIONES DEL PAVIMENTO EXISTENTE

Características	Valor	Comentario
Localización		
Tamaño de la obra (long.en Kms)		
Clase de camino		
Sección recta del pavimento existente (incluye información, espesor y tipo de las capas del pavimento original; fecha, espesor y tipo de las rehabilitaciones subsiguientes y de las actividades de mantenimiento)		
Geométricas (número de carriles, ancho, extensión vertical, otras restricciones)		
Características de Tránsito PDT - Promedio diario de cargas por eje equivalente de 18 kip --		
Características de la sub base		
Condiciones superficiales (tipo -- de clasificación del pavimento -- PRS)		
Condiciones estructurales. (deflexión, recubrimiento requerido de - 0.01 cms)		
Textura (índice de servicio)		
Resistencia al derrapamiento (SN40)		
Otros: Factores (distancia a la -- fuente de los agregados y el aglutinante, equipo disponible y experiencia del contratista)		

TABLA 6 - SELECCION DE LAS TECNICAS DE RECICLAMIENTO, BASANDOSE EN LA TEXTURA DEL PAVIMENTO

TIPO DE CAMINO	Indice de Servicio	CARRETERA URBANA INTERESTATAL				PRIMARIA				SECUNDARIA				CALLES URBANAS			
		+3.0	2.5-2.9	2.0-2.4	-2.0	+3.0	2.5-2.9	2.0-2.4	-2.0	+3.0	2.5-2.9	2.0-2.4	-2.0	+3.0	2.5-2.9	2.0-2.4	-2.0
Método de Reciclamiento																	
Desbastado en caliente sin agregado adicional	A1																
Desbastado en caliente con agregado adicional	A2																
Escarificación en caliente	A3																
Escarificación en caliente y recubrimiento -- delgado	A4																
Escarificación en caliente y recubrimiento -- grueso	A5																
Molido de la parte superficial	A6																
Molido de la parte superficial y recubrimiento delgado	A7																
Molido de la parte superficial y recubrimiento grueso	A8																

07

PROCEDIMIENTOS DE DISEÑO DE MEZCLAS ASFÁLTICAS EMPLEANDO MODIFICADORES

INTRODUCCION

El reciclamiento de los pavimentos asfálticos viejos, comunmente requiere consideración especial ya que el aglutinante con frecuencia se endurece y es quebradizo. Los modificadores del asfalto pueden utilizarse para reblandecer estos aglutinantes viejos y así producir mezclas con propiedades similares a la de los materiales asfálticos convencionales. El método que se describe a continuación permite al ingeniero seleccionar los tipos y cantidades de los modificadores asfálticos para producir la mezcla deseada. El método es aplicable tanto para las operaciones de reciclamiento en caliente como en frío e incluye modificadores tales como agentes rejuvenecedores suavizantes, aceites fluidificantes y cementos asfálticos suaves. El método consiste en los siguientes pasos generales:

1. Evaluación de los materiales recuperados
2. Determinación de la necesidad de agregados adicionales
3. Selección del tipo y cantidad de modificador
4. Preparación y pruebas de las mezclas
5. Selección de las combinaciones óptimas de agregados nuevos y modificadores asfálticos.

La Filosofía general de este avance es la de utilizar los materiales reciclados, agregado nuevo y modificador para producir una mezcla con propiedades tan cercanas a la de una mezcla de concreto asfáltico nuevo, como sea posible. Se han utilizado métodos de prueba estandar donde es posible. El procedimiento para la mezcla se muestra en la figura G1 y ha sido modelado después de las sugerencias referidas en G1 a G4. Los números dentro de un círculo en el diagrama de flujo se refieren a los tópicos presentados a continuación.

MUESTRAS DE CAMPO (1)

Se deben obtener, de los pavimentos que van ha ser reciclados, muestras representativas. Una evaluación visual del pavimento se debe hacer junto con una revisión de los registros de construcción y mantenimiento para determinar diferencias significantes en el material que va ha ser reciclado en la sección del pavimento. Las secciones del camino con diferencias significantes en los materiales no deben agruparse por que la uniformidad y la predicción de los resultados serán inciertos. Las localizaciones dentro de un proyecto pueden determinarse al azar usando-

Para proporcionar la resistencia al derrapamiento inicial y en forma duradera - para las carpetas asfálticas recicladas, puede ser necesario combinar el agregado grueso sin pulir con el pavimento reciclado. Parece que 40% en volumen de la fracción retenida en la malla Núm. 4 que no esté pulida proporciona la buena textura contra el derrapamiento en las carreteras con volumen de tránsito moderado a alto.

Las normas para la calidad del aire en las operaciones en caliente o en planta central necesitan el uso de un mínimo de aproximadamente 30% en volumen de agregado nuevo. Este requisito se reducirá gradualmente según se mejoren las operaciones de reciclamiento en caliente presentadas por los fabricantes de equipo o por los contratistas.

Si se requiere colocar el pavimento reciclado con una sección de mayor espesor de material asfáltico estabilizado, por algún requerimiento especial de diseño estructural del pavimento. Esto puede lograrse combinando agregados nuevos con el material reciclado o con capas adicionales de materiales nuevos estabilizados con asfalto. Si se van a utilizar las operaciones en caliente en planta central, parece práctico mezclar los agregados nuevos con el pavimento reciclado.

DEMANDA DE ASFALTO (5)

La cantidad de asfalto necesaria para lograr el reciclamiento de los materiales puede estimarse de la siguiente ecuación:

$$D_T = V_R D_R + V_N D_N \quad (1)$$

Donde:

$$D_R = D_{CKE} - A_R \quad (2)$$

Y

D_R = asfalto requerido para recuperar el agregado reciclado, en por ciento

D_{CKE} = D_{CKE} derivado de los agregados recuperados o reciclados, en por ciento

A_R = contenido de asfalto de los agregados recuperados o reciclados

D_N = valor del D_{CKE} de los agregados recuperados o reciclados, por ciento

V_R = volumen de los agregados reciclados en las mezclas

V_N = volumen de los agregados nuevos en las mezclas

El máximo porcentaje de modificador por peso de aglutinante total en la mezcla reciclada es el siguiente:

$$\frac{D_T}{D_R A_R + D_T} \times 100$$

$$= \frac{2.5}{(.70)(4.0) + 2.5} \times 100$$

$$= 47\%$$

Aplicando la Fig. G1 la viscosidad del modificador puede aproximarse. Se entra a la figura con el volumen en por ciento del modificador con viscosidad más baja (47%) y la viscosidad deseada del aglutinante reciclado para localizar el punto A. El punto A se relaciona con la viscosidad del aglutinante recuperado y la línea proyectada, para obtener la viscosidad del modificador. La Tabla G1 indica que el modificador de grado A o B sería el adecuado.

Debe hacerse notar que el cemento asfáltico nuevo y el modificador asfáltico pueden utilizarse para formar el aglutinante nuevo. Si se seleccionó un cemento asfáltico suave y un modificador, será razonable considerar que un modificador de grado A, sería seleccionado.

PRUEBAS DEL MODIFICADOR (9)

Se deben obtener muestras de los modificadores que van a hacer usados y sujetarse a las pruebas para establecer su comportamiento con respecto a las especificaciones (Tabla G1 o G2), así como determinar la viscosidad del modificador con objeto de obtener un contenido más real de dicho modificador (Fig. G2 o G3), se presenta una lista parcial de los distribuidores de modificadores, Tabla G3.

MEZCLA DEL MODIFICADOR CON EL ASFALTO RECUPERADO (10)

Las combinaciones con el modificador pueden consistir de un cemento asfáltico y un suavizante, y deben mezclarse con el asfalto recuperado y sujetarse a las pruebas de viscosidad y penetración para determinar si la viscosidad prevista (penetración) de la mezcla fue exacta. Se sugiere que se hagan dos mezclas, una de 5% arriba y una de 5% abajo del por ciento de agente reciclante determinado en los pasos 7 y 8, aproximadamente debe utilizarse de 75 a 100 gramos de asfalto recuperado para cada mezcla. Una tercera mezcla puede requerirse para confirmar la penetración o viscosidad deseada.

Algunos modificadores reciclantes pueden no ser compatibles con el asfalto recu-

propiedades del aglutinante recuperado.

Los métodos de diseño de la mezcla son los expuestos para la "estabilización asfáltica en las capas de base según se indica en el Apéndice F. Las especificaciones para los modificadores emulsificantes se muestran en la Tabla G2.

REFERENCIAS

- G1 Davidson, D.D., Canessa, W. y Escobar, S.J., "Reciclamiento de los Pavimentos Asfálticos Deficientes o Deteriorados-una Guía de los Procedimientos", pre-impresión del artículo para AAPT, volumen 46, febrero, 1977 San Antonio Texas.
- G2 Dunning, Robert L., "Descripción de un Método de Laboratorio para Determinar la Cantidad de Aditivo para los Asfaltos Reciclados", Robert L. Dunning, Petroleum Sciences, marzo 7 de 1977, Spokane, Washington.
- G3 Canessa, W., "Cyclogen TM para Reciclamiento de los Pavimentos Asfálticos - Deteriorados ya sea en el Lugar o Fuera del Lugar", Witco Chemical Corp. Cal. Nov. 1977.
- G4 Terrel, R.L. y Fritche, D.R., "Comportamiento en el Laboratorio del Concreto Asfáltico Reciclado", artículo preparado para Simposio sobre Reciclamiento de Pavimentos Asfálticos, ASTM, diciembre 1977, San Luis, Missouri.
- G5 Manual del Instituto del Asfalto Series 17, MS-17, 1969, Capítulo 10. "Procedimiento para Seleccionar el Lugar de Muestreo Empleando Técnicas al Azar", 1969.
- G6 Schimdt, R.V., "Método Práctico para Determinar el Módulo Resiliente de las Mezclas Tratadas con Asfalto", revista Núm. 404 de Record de Investigación de Carreteras, del Consejo de Investigación de Carreteras 1972.
- G7 "Estudios de Especificaciones", grupo de productores-usuarios de la costa del Oeste, mayo de 1977.
- G8 "Reciclamiento de los Pavimentos Asfálticos Usando Materiales Recuperados", Grupo de Productores y Usuarios de la Costa Oeste, copia preliminar, mayo 1978.
- G9 Manual del Instituto del Asfalto Series 2 (MS-2,1969).

Sus artículos y publicaciones exceden a 70 con presentación formal, incluyendo la extensión de sus trabajos a más de 50. Los tópicos de estos artículos y la presentación incluyen propiedades de las mezclas asfálticas, mantenimiento y manejo, reciclamiento de materiales para pavimentación y diseño de pavimentos. En 1973 recibió el Galardón de Dinamarca General por Excelencia en la docencia seleccionada por la Facultad y los estudiantes del Colegio de Ingenieros, Universidad de Texas.

INSTITUTO WRAP-UP (JON A. EPPS)

- I - Opciones de Reciclamiento
 - A. Pavimentos Flexibles
 - B. Pavimentos Rígidos
- II- Consideraciones Ambientales
- III- Consideraciones Económicas
- IV - Consideraciones de Energía
- V - Futuro del Reciclamiento

TABLA 11 - COSTOS DE LAS OPERACIONES COMUNES EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS

CLASE DE CONSTRUCCION	COSTOS REPRESENTATIVOS POR YARDA CUADRADA PULG.	
	PROMEDIO	RANGO
Base sin tratar	0.40	0.10 - 0.60
Subrasante estabilizada con Cal	0.25	0.17 - 0.35
Subrasante estabilizada con Cemento	0.30	0.20 - 0.40
Base tratada con Cemento	1.00	0.80 - 1.10
Base tratada con Asfalto	0.85	0.70 - 1.00
Concreto Asfáltico	1.00	0.80 - 1.20
Riego de Sello	0.35	0.20 - 0.45
Concreto Hidráulico	1.35	1.00 - 1.50

Unidad de medida	Requerimiento de energía				Ind. (véase la Tabla 1.1)
	Energía/Unidad	Btu/yd ² de área tratada	Btu/ft ²	Btu/carril mi ²	
Pintal-empulso - ---	10,500 Btu/gal (24)	1,350 (24)		3,750,000 (24)	100 (24)
	12,100 Btu/gal	1,470 (33)		3,910,000 (33)	100 (33)
Pintal-extensión- era	6,850,000 Btu/carril mi (24)	970 (24)		6,850,000 (24)	100 (24)
	3,100,000 Btu/carril mi (14)	470 (14)		3,100,000 (14)	100 (14)
de solda general	537,000 Btu/yd ² (24)	8,200 (24)		6,850,000 (24)	1,250 (24)
	1,100,000 Btu/yd ² (32)	9,210 (32)		1,750,000 (32)	1,850 (32)
	1,300,000 Btu/yd ² (33)	6,900 (33)		5,300,000 (33)	900 (33)
	1,600,000 Btu/yd ² (33)	7,500 (33)		7,000,000 (33)	1,100 (33)
	1,100,000 Btu/yd ² (33)	8,100 (33)		8,670,000 (33)	1,210 (33)
Masilla-empu- ---	20,700,000 Btu/carril mi (24)	4,350 (24)		20,700,000 (24)	100 (24)
	27,000,000 Btu/carril mi (14)	3,950 (14)		27,000,000 (14)	100 (14)
de parchado - 1 de la superfi- ---	1,700,000 Btu/ft ³ (32)	45,200 (32)	45,000 (32)	3,000,000 (32)	1,100 (32)
	3,210,000 Btu/ft ³ (33)	89,300 (33)	89,000 (33)	15,700,000 (33)	3,250 (33)
de resina de - lado superficial	680,000 Btu/ft ³ (33)	24,500 (33)	24,500 (33)	17,200,000 (33)	2,400 (33)
	1,070,000 Btu/ft ³ (24)	25,800 (24)	28,800 (24)	21,000,000 (24)	2,400 (24)
	1,190,000 Btu/ft ³ (32)	33,055 (32)	32,055 (32)	23,350,000 (32)	3,300 (32)
Unión y acondi- ción de repara- ción	1,500,000 Btu/ft ³ (24)	178,000 (24)	44,460 (24)	25,000,000 (24)	3,950 (24)
Unión y acondi- ción de repara- ción	1,125,000 Btu/ft ³ (24)	197,000 (24)	31,200 (24)	65,500,000 (24)	9,350 (24)
	810,000 Btu/ft ³ (33)	135,000 (33)	22,500 (33)	47,500,000 (33)	6,700 (33)
de de grietas - fijas)	32,700 Btu/gal (24)			6,500,000 (24)	1,000 (24)
	50,670 Btu/gal (33)			16,000,000 (33)	2,200 (33)
	33,500 Btu/gal (25)			8,700,000 (25)	1,000 (25)
	21,600 Btu/gal (32)			7,500,000 (32)	1,000 (32)
de Sell -	9,400,000 Btu/carril mi (19)	1,350 (19)		9,400,000 (19)	100 (19)
amiento de con- strucción	512,000 Btu/ton. (14)	55,600 (14)	27,800 (14)	391,000,000 (14)	55,600 (14)
	533,000 Btu/ton. (16)	57,800 (16)	28,900 (16)	407,000,000 (16)	57,800 (16)

* Energía requerida por yarda cuadrada de la superficie total del pavimento mantenido. Por ejemplo, el parchado superficial por el método manual podría haberse aplicado sobre 5% solamente del área total de la superficie del pavimento, sin embargo la energía requerida es para el mantenimiento del área del pavimento en un carril por milla del pavimento. (24) indica la referencia en la que se basan los datos. Conversión métrica:

$1 \text{ Btu/gal} = 378.7 \text{ J/l}$ $1 \text{ Btu/ft}^3 = 656.1 \text{ J/m}^3$ $1 \text{ Btu/ft}^3 = 1.281 \text{ J/m}^3$
 $1 \text{ Btu/gal} = 1.164 \text{ J/kg}$ $1 \text{ Btu/ft}^2 = 1263 \text{ J/m}^2$ $1 \text{ Btu/ft}^2 = 437 \text{ J/m}^2$
 $1'' = 2.54 \text{ cm}$ $1 \text{ pie} = .305 \text{ m}$

CAPITULO I
INTRODUCCION

CAPITULO II
PAVIMENTOS ASFALTICOS

CAPITULO III
PAVIMENTOS DE CONCRETO HIDRO

CAPITULO IV
EVALUACION DE RESULTADO

PARTE A - SELECCION DE ALTERNATIVAS

PARTE B - ANALISIS Y DISEÑO

RECICLAMIENTO
ALTERNATIVAS DE REHABILITACION DE UN PAVIMENTO

BENEFICIOS
CONSERVACION DE MATERIALES.
CONSERVACION DE ENERGIA
PRESERVACION DE LA INVERSION.
AHORRO EN LOS COSTOS.

SELECCION
ALTERNATIVAS MAS ADECUADAS

PAVIMENTO EXIST.
HISTORIA Y DESCRIPCION FISICA DE LOS DATOS DE LAS PRUEBAS COMUNES

OTROS FACTORES
AMBIENTE,
LOCALIZACION
EXPERIENCIA
EQUIPO
COMPORTAMIENTO
CRITERIO

PRIORIDAD
ALTERNATIVAS DE RECICLAMIENTO

DISEÑO
MEZCLAS
ESTRUCTURA
MODIFICADORES ASFALTICOS.

ECONOMIA
COSTO
ENERGIA

CONSTRUCCION
ESPECIFICACIONES DE CONTROL DE CALIDAD

EVALUACION
RESULTADOS Y OBJETIVOS

EVALUACION
METODOS DE CONSTRUCCION.
COMPORTAMIENTO DEL PAVIMENTO.

COMPARACION
METODOS, COSTOS Y COMPORTAMIENTO POR LOS METODOS CONVENCIONALES.

FIG. 1 - PRESENTACION DE LOS LINEAMIENTOS PARA EL RECICLAMIENTO DE LOS PAVIMENTOS

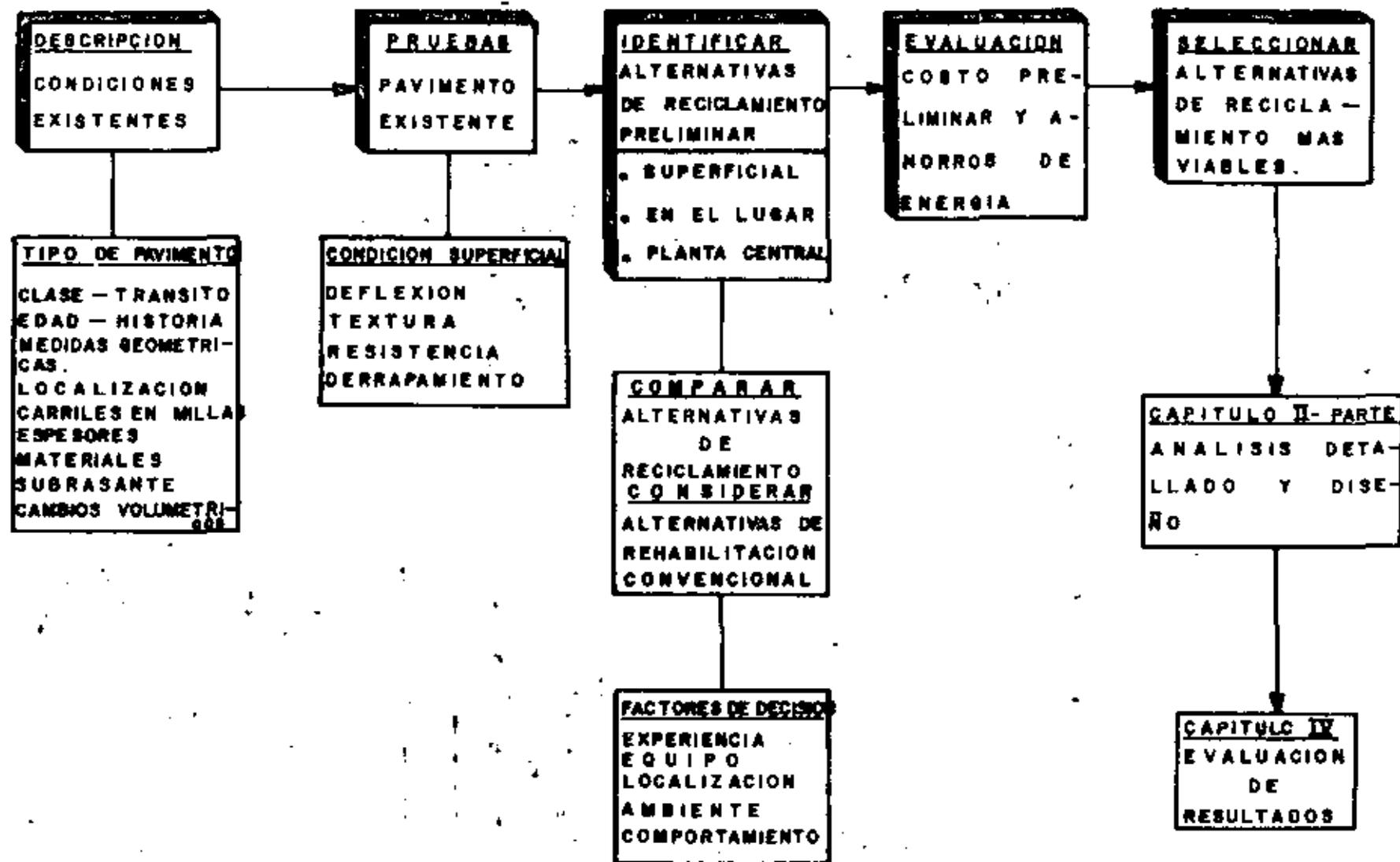
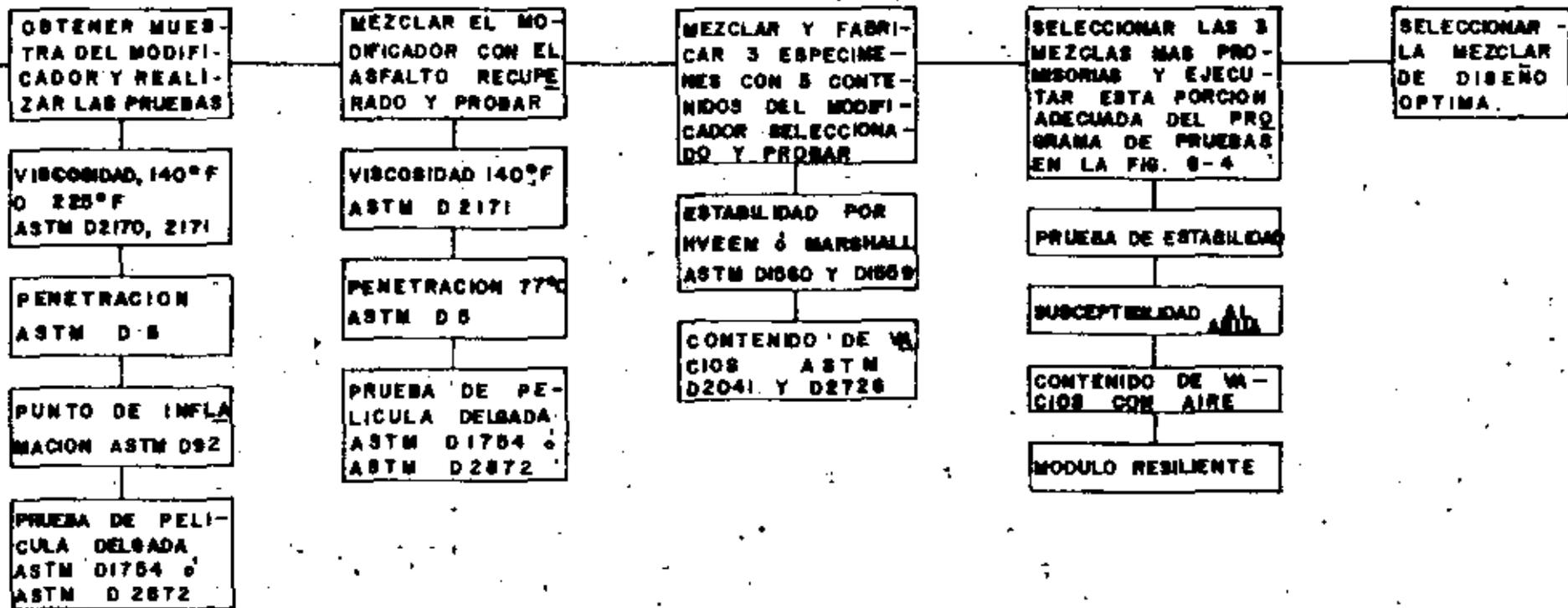


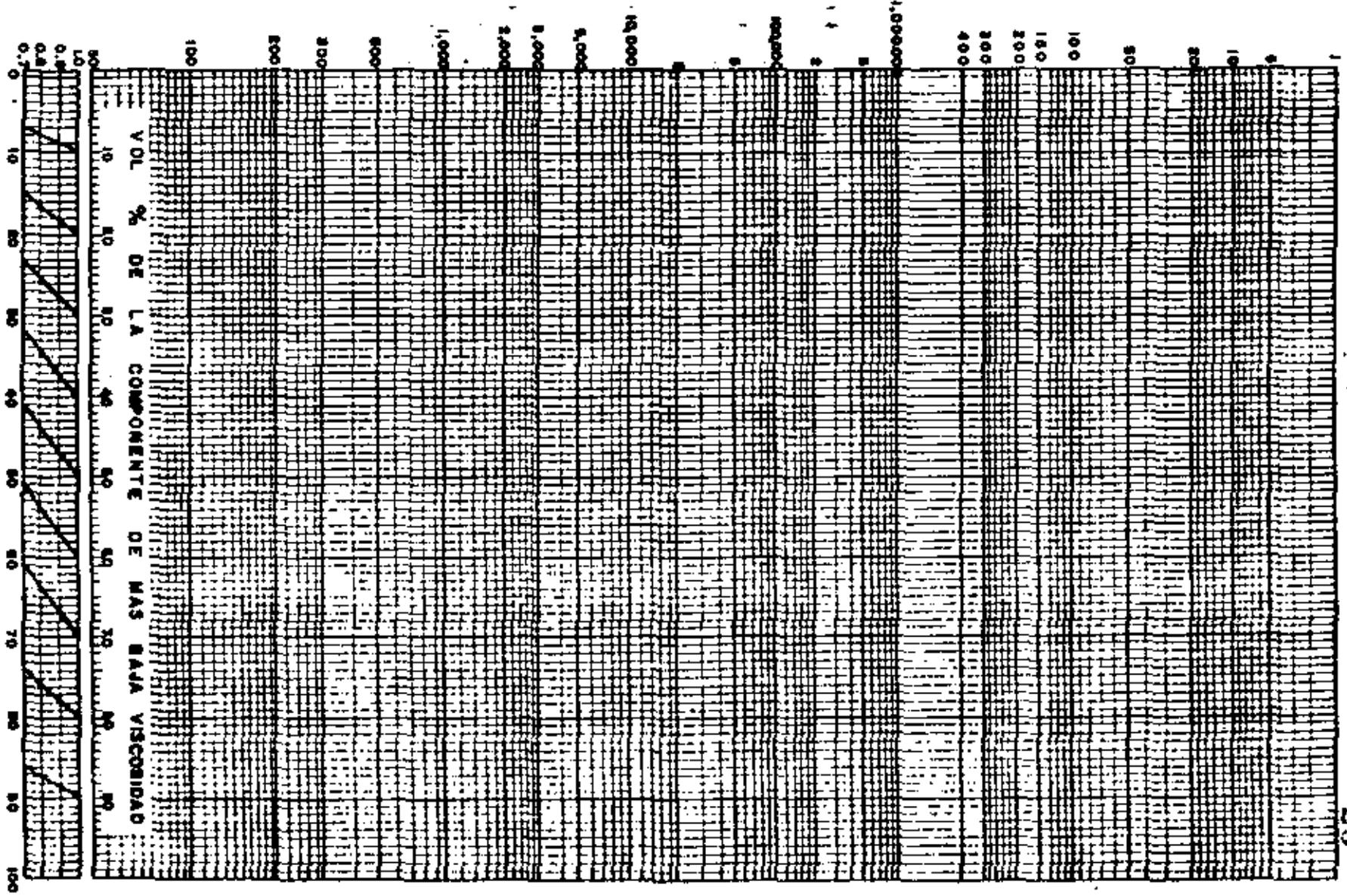
FIG. 3- ANALISIS PRELIMINAR Y SELECCION DE LAS ALTERNATIVAS MAS ADECUADAS



VISCOSIDAD EN CENTIPOISES

PENETRACION

RELACION DE DENSIDAD



W₁ % DE LA COMPONENTE DE MAS BAJA VISCOSIDAD

(DESPUES DE LA REFERENCIA 981)

FIGURA 9-3

TABLA G1 : ESPECIFICACIONES PROVISIONALES PARA EL AGENTE MODIFICADOR

Grado	A	B	C	D	E	F
<u>Pruebas</u>						
<u>Original</u>						
Viscosidad a 140°F, cs	80- 500	1,000- 4,000	5,000- 10,000	10,000- 20,000	20,000- 30,000	40,000- 60,000
Viscosidad a 275°F, cs Min.	-	-	-	-	80	110
Penetración a 77°F, Min.	-	-	-	-	200	120
Punto de Inflamación, COC, °F, Min.	390 (350) ²	425 (350) ²	425 (350) ²	425 (350) ²	325	350
Densidad ³	-	-	-	-	-	-
Después de la acción de Envejecimiento						
<u>Residuo</u>						
Pérdida de peso %	3.0	3.0	3.0	3.0	-	-
Viscosidad a 140°F, cs, Max	1,500	12,000	30,000	60,000	125,000	250,000
Ductilidad a 77°F, Min.	-	-	-	-	100	100

- 1 Cubre la Fracción Activa del Aceite
- 2 Requerimientos Alternos
- 3 Reportar Solazante

Después de la referencia G7

TABLA G2 : ESPECIFICACIONES PROVISIONALES PARA LOS MODIFICADORES EMULSIONADOS

Propiedad	Función y Objetivo	Método de Prueba	Especificaciones
Viscosidad a 77°F, SFS	Facil manejo	ASTM D 244-76	15-85
Estabilidad al Bombeo	Prevención del agrietamiento prematuro	G. B. Método ⁽²⁾	Piezas
Por ciento de retenido en malla 100 máximo	Distribución optima	Prueba en Malla, ASTM D 244-76 (MOD) ⁽³⁾	0.1 max.
Sensitividad con finos por ciento	Vida adecuada de la mezcla	Mezcla con Cemento ASTM D 244-76	2.0 max.
Carga de la Partícula	Clase de afinidad	ASTM D 244-76	Positivo
Concentración de aceite por ciento	Comprobación del contenido de aceite y para calcular	ASTM D 244-76 (MOD) ⁽⁴⁾	60 min.

(1) Los aceites usados en las emulsiones deben cumplir las especificaciones listadas en la Tabla i.

(2) La estabilidad del bombeo se determina cargando 450 ml. de emulsión en un vaso picudo de un litro y hacer circular la emulsión a través de una bomba engranajes rotativa de (Roper 29. B22621) que tiene un cuarto de pulgada de entrada y salida. La emulsión para si no hay separación significativa de aceite después de circular diez minutos.

(3) El procedimiento de prueba es idéntico al ASTM D 244 excepto que el agua destilada debe usarse en lugar de la solución de cloruro de sodio al 2%.

(4) La prueba de evaporación ASTM D 244 para el por ciento de residuo está modificada en que se calientan 50 gramos de la muestra a 148°C, hasta que cesa la espuma, entonces se enfría inmediatamente y se calculan los resultados.

Después de la referencia G3

Continued

Names and Addresses

Arizona Refining Company
P. O. Box 1453
Phoenix, Arizona 85001
602-258-4843

Ashland Petroleum Company
P. O. Box 391
Ashland, Kentucky 41101
606-739-4166

Bituminous Materials Co., Inc.
P. O. Box 1507
Terre Haute, Indiana 47808

Cenex

Montana

Chem-Crete Corporation
2180 Sand Hill Road
Suite 340
Menlo Park, California 94025
415-854-6206

Chevron USA, Inc.
P. O. Box 7643
San Francisco, California 94120

Mike Davis Associates

Koppers Company, Inc.
2700 Kippers Building
Pittsburgh, Pennsylvania 15219
412-391-3300

Lion Oil Company
Lion Oil Building
El Dorado, Arkansas 71730
501-863-3111

Mac Millan

Kansas City, Missouri

Mobil Oil Corporation
150 E. 42nd Street
New York, New York 10017

Pax International
W. 3815 Indian Trail Road
Spokane, Washington 99208
509-326-5989

Phillips Petroleum Company
Bartlesville, Oklahoma 74004
918-661-6600

Saunders Chemical Division
P. O. Box 9
Evans, Colorado 80620
303-352-0467

Shell Oil Company
P. O. Box 2105
One Shell Plaza
Houston, Texas 77001

Sun Oil Company

Tulsa, Oklahoma

Tenneco

Union Oil Company
P. O. Box 7600
Los Angeles, California 90051
714-528-7201

Witco Chemical Company
Golden Bear Division
P. O. Box 378
Bakersfield, California 93308
805-399-9501



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

RECUPERACION Y RECICLAJE DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Diseño y construcción de materiales
asfálticos reciclados

Expositor:

Ing. Rafael Limón Limón

SEPTIEMBRE, 1983

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MATERIALES ASFALTICOS
RECICLADOS.

Por

THOMAS W. KENNEDY

Profesor de Ingeniería Civil
Vicepresidente Suplente de Investigación
de la Universidad de Texas en Austin

Artículo presentado
en el V Ciclo de Con-
ferencias sobre Inge-
nería del transpor-
te, Septiembre 11-15, 1978.

R E S U M E N

Este artículo comprende los resultados de un estudio para evaluar la resistencia, la fatiga, y las características elásticas de los materiales asfálticos reciclados para pavimentación, y para desarrollar un procedimiento de diseño de la mezcla preliminar.

Se evaluaron las mezclas con diferentes tipos y cantidades de aditivos para tres proyectos de reciclamiento en Texas. El primer método de evaluación fue con la prueba de tensión indirecta con carga estática y con carga repetida. Se obtuvieron estimaciones de la resistencia a la tensión, características elásticas resilientes, y las características de fatiga. Se formuló un procedimiento de diseño preliminar de la mezcla, el cual se basó en los resultados de este estudio y de las pruebas estándar en la mezcla y en el asfalto extraído, así como en una revisión de la literatura pertinente y de las experiencias pasadas. El objetivo de este procedimiento de diseño preliminar es para permitir a los ingenieros empezar con una rutina de diseño de las mezclas que involucran ce-men-tos asfálticos deteriorados reciclados.

Los resultados preliminares indican que las mezclas asfálticas recicladas pueden ser tratadas por medio de la adición de asfalto y/o agentes reciclantes para producir un material que exhiba propiedades ingenieriles satisfactorias medidas por pruebas de laboratorio en especímenes preparados, así como en cora-zones to-ma-dos en el campo.

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE MATERIALES
ASFALTICOS RECICLADOS.

Por

THOMAS W. KENNEDY

Profesor de Ingeniería Civil-Vice -
presidente Suplente de Investigación
de la Universidad de Texas en Austin.

Artículo presentado en el V Ciclo -
de Conferencias sobre Ingeniería del
Transporte, Septiembre, 11-15, 1978.

I N T R O D U C C I O N

Investigaciones previas han estudiado algunas de las propiedades de las mezclas recicladas; sin embargo, no están disponibles propiedades fundamentales como -- la resistencia a la tensión, características elásticas, comportamiento elástico resiliente, y propiedades de fatiga. Por lo tanto, el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas solicitó que se realizara un estudio preliminar de las mezclas asfálticas recicladas. Los objetivos principales de este estudio fueron: (1) evaluar las propiedades ingenieriles de las mezclas asfálticas recicladas y (2) desarrollar un procedimiento preliminar de diseño de mezclas - asfálticas recicladas.

PROGRAMA EXPERIMENTAL

Para lograr los objetivos anteriores se prepararon especímenes en el laboratorio y se obtuvieron corazones de prueba de las mezclas asfálticas recicladas de tres diferentes obras y se probaron a la tensión indirecta usando carga estática y repetida, se evaluaron por comparación de las propiedades de las mezclas recicladas con las propiedades de las mezclas convencionales (Ref.1). Se realizaron también pruebas adicionales y evaluaciones conducidas por el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas, EE. UU.

Los estudios previos (Ref. 3 y 4) han mostrado que la relación entre la fatiga final y el esfuerzo de tensión es lineal; por lo tanto, solamente dos niveles de esfuerzo se usaron en la porción de carga repetida de este estudio.

METODO DE PRUEBA

La prueba de tensión indirecta consiste en aplicar a un espécimen cilíndrico - carga de compresión estática o dinámica actuando paralela y a lo largo del plano vertical diametral. La carga de compresión se distribuye a través de la extensión de 13 mm de la pieza de carga de acero, que esta curvada en la cara de contacto para ajustarse al espécimen. Esta configuración de carga produce un esfuerzo relativamente uniforme perpendicular al plano de la carga aplicada y a lo largo del plano vertical diametral hasta causar la falla del espécimen -- partiéndolo a lo largo del diámetro vertical (Fig. Núm.1). La resistencia a la tensión, módulo de elasticidad, y la relación de Poisson se pueden calcular de la carga medida y de las correspondientes deformaciones verticales y horizontales.

El equipo de prueba fue el mismo que se usó en los estudios previos en el Centro de Investigación de Carreteras e incluye una estructura de carga, un cabezal de carga, y un sistema impulsado con dispositivos electrohidráulicos para aplicar la carga con una velocidad de deformación controlada. El cabezal de carga asegura que las platinas permanezcan paralelas durante la prueba. Una tira de acero curvada para aplicar la carga se adaptó tanto a la platina superior como a la inferior.

La estimación del módulo de elasticidad, relación de Poisson, y deformaciones por tensión, requieren la medición de la deformación vertical y de la horizontal, V_{RI} y H_{RI} de los especímenes. Para la prueba con repetición de carga se midieron las deformaciones horizontales y verticales por medio de medidores longitudinales de variación diferencial (LVDT). En la figura Núm. 2 se ilustra una relación típica de las deformaciones verticales y horizontales "Vs" el tiempo - junto con el patrón de pulsación correspondiente al tiempo de carga.

PROCEDIMIENTO DE LA PRUEBA ESTÁTICA.

Se aplicó una precarga de 89 N (9.06 Kgs) al espécimen para prevenir el impacto de la carga y para minimizar el efecto del asentamiento de la pieza metálica de

PROPIEDADES DE FATIGA

Estudios previos (Ref. 3 y 4) han indicado una relación lineal entre la vida de fatiga y el esfuerzo lo cual puede expresarse como:

$$N_F = K_2 \left[\frac{1}{T_T} \right]^{n_2} \quad n_2 = K'_2 \left[\frac{1}{\Delta T} \right]^{n_2}$$

Donde:

N_F es la vida de fatiga, en ciclos

T_T es el esfuerzo de tensión aplicado, en N/cm^2

ΔT es el incremento de esfuerzo $\approx 4T_T$, N/cm^2

K_2 es la constante del material, que es el antilogaritmo del valor interceptado de la relación logarítmica entre la vida de fatiga y el esfuerzo de tensión.

K'_2 es la constante del material, que es el antilogaritmo del valor interceptado de la relación logarítmica entre la vida de fatiga y el incremento de esfuerzo.

n_2 es la constante del material, que es el valor absoluto de la pendiente de la relación logarítmica entre la vida de fatiga y el esfuerzo de tensión o el incremento de esfuerzo.

En la Fig. Núm. 3 se ilustran las relaciones entre la vida de fatiga y el incremento de esfuerzo. Estudios previos (Refs. 3 y 5) han mostrado que los resultados expresados en términos de diferencia de esfuerzo son más útiles y comparables con los resultados de otros métodos de prueba. Para la prueba de tensión indirecta, la diferencia de los esfuerzos ha mostrado ser aproximadamente igual a $4 T_T$ en o cerca del centro del espécimen.

Debe notarse que las pendientes n_2 fueron esencialmente las mismas, excepto para la mezcla que contiene 2.7% de CA-20 + 0.34% de reclamite.

Los valores de n_2 para los especímenes reciclados variaron de 2.15 a 8.07 .

propiedades de resistencia, se considera que el material reciclado se comporta tan bien como las mezclas convencionales.

RESULTADOS DE LA PRUEBA DINAMICA (CARGA REPETIDA)

La relación entre la deformación permanente y el número de aplicaciones de carga, es lineal entre 10 y 80% de la vida útil (hasta la fatiga), y después de un período de acondicionamiento, los módulos de elasticidad disminuyen con un incremento en el número de aplicaciones de carga (Ref. 3). Para este estudio, se calcularon las propiedades elásticas y aproximadamente 50% de la vida útil hasta la fatiga. La tabla 4 contiene el resumen de los valores de las pruebas y de los coeficientes de variación.

MODULO ELASTICO DE RESILIENCIA INSTANTANEA

Los valores promedio de los módulos elásticos de resiliencia instantanea para los especímenes preparados en el laboratorio a 24°C variaron desde $(172 \times 10^3$ a $692 \times 10^3 \text{ N/cm}^2$ 17.4×10^3 a $70.21 \times 10^3 \text{ Kgs/cm}^2$) con el coeficiente de variación variando desde 4 a 28%. Rodríguez y Kennedy (Ref. 7) reportaron valores para las mezclas en tambor secador que variaban desde 128×10^3 a $349 \times 10^3 \text{ N/cm}^2$ (12.95×10^3 a $35.42 \times 10^3 \text{ Kgs/cm}^2$) con coeficientes de variación de 3 a 19%. Los valores del módulo para este estudio fueron mayores que los reportados en evaluaciones previas con mezclas convencionales.

VALOR DE POISSON DE RESILIENCIA INSTANTANEA

Los valores para el módulo de Poisson con resiliencia instantanea de especímenes reciclados preparados en el laboratorio variaron desde 0.04 a 0.68. Los valores previamente reportados para estos módulos a 24°C para las mezclas de concreto asfáltico convencional de corazones tomados en el campo fueron de 0.44 y 0.57 (Ref. 4) y para los especímenes preparados en el laboratorio fueron de 0.04 a 0.20 (Ref. 3). Por lo tanto los valores de estos módulos de Poisson encontrados en este estudio fueron aproximadamente los mismos que los reportados previamente para las mezclas convencionales.

Las relaciones obtenidas en este estudio mostraron correlaciones fuertemente altas que son similares a las reportadas en estudios previos (Refs. 3, 4 y 7). Por consiguiente los datos de los estudios previos empleando mezclas convencionales se combinaron con los datos de las mezclas recicladas y se desarrollaron relaciones compuestas.

Estas relaciones son:

$$n_2 = 0.4836 + 0.3756 \log K'_2$$

$$(R^2 = 0.96, S_e = 0.29)$$

y

$$\log K'_2 = 1.652 + 2.5684 n_2$$

$$(R^2 = 0.96, S_e = 0.78)$$

Debido a la alta correlación de los coeficientes obtenidos por la combinación, se concluyó que existe una relación entre n_2 y $\log K'_2$, lo cual posiblemente puede simplificar la estimación de las propiedades de fatiga.

PROCEDIMIENTO PRELIMINAR PARA DISEÑAR LA MEZCLA

Actualmente no hay un procedimiento disponible para el diseño de las mezclas asfálticas recicladas. Las siguientes recomendaciones se basaron en la experiencia obtenida hasta la fecha y son de tipo preliminar. Se anticipa que se requerirán modificaciones conforme avance la información adicional, y se desarrolle más experiencia.

El problema de diseño comprende: (1) hacer que el asfalto tenga su composición química óptima para la durabilidad. (2) restaurar las características del asfalto hasta una consistencia de nivel apropiado para la mezcla. (3) cumplir con el requerimiento del contenido de asfalto del procedimiento de diseño de la mezcla.

Los pasos necesarios para el diseño de las mezclas asfálticas recicladas se han subdividido en tres categorías: general, diseño preliminar y diseño final.

DISEÑO FINAL

Los materiales seleccionados en el diseño preliminar deben evaluarse posteriormente para seleccionar el tipo final y cantidad de aditivo y para determinar si los resultados de las propiedades ingenieriles son aceptables. Los pasos son -- los siguientes:

- (1) Preparar especímenes, por duplicado, de las mezclas conteniendo diferentes porcentajes de los aditivos seleccionados aproximadamente determinados en el diseño preliminar.
- (2) Las pruebas de acuerdo con las normas usadas en el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas son:
 - (a) para base negra TEX-126-E, compresión sin confinar, y
 - (b) para concreto asfáltico TEX-208-F, estabilómetro.

Otras dependencias deben probar empleando sus pruebas estandar.

- (3) Comparar los resultados con los requeridos en las especificaciones en las mezclas convencionales. Las pruebas normales usadas en el Departamento de Carreteras y Transportación Pública de Texas, dan los siguientes valores.

- (a) base negra TEX-126-E , para el mejor material de base, la resistencia a la compresión sin confinar no será menor de 3.5 Kgs/cm² a velocidad lenta y de 7.0 Kgs/cm² a velocidad rápida.

Para el material de base más pobre aceptado, la resistencia a la compresión sin confinar no menor de 2.1 Kgs/cm² a velocidad lenta y 7.0 Kgs/cm² a velocidad rápida.

- (b) concreto asfáltico TEX-208-F, estabilidad no menor que 30%.

- (4) Prueba de tensión indirecta aplicando carga estática y carga repetida, respectivamente.

Procedimientos tentativos de prueba con aplicación estática se describen en la (Ref. 10). En las referencias 11 y 12 están los procedimientos tentativos de prueba de tensión indirecta con carga repetida.

- (5) Comparar los resultados con los obtenidos para las mezclas convencionales. -- Las propiedades que deben considerarse son:

- (a) Resistencia a la tensión.
- (b) Módulo de elasticidad (con carga estática)
- (c) Vida útil (hasta la fatiga)

CONCLUSIONES

Este artículo comprendía los resultados de un estudio para evaluar la fatiga y las propiedades elásticas de las mezclas asfálticas recicladas y describe un procedimiento preliminar para el diseño de mezclas. A continuación se resumen las conclusiones y recomendaciones de este estudio:

- (1) Las propiedades ingenieriles de las mezclas recicladas, evaluadas en este estudio, generalmente fueron ligeramente mayores que las mezclas convencionales evaluadas.
- (2) Basados en los resultados de este estudio así como en la experiencia y en los resultados de otros investigadores, se concluye que se pueden obtener mezclas satisfactorias con los materiales reciclados.
- (3) Un procedimiento preliminar de diseño de mezclas se ha presentado y, será modificado cuando se obtengan experiencias adicionales.

LISTA DE FIGURAS

- Fig. Núm. 1 Prueba de tensión indirecta con carga hasta la falla.
- Fig. Núm. 2 Relaciones típicas de carga y deformación "Vs" tiempo para la prueba de tensión indirecta con carga repetida.
- Fig. Núm. 3 Relaciones entre los logaritmos de la vida útil y los esfuerzos -- (diferencia) para las mezclas recicladas de IH 20 - Distrito 8.
- Fig. Núm. 4 Efectos de la cantidad de aditivo sobre la resistencia a la tensión.
- Fig. Núm. 5 Efectos de la cantidad de aditivo sobre el módulo de elasticidad.
- Fig. Núm. 6 Efectos de la cantidad de aditivo sobre el módulo de elasticidad con resiliencia instantánea.
- Fig. Núm. 7 Efectos de la cantidad de aditivo sobre la vida útil.

LISTA DE TABLAS

- Tabla Núm. 1 Descripción de las Obras Recicladas
- Tabla Núm. 2 Resumen de los coeficientes de fatiga y de los exponentes.
- Tabla Núm. 3 Resumen de los resultados de la prueba estática.
- Tabla Núm. 4 Resumen de las Propiedades Elásticas con Carga Repetida

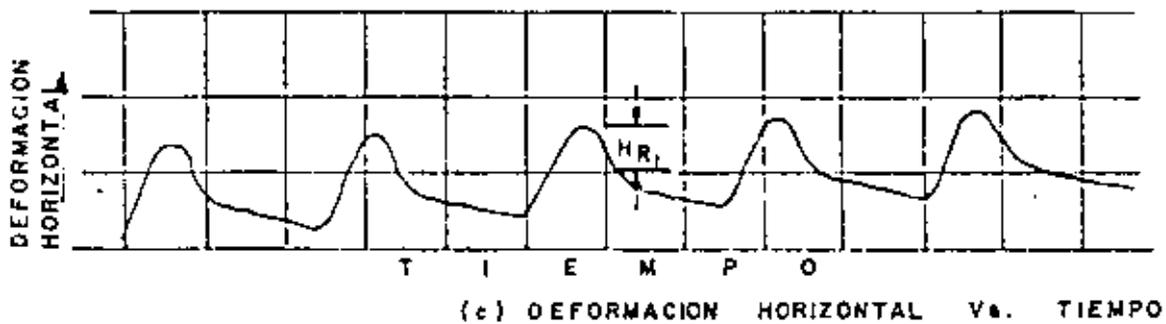
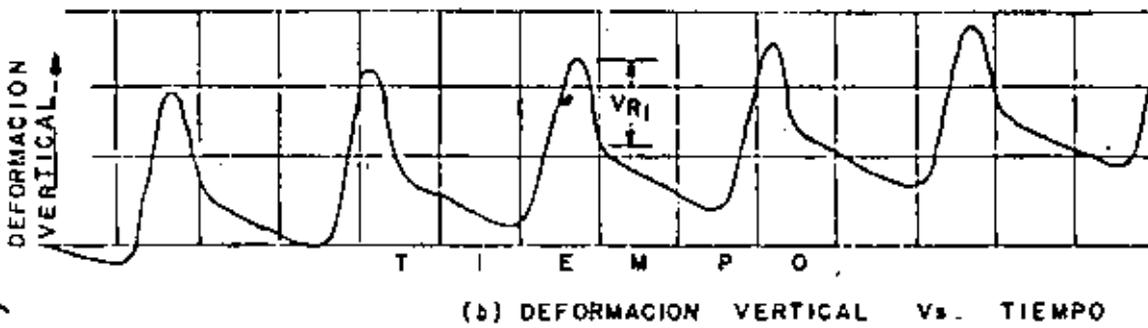
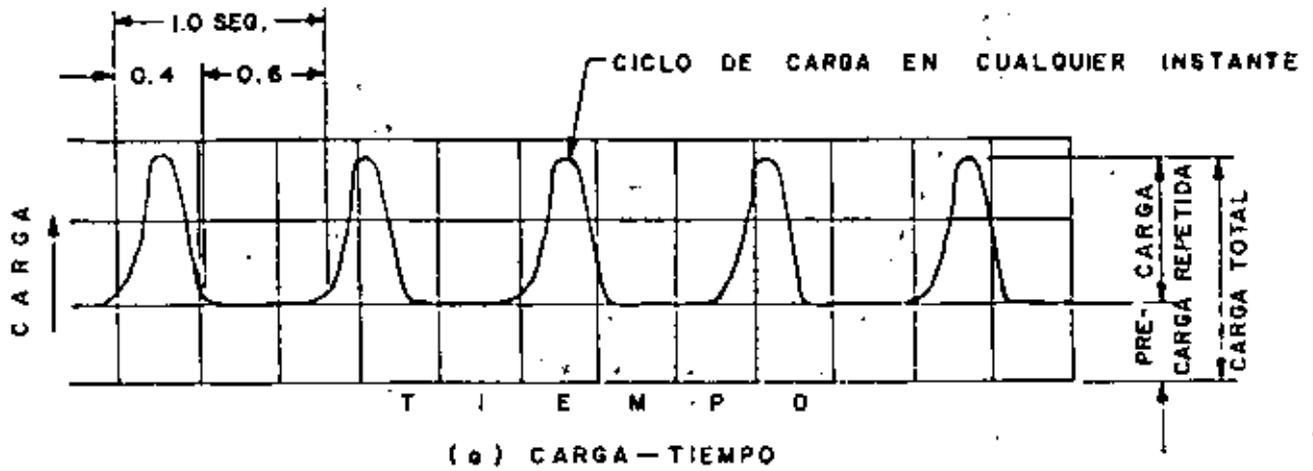


FIG. 2 - RELACIONES TÍPICAS DE CARGA Y DEFORMACION "vs" TIEMPO, PARA LA PRUEBA DE TENSION INDIRECTA CON CARGA REPETIDA.

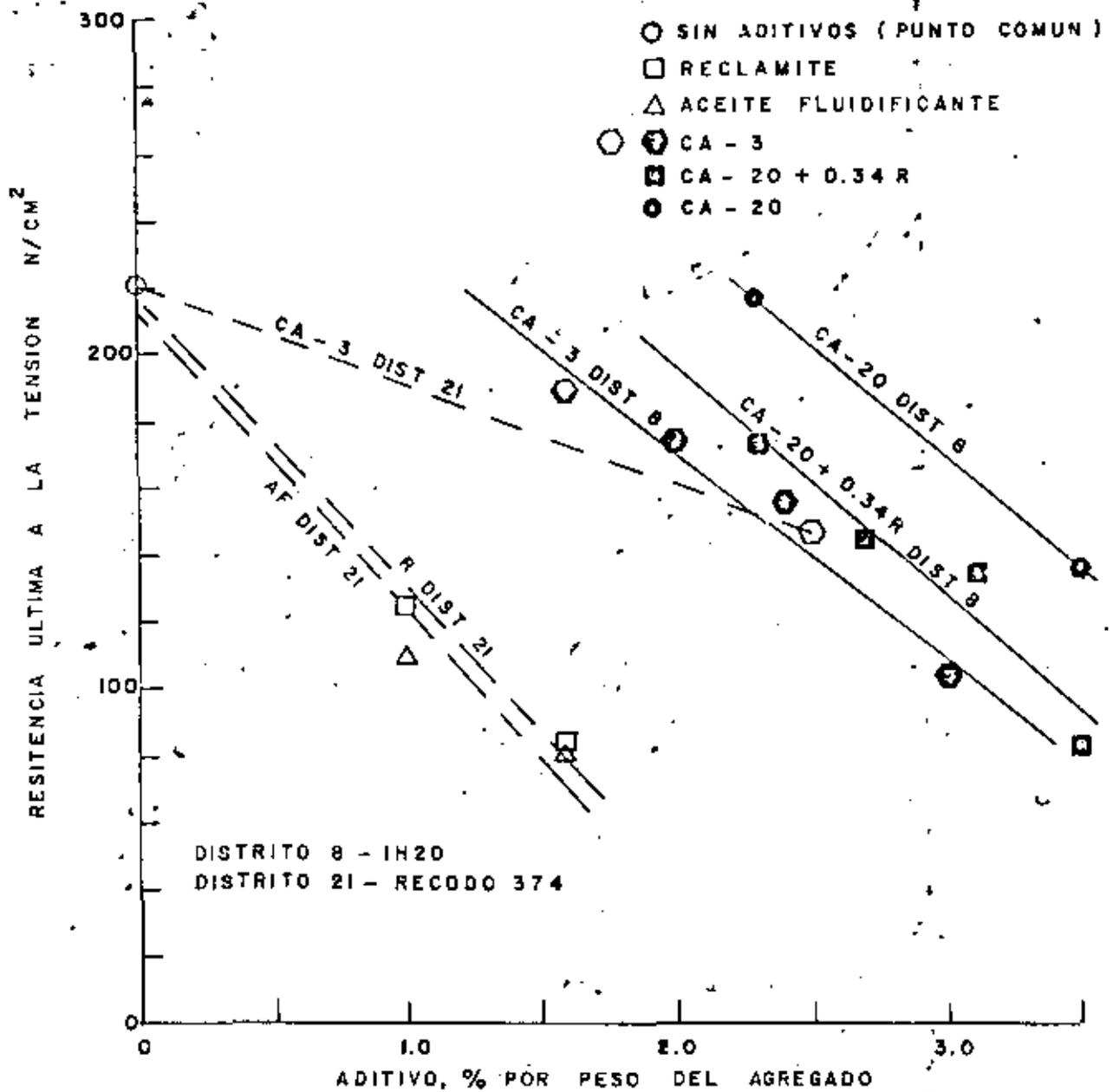


FIG. 4 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE LA RESISTENCIA A LA TENSION

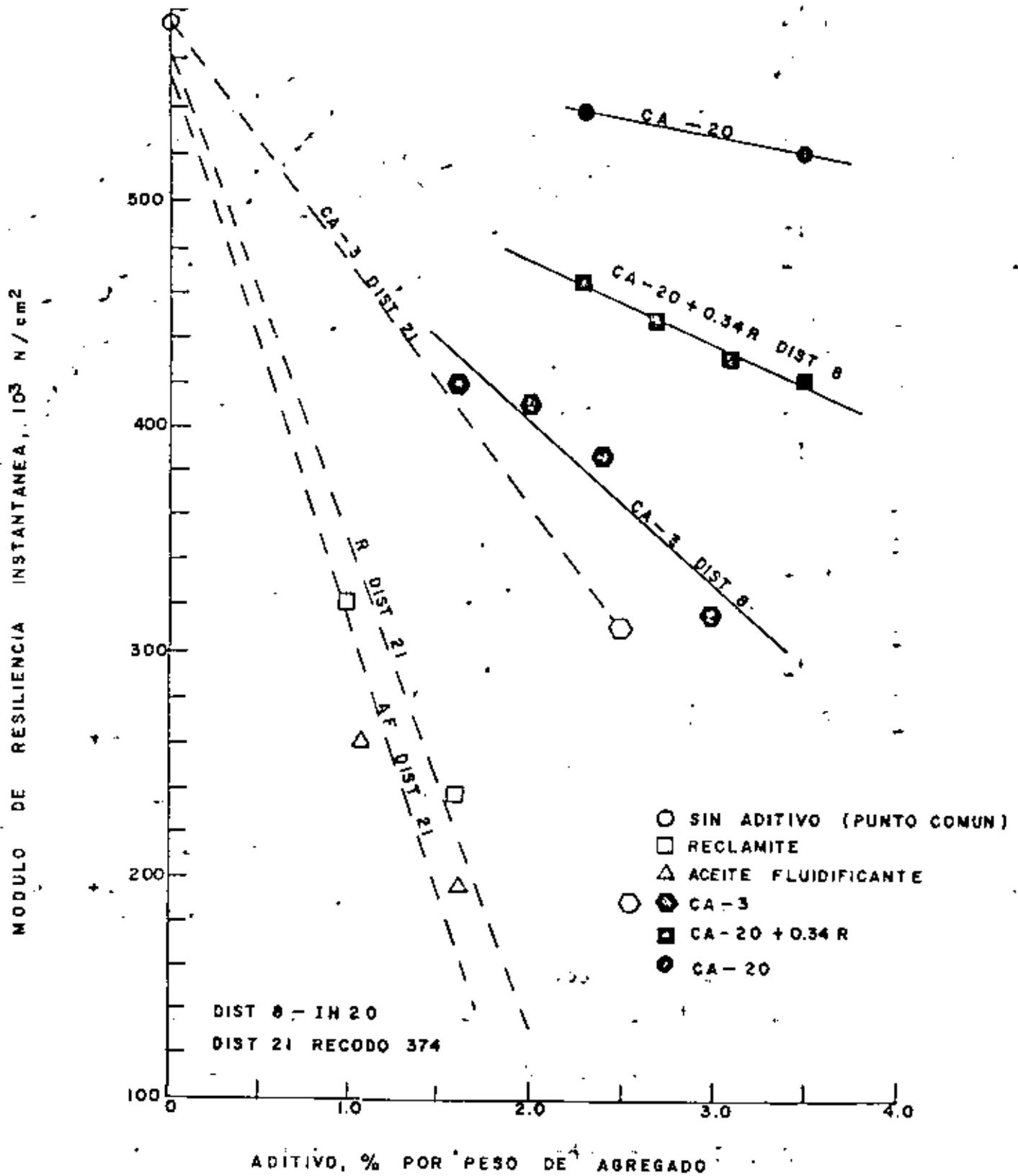


FIG. 6 - EFECTOS DE LA CANTIDAD DE ADITIVO SOBRE EL MODULO DE ELASTICIDAD CON RESILIENCIA

ACLARACIONES

El contenido de este artículo refleja los puntos de vista de los autores, quienes son responsables de los hechos y de la precisión de los datos presentados aquí. El contenido no refleja necesariamente los puntos de vista oficiales o las políticas de Administración Federal de Carreteras. Este artículo no constituye un estándar, especificación, o regulación.

RECONOCIMIENTOS

Esta investigación se realizó en el Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin. Los autores agradecen el patrocinio, del Departamento de Estado de Carreteras y Transportación Pública de Texas, y al Departamento de Transportación de la Administración Federal de Carreteras de los EE.UU.

REFERENCIAS

1. Ignacio Pérez y Thomas W. Kennedy, "Evaluación de las Propiedades Ingenieriles de las Mezclas Asfálticas Recicladas". Reporte de la investigación 183-10, Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin, Septiembre 1977.
2. Procedimientos de Prueba (Manual). Departamento de Carreteras de Texas, Vol. 1 y 2.
3. Adedimila, Adedare S., y Thomas W. Kennedy. "Características Resilientes de Fatiga de las Mezclas Asfálticas con la Prueba de Tensión Indirecta con Carga Repetida", Reporte de la investigación 183-5. Centro de Investigación de Carreteras, de la Universidad de Texas en Austin, Agosto 1975.
4. Navarro, Domingo, y Thomas W. Kennedy, "Características Elásticas y de Fatiga con Carga Repetida de los Materiales Asfálticos Tratados", Reporte de Investigación 183-2. Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas en Austin, Enero de 1975.
5. Porter, Byron W., y Thomas W. Kennedy, "Comparación de los Métodos de Prueba por Fatiga de los Materiales Asfálticos", Reporte de Investigación 183-4. Centro de Investigación de Carreteras de la Universidad de Texas, Abril de 1975.

TABLA 1 - DESCRIPCION DE LAS OBRAS RECICLADAS

Distrito Condado Obra	Preparación	Núm. de Especímenes		Tipo de Aditivo	Aditivo % Wt.	Agregado
		Fatiga	Estática			
8 Nolan IH-70	Laboratorio	4	3	CA-3	2.0	Caliza triturada del concreto as- faltico viejo con 15% de agrega- do nuevo, (tamaño, para malla de 1 pulg. y se retiene en la No. 4)
		5	2	CA-3	3.0	
		5	2	CA-3	2.4	
		4	2	CA-3	2.0	
		5	2	CA-3	1.6	
		4	3	CA-20	3.16	
				Reclamite	0.34	
		5	2	CA-20	2.76	
				Reclamite	0.34	
		4	4	CA-20	2.35	
				Reclamite	0.34	
		4	4	CA-20	1.96	
				Reclamite	0.34	
		4	2	CA-20	2.30	
		Reclamite	0.20			
		CA-20	3.5			
		CA-20	2.3			
		4	3	Nada*	- -	
21 Hidalgo Loop 374	Laboratorio	5	3	Nada*	- -	Caliza triturada del concreto asfáltico - viejo.
		6	3	CA-3	2.5	
		5	3	Reclamite	1.0	
		6	3	Reclamite	1.6	
		6	3	Aceite fluidifi- cante.	1.0	
		6	3	Aceite fluidifi- cante.	1.6	
	Mezcla en el campo	12	6	Aceite fluidifi- cante.	2.0	Caliza triturada del concreto asfáltico - viejo.
		6	6	Aceite fluidifi- cante.	1.6	
		12	6	CA-3	3.0	
		6	3	CA-3	2.5	
12	6	Reclamite	1.6			
21 Hidalgo US-281	Corazones	12	7	CA-20	1.5	Caliza Triturada

* El material reciclado se calentó y compactó sin aditivos o agregados nuevos.

TABLA 3 - RESUMEN DE LOS RESULTADOS DE LA PRUEBA ESTÁTICA

Distrito	Preparación	Tratamiento	Número de Especímenes	Resistencia Última a la Tensión			Módulo Elástico de Elasticidad			Valor Elástico de Poisson	
				Promedio N/cm ²	Kgs/cm ²	Coefficiente de Variación %	Promedio 10 ⁵ N/cm ² (10 ³ Kgs/cm ²)	Coefficiente de Variación %	Promedio	Coefficiente de Variación %	
III 20	Laboratorio	2.7% CA-5	3	156	15.8	7	133	13.04	24	0.12	72
		3.0% CA-5	2	104	10.5	-	61	10.23	--	0.09	--
		2.4% CA-5	2	156	15.8	-	143	14.62	--	0.09	--
		2.1% CA-5	2	176	17.3	-	185	13.30	--	0.17	--
		1.6% CA-5	2	191	15.9	-	220	22.17	--	0.11	--
		1.5% CA-8	3	84	8.5	12	97	8.75	10	----	----
		0.30% R									
		3.1% CA-9	2	136	13.8	-	132	13.37	--	----	--
		0.25% R									
		2.7% CA-8	4	146	14.8	4	147	14.91	34	----	--
		0.34% R									
		2.3% CA-8	4	174	17.6	11	193	19.25	27	----	--
		0.34% R									
		3.5% CA-8	2	137	13.9	-	98	9.24	--	0.14	--
		2.3% CA-8	2	217	22.1	-	235	15.45	--	0.17	--
		2.5% CA-9	2	181	18.3	-	165	16.73	--	0.13	--
		Media *	3	191	19.4	14	201	20.39	37	----	--
		Media *	3	220	22.3	4	270	27.44	6	----	--
2.1% CA-8	3	147	14.9	3	169	17.15	7	0.07	15		
1.6% R	3	124	12.6	7	153	15.54	10	0.20	3		
1.6% R	3	90	9.3	23	101	10.22	25	0.27	22		
1.0% AF	3	109	11.0	23	95	9.65	16	0.24	13		
1.6% AF	3	82	8.3	4	83	8.40	22	0.25	11		
I 21	Cauce	1.6% AF	3	86	8.8	4	77	7.77	10	0.30	17
		2.0% AF	3	104	10.5	8	90	9.11	26	0.31	11
		2.0% AF	3	85	8.9	3	69	7.00	10	0.28	10
		1.6% R	3	130	13.2	2	84	8.48	4	0.33	10
		1.6% R	3	128	13.0	11	97	9.93	33	0.33	10
		2.5% CA-8	3	165	16.7	5	124	12.53	4	0.24	10
		2.0% CA-8	3	171	19.4	2	147	14.91	6	0.23	10
		2.0% CA-8	3	154	15.61	3	119	12.04	10	0.32	10
I 21	Carreteras	1.5% CA-20	7	56	5.67	39	40	3.03	55	0.03	40
Intervalo				56 - 720 (41 - 373)	2 - 23	40 - 240 (57 - 392)	6 - 55	0.03-0.37	3-71		

Tabla 4 - (CONTINUACION)

Tipo de Obra	Propiedades	Tratamiento	Nivel de Esfuerzos		Número de Especímenes	Módulo de Resiliencia Instantánea			Valor de Poisson para Resiliencia			
			N/cm ²	Kgs/cm ²		Promedio 10 ³ N/cm ² (10 ³ Kgs/cm ²)	Coefficiente de Variación	Promedio	Coefficiente de Variación			
Laboratorio		Nada	57	5.8	2	692	70.21	-	---	---		
			40	4.1	2	465	47.18	-	---	---		
		2.5% CA-3	38	3.9	3	310	31.50	6	0.34	19		
			26	2.7	3	313	31.78	5	0.37	20		
		1.0% R	40	4.1	3	337	34.23	8	0.41	17		
			20	2.0	2	305	30.94	-	---	---		
		1.6% R	20	2.0	3	246	24.39	16	0.68	17		
			12	1.2	3	228	23.17	15	0.52	22		
		1.0% AF	38	3.9	3	278	28.71	5	0.41	30		
			26	2.7	2	245	24.25	-	0.35	---		
		1.6% AF	20	2.0	3	211	21.47	5	0.51	7		
			14	1.4	3	184	18.69	12	0.36	25		
		Campo		1.6% AF	28	2.9	3	172	17.43	5	0.39	15
					13	1.3	3	217	21.98	5	0.43	3
				2.0% AF	40	4.1	3	200	20.30	5	0.32	21
	16			1.6	3	188	19.02	6	0.22	38		
2.0% AF	30			3.1	3	174	17.64	3	0.33	24		
	13			1.3	3	207	21.00	10	0.25	25		
1.6% R	26			2.7	3	265	26.88	2	0.32	13		
	20			2.0	3	261	26.46	9	0.35	12		
1.6% R	51			5.2	2	275	27.93	-	0.37	11		
	20			2.0	2	237	24.08	-	0.30	---		
2.5% CA-3	50			5.0	3	305	30.94	5	0.31	27		
	30			3.1	3	285	28.91	12	0.17	11		
3.0% CA-3	50	5.0	3	330	33.46	9	0.20	8				
	28	2.9	3	339	34.44	6	0.15	10				
3.0% CA-3	40	4.1	3	358	36.33	7	0.35	15				
	25	2.5	3	307	31.15	3	0.30	3				
Corazones		15% CA-20	15	1.5	5	224	22.75	9	0.33	4		
			11	1.1	6	260	26.39	6	0.35	31		
Intervalo						172 - 346 (249 - 797)	2-16	0.04-0.65	3-50			

El material reciclado se calentó y compactó sin aditivo o agregado nuevo.

= Roclenite

= Aceite fluidificante

20

29



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

SEGUNDO CURSO, DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

ANALISIS DE SENSIBILIDAD EN EL ESTUDIO DE CARRETERAS

-Aplicación de la Computación en Pavimentos-

M. en C. Rodolfo Téllez Gutiérrez

SEPTIEMBRE, 1983

Dentro de las ramas de la Ingeniería civil, pueden considerarse a las vías terrestres como fundamentales para el desarrollo de un país. Por los beneficios socioeconómicos que generan, la magnitud de la inversión que representan, el tiempo que deben mantenerse prestando un servicio adecuado, etc., es claramente palpable la importancia de su correcta planeación, diseño y construcción.

El diseño de pavimentos para carreteras y aeropistas involucra estudios complejos de suelos y materiales, su comportamiento bajo cargas y su habilidad para soportar el tránsito durante todas las condiciones climatológicas a lo largo de su vida de diseño útil.

El campo de diseño de los pavimentos debe ser dinámico conforme a la tecnología cambiante día con día y por los requerimientos impuestos por el creciente tráfico aéreo y carretero y las sobrecargas involucradas. En el pasado, la "regla del dedo" basada en experiencias previas gobernaba y tipificaba los diseños. Durante el período de 1920 a 1940, los Ingenieros se concentraron en evaluar propiedades estructurales de los suelos, por lo que fué posible conseguir gran cantidad de información y datos que permitieron desarrollar teorías y modelos realísticos en el diseño de pavimentos.

Experimentos masivos a gran escala, como BATES, WASHO y AASHO, definieron los derroteros a seguir por muchos años resultando en mé-

03

Existen programas de computadora muy versátiles para pavimentos de caminos y aeropistas. Constantemente son experimentados y actualizados para cumplir con sus objetivos eficientemente. Los hay para sistemas múltiples de capas que sirven para estudiar con detalle esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles y rígidos. Estos programas permiten analizar cada capa componente de la estructura y también la consideración de cargas múltiples repetidas en el diseño. Predicciones de fatiga son analizadas con precisión.

El ingeniero de diseño debe tomar en cuenta los costos iniciales de construcción, de mantenimiento, intereses, amortización, etc. etc., para integrar un sistema de aproximadamente 50 variables básicas de entrada al programa. Entonces, con el auxilio de la computadora se obtendrían múltiples alternativas de diseño de entre las que se seleccionarían aquellas óptimas basadas en el costo mínimo.

No debe olvidarse la importancia del criterio y experiencia del ingeniero especialista al llevar a cabo los pasos previos al proceso de computación, contemplados en la "metodología mecánica" del sistema de pavimentos:

I) INVESTIGACION DE CAMPO

{ pruebas no destructivas
medición de deflexiones
inventario de condiciones existentes
muestreo de materiales

05

El Instituto del Asfalto reconoció estas limitaciones y diseñó recientemente el programa de computadora MS-11-A para el diseño de pavimentos flexibles en aeropistas, que estando actualizado para todo tipo de aeronaves, cargas y operaciones, permiten al ingeniero obtener diferentes alternativas de diseño estructural, costos, rehabilitación programada, etc. en un tiempo mínimo de aprox. 30 segundos de ejecución del programa. Esto representa una ventaja adicional al poderse modificar valores numéricos y restrictivos para analizar diferentes condiciones de análisis y así obtener el diseño óptimo a un costo mínimo.

Ahora bien, debemos recordar que la computadora siendo una herramienta de mucha utilidad, a final de cuentas es una máquina compleja que estará sujeta al criterio y arbitrio del ingeniero diseñador por lo que se refiere a programación.

La programación requiere de reglas básicas a seguir y lenguajes sofisticados, por lo que el ingeniero debiera conocerlas para no cometer errores que por ejemplo, lo lleven a un loop sin término, (infinite-loop), ó a la no ejecución del programa por usar valores fuera de límite, ó a consumir un tiempo excesivo en la ejecución del programa (p.e. 300 segundos). Es primordial la investigación cuidadosa de datos básicos para las variables de entrada al programa y el mantener actualizados los programas de computadora para diseño, conforme a la dinámica cambiante en esta tecnología y conforme a las necesidades particula-

tas limitativas (ruptura, distorsión, desintegración, etc.)

Entre los procesos de respuestas primarias y limitativas, se analizan las propiedades de la sup. rodante a deslizamiento, rugosidad, tracción, etc. En el caso de aeropistas, a la altura de este nivel se procesan las variables restrictivas de ruido, polución y congestión.

Del modelo estructural básico o primario, se desprende otro submodelo que analiza criterios de decisión en base a la disponibilidad de — fondos, seguridad de operación, confort, costos de mantenimiento y de usuarios, que serán evaluados y sopesados para cada alternativa y junto con el resultado del primer modelo mecánico, se integrará para nuevo análisis y selección de alternativas, cuya combinación y selección serán impresas finalmente para su revisión y decisión.

Como ejemplo de aplicación práctico, se menciona el programa de computadora LVR (Low Volume Roads) para diseño de caminos revestidos y pavimentados de bajo costo y bajo volumen, que en su última versión maneja eficientemente 50 variables, que al ser procesadas durante la ejecución del programa en aprox. 22 segundos, se obtienen 40 alternativas de diseño basadas en costo mínimo, incluyendo costos finales y periodicidad y tipo de rehabilitación o refuerzo para cumplir perfectamente con la vida útil de diseño especificada.

09
LISTADO DE PROGRAMAS DISPONIBLES

(9

NOMINACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
FPS-2	FLEXIBLE PAVEMENT SYSTEM	Diseñar sistemas de Pavimentos Flexibles	123 U.S. Dept. of Transp CFHR, Univ. of Texas Austi Texas A M Univ. Texas Highway Dept.
LVR 1-11	LOW VOLUME ROADS	Diseño caminos revestidos y pavimentados flexibles para bajo volumen, de bajo costo.	60 U.S. Forest Service, Dept. of Agriculture U. Texas at Austin C.A.T.S.
MS-11-A	COMPUTER PROGRAM FOR ASPHALT PAVEMENTS FOR AIR CARRIER AIRPORTS	Diseño de pavimentos flexibles para aeropuer	1973 The Asphalt Institute U.S.A.
RPS-2	RIGID PAVEMENT SYSTEM 2	Diseño de pavimentos rígidos de concreto hidráulico	123-21, 1974 Texas Transportation Institute Texas A M Univ. Univ. of Texas at Austin Texas Highway Department
TMA	TRAFFIC MIX ANALYSIS	Predicción de tráfico - aéreo para el diseño - de aeropistas y cargas equivalentes.	The Asphalt Institute, U. S. A.
MODIAS 1-10	MODULUS OF ELASTICITY	Caracterización de materiales, analizando - propiedades elásticas.	Center for Highway Research. Council for Advanced Transportation Studies
CRCP-1 CRCP-2	CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE PAVEMENT	Diseño de pavimentos rígidos de concreto - reforzado o armado - continuo sin juntas, para aeropistas y carreteras.	177.- Center for Highway Research Austin Research Engs. Texas Highway Dept. FHWA

PROGRAMAS DE APOYO A LOS ANTERIORES

DENOMINACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
ACAP-1 ACAP-2	Airport Capacity Analysis Airport Capacity Analysis	Analisis y Diseño Capacidad en base al tráfico aéreo de aero- puertos	University of Texas at Austin CFHR CATS
GEOPRO SIMPRO TEXAS MODEL	A Geometric Processor Simulator Process Texas Model	Tráfico y su análisis para intersecciones de carreteras y ur- banas.	Texas Highway Dept. F A A FIWA

13

FPS 2 FLEXIBLE PAVEMENT SYSTEM 2

El programa de computadora para sistemas de pavimentos flexibles - No. 2, auxilia a los Ingenieros de diseño para entender los efectos de las diferentes variables que intervienen en el diseño de un pavimento del tipo flexible de una manera más eficiente.

Está basado en el criterio de diseño por deflexiones, las cuales son obtenidas en el campo a través de empleo de equipos de evaluación tales como Dynaflect y Viga Benkelman.

Los valores obtenidos de deflexiones en los diferentes tramos seleccionados junto con datos de tránsito para ejes equivalentes, factores de clima, resistencia de los materiales por emplear, etc. esto es, - variables de diseño, de limitaciones, junto con variables de costos, totalizan 45 diferentes tipos de datos básicos de entrada para resolver el programa y obtener de una manera eficiente, rápida y precisa diferentes alternativas de diseño de la estructura total del pavimento flexible y sus costos respectivos.

Se obtienen además, dentro del período de diseño de vida útil del pavimento, el número y tiempo a efectuar de refuerzos necesarios para asegurar metas de duración de la estructura.

15

IVR, LVR 11 LOW VOLUME ROADS

El diseño de pavimentos de bajo costo y para bajos volúmenes de tránsito es un procedimiento complejo que involucra numerosas variables. La complejidad de interacción entre ellas se ha ido solucionando gracias a mejores informaciones de campo y a programas de computadora tales como el "LVR" "Caminos de bajo volumen".

Desde su creación en 1974 se ha ido mejorando y modificando, hasta llegar a la versión "IVR-11", de enero 1979, considerada como uno de los programas óptimos para diseño de carreteras económicas.

En términos generales, este programa de computadora puede ser utilizado para calcular los diseños más económicos y favorables para pavimentos con carpeta asfáltica.

Pero además, este programa está diseñado para resolver caminos revestidos con grava que cumplen con ciertos requerimientos especificados por el ingeniero diseñador. Como ejemplo de estos requisitos pudleramos mencionar la vida de diseño deseada, restricciones referentes a costo inicial de construcción, frecuencia de las rehabilitaciones, etc.

17

Es importante hacer notar que dentro de los resultados obtenidos — cuando se usa este programa, se tienen 40 diferentes diseños óptimos para las condiciones especificadas desde el inicio, en orden progresivo, desde el "diseño óptimo estructural con el mínimo costo" hasta la alternativa 40, lo que permite al ingeniero diseñador — elegir una o varias alternativas que sean totalmente compatibles a sus necesidades y presupuesto, que a final de cuentas regirán la — decisión final.

Listado =

Proyecto No. 60

U.S. Forest Service

Depto. Agricultura

Council for Advanced

Transport. Studies

University of Texas at

Austin.

19

Con algunas modificaciones a seguir se puede operar el programa en computadoras IBM-360, 370 o CDC-6000 series.

Básicamente el programa sigue los pasos enumerados a continuación:

- 1 rutina principal
- 8 subrutinas que desarrollan 5 funciones:
 - a) leer datos de entrada
 - b) solucionar valores admisibles de tráfico
 - c) solucionar valores predicibles de tráfico
 - d) determinar espesores de diseño
 - e) determinar requisitos de sobrecarpeta o rehabilitación

Listado: MS-11-A 1973

Computer Program for Full-
Depth Asphalt Pavements for
Air Carrier Airports
The Asphalt Institute, U.S.A.

21

El sistema empleado por este programa está basado en métodos empíricos del Cuerpo de Ingenieros para pavimentos de aeropistas, en especial cuando se analizan los refuerzos por sobrecarpetas.

Listado:

Reporte No. 123-21, Enero 1974

T T I

T A M

U T

T H Department

23

cual ejemplifica la efectividad de este programa de computadora.

Listado:

Traffic Mix Analysis, Computer Program

The Asphalt Institute U.S.A.

25

C R C P - 1 CONTINUOUSLY REINFORCEDC R C P - 2 CONCRETE PAVEMENT

Dentro de los pavimentos existentes a la fecha, tanto para carreteras como para aeropistas, el pavimento de concreto reforzado sin juntas es considerado como el óptimo, el más caro inicialmente pero el — más barato y el mejor a largo plazo. Algunos técnicos lo llaman — "zero maintenance", o sea cero mantenimiento mayor a lo largo de — la vida útil del pavimento.

El programa de computadora CRCP-1 y el actualizado CRCP-2 diseñan este pavimento premium; — con base a variables de entrada tales como factores regionales de ambiente, temperaturas, tráfico, costos, resistencias de materiales, etc., el programa analiza diferentes al— ternativas estructurales y costos, resultando en las más idóneas.

En la versión actualizada CRCP-2, el programa de computadora analiza detalladamente el diseño de pavimentos reforzados de concreto contínuos basados en contracciones de los materiales y caídas de la temperatura ambiental.

PLOT 2 DEFLECTION PROFILE PROGRAM

Para el correcto diseño de un pavimento o su rehabilitación, se requieren datos, pruebas, información y mediciones de campo que se rán parámetros básicos.

Con tal información obtenida, el programa PLOT 2 calculará y dibujará el contorno o espectro de las deflexiones medidas, que junto con las observaciones en el campo de la condición existente del pavimento (sup. de rodamiento), permitirán conocer de antemano tres puntos fundamentales:

- 1) pavimento c /vida remanente potencial
- 2) pavimento severamente agrietado que no pueda tener vida remanente
- 3) pavimento que falle totalmente aún antes de reforzado.

Cuando se tienen evaluaciones por realizar en pavimentos de longitud considerable, este programa demuestra obviamente los beneficios al ahorrar muchísimo tiempo en el proceso de obtener el espectro total - de las deflexiones obtenidas p.e. Dynaflect o Viga Benkelman.

Listado:

PLOT 2 Computer Program
of FHWA "Design Procedure"
DOT, U.S.A.

RPOD 1 RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN

El programa de computadora para diseño de sobrecarpetas en pavimentos rígidos fue desarrollado por ARE, Inc. para la Administración Federal de Carreteras de los EE.UU.

Este programa de computadora es básicamente un método de diseño para evaluar y diseñar los espesores requeridos de las sobrecarpetas en pavimentos rígidos, basado en valores estructurales del pavimento existente y su vida restante o remanente. La evaluación de las capas está basada en criterios de falla por fatiga.

El ingeniero diseñador deberá especificar módulos de elasticidad, espesores de capas existentes, relación o módulo de Poisson, deflexión característica permisible, tráfico, etc. El número de variables que intervienen varía pero no excede de 17. Como resultado, se obtendrá al final del proceso de computación, el espesor requerido de la sobrecarpeta o refuerzo para soportar el tráfico proyectado durante el periodo de vida útil por diseñar.

Listado: RPOD - 1
Rigid Pavement Overlay Design
Computer Program

Proyecto: FHWA-RD-77-66, 67

31

REFLOR - 1 REFLECTION CRACKING PROGRAM

El programa de computadora sobre grietas reflejadas está diseñado - principalmente para proporcionar un procedimiento racional de evaluación de susceptibilidad a las grietas reflejadas en la sobrecarpeta.

Trabaja esencialmente en sobrecarpetas de concreto asfáltico para pavimentos rígidos, pero se adapta también para otros tipos de refuerzo. El proceso calcula deformaciones horizontales (térmicamente inducidas), esfuerzos de tensión, cargas verticales y deformaciones - producto de esfuerzos cortantes debido a deflexiones diferenciales - en discontinuidades del pavimento existente.

El método sugiere que las deformaciones calculadas sean comparadas con las máximas permitidas.

Información adicional básica es necesaria tal como:

- espaciamiento entre grietas
- espaciamiento entre juntas
- movimiento horizontal de la losa a diferentes temperaturas
- deflexiones diferenciales verticales

Junto con los programas de computadora PLOT-2, TVAL-2, RPOD 2,

PROGRAMAS VARIOS REFERENTES A DISEÑO DE PAVIMENTOS EMPLEANDO TEORIA ELASTICA LINEAL PARA MULTIPLES CAPAS.

Existen en la actualidad, diferentes y sumamente valiosos programas de computadora, como herramienta fundamental para el ingeniero de diseño, en donde se utilizan básicamente teorías elásticas para múltiples capas en diseño de pavimentos carreteros y aeroportuarios.

El criterio de falla, con diferentes hipótesis reconocidas, ha sido introducido en estos modelos o programas junto con teorías elásticas de esfuerzo - deformación y predicción de esfuerzos.

Programas como ELSYM-5, SLAB-30, SLAB-49 son muy útiles para diseños normales, pero tienen limitaciones en cuanto al número de capas componentes. En cambio, los programas CHEVRON y SHELL BISTRO pueden aceptar un sinnúmero de capas componentes de la estructura total.

En el diseño de pistas del aeropuerto Internacional de Dallas - Ft Worth, fueron empleados los programas de CHEVRON y SHELL BISTRO obteniéndose magníficos resultados.



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

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

DISEÑO DE PAVIMENTOS EN AREAS URBANAS

ING. MANUEL ZARATE AGUIÑO

SEPTIEMBRE, 1983

" DISEÑO DE PAVIMENTOS EN AREAS URBANAS "

El notable incremento de la población de nuestro País, se ha traducido a su vez en un crecimiento desmesurado de las áreas urbanas existentes, así como en la planeación y construcción de nuevos centros urbanos. Este fenómeno se encuentra aparejado con necesidades de orden social, económico, cultural, etc., que es necesario satisfacer muchas veces en situaciones muy adversas, fundamentalmente por la falta de recursos económicos para éllo.

De esta manera es frecuente observar el crecimiento de áreas urbanas en las que es palpable la carencia de viviendas, empleos, servicios, etc., problemas que no pueden ser resueltos satisfactoriamente, por demandar para éllo la aplicación de fuertes inversiones, que en numerosas ocasiones no pueden realizarse a nivel municipal, o bien, deben diferirse realizándose a un ritmo menor que el correspondiente a la demanda.

En el renglón de servicios municipales, destaca el relativo a la pavimentación de calles y avenidas, no sólo por la importancia que en sí reviste desde el punto de vista urbanístico, sino por el monto de la inversión inicial requerida y sobre todo, por el correspondiente al costo de conservación y mantenimiento.

ral o sobre una capa subrasante. La superficie de rodamiento puede ser una carpeta de concreto asfáltico, losa de concreto hidráulico o adoquines.

Para propósitos de diseño, el ingeniero debe contar con la información y herramientas necesarias para lograr un diseño adecuado del pavimento.

La información de partida o parámetros de diseño presentan las condiciones bajo las cuales el pavimento debe funcionar durante su vida útil.

Los parámetros de diseño pueden clasificarse en los grupos siguientes:

Parámetros de : Tránsito y cargas
 ambientales
 de construcción
 de diseño estructural
 de mantenimiento
 operacionales
 restrictivos

A continuación se comentarán brevemente los aspectos principales que constituyen los parámetros, analizados desde un punto

Existen situaciones en que el tránsito tiene variaciones notables durante el año, coincidiendo por ejemplo con período de cosechas, de producción o turismo, que es conveniente tomar en cuenta. Así mismo, puede ocurrir que el tránsito pesado se canalice por un carril determinado, o bien que transiten vehículos cargados en un sentido y descargados en el otro.

Igualmente es conveniente tomar en consideración el tránsito de construcción, que en ocasiones llega a ser el más importante en la vida de un pavimento.

2.- Parámetros Ambientales.- Entre los principales pueden señalarse los siguientes:

- Tipo de suelo
- Topografía
- Régimen pluviométrico
- Drenaje superficial y subdrenaje
- Temperatura ambiente.

Puede mencionarse que los parámetros incluidos en este grupo son muy importantes, ya que influyen con carácter principal en el diseño de un pavimento. Es por ello necesario identificar los tipos de suelos sobre los que se construirán los pavimentos y caracterizarlos mediante las pruebas de la

- Control de Calidad
- Experiencia del personal
- Disponibilidad del equipo

Como puede verse, estos parámetros pueden llegar a desechar un diseño o tipo de pavimento, por ejemplo uno de tipo rígido en una región en que no se cuente con los recursos necesarios para producir un concreto hidráulico de calidad, o bien un pavimento flexible con carpeta de concreto asfáltico, si en las cercanías no existe una planta que lo produzca.

A propósito del control de calidad, conviene hacer hincapié en que éste debe tener un carácter preventivo, y como tal, debe iniciarse con el proyecto mismo. De esta manera, el control de calidad debe comprender aspectos que cubren desde selección de contratistas, pasando por estudio de bancos hasta revisión de especificaciones, tolerancias y pruebas. Por otra parte, el control de calidad debe ser ejercido por todos los que participan en el proyecto y no solamente por el organismo encargado de su control.

4.- Mantenimiento.- Pueden señalarse los siguientes:

- Nivel de mantenimiento

lo tanto, que se lleve a cabo una utilización inteligente de los materiales, incluyendo prácticas de estabilización y tratamiento de los materiales con cemento portland, cemento asfáltico y otros productos, para mejorar la calidad de los materiales.

6.- Parámetros Operacionales.- Se refieren a los siguientes aspectos:

- Control de tránsito durante la construcción
- Control de tránsito durante mantenimiento
- Control de tránsito durante la reconstrucción
- Comodidad para el usuario.

Contemplan aspectos en que se ve involucrado el usuario, y su importancia aumenta en la medida en que crece el tránsito, ya que en estas condiciones la intensidad del mismo impide efectuar trabajos de mantenimiento. Se tiene así mismo el aspecto de la comodidad con que el usuario transita, lo cual debe también vigilarse, a través de la calidad de rodamiento atribuida a cada diseño.

7.- Parámetros restrictivos. Se pueden mencionar los siguientes:

- Máximos costos admisibles, a niveles inicial, mantenimiento y operacional.
- Vida de diseño
- Lapso para la primera reconstrucción importante.
- Lapsos entre reconstrucciones importantes.
- Impacto en el ambiente.

Se refieren fundamentalmente a aspectos económicos como puede verse, así como a las interferencias que se produzcan en el tránsito motivadas por trabajos de mantenimiento. Asimismo puede

vida útil suele ser muy reducida, lo cual debe preocuparnos seriamente a los ingenieros, ya que quizás seamos los profesionales que mayor influencia y responsabilidad tenemos en este aspecto. Son múltiples las causas de esta situación; quizás las más importantes sean las siguientes:

- a.- Falso concepto de la economía. Queremos a toda costa -- construir pavimentos baratos, sin caer en la cuenta de que esto, como regla general, conduce a una actitud nefasta, aún cuando en apariencia tratamos de justificarla aduciendo falta de recursos económicos, lo cual no deja de ser un sofisma.
- b.- Cierta falta de conciencia en la importancia que tiene la aplicación de la tecnología apropiada, tanto en el proyecto como en la Construcción del mismo. A menudo los pavimentos son construídos sin ningún estudio previo, siguiendo el juicio personal de algún ingeniero, no siempre suficientemente calificado, o incluso de algún sub-profesional que aplica su propia intuición.
- c.- En los mejores casos, cuando se llega a disponer de un proyecto adecuado, el control de calidad durante la obra suele dejar mucho que desear, con el consiguiente demérito.
- d.- Reglamentación de fraccionamientos.
- e.- Comunicación entre técnicos y planificadores con economistas.

Las normas establecidas por una comunidad para diseñar y construir sus calles, deben asegurar que los pavimentos tengan un largo período de vida útil, con poco mantenimiento. El exceso de mantenimiento que requieren los pavimentos inadecuados (tales como bacheo y aplicación periódica de capas de sello), constituye una fuga innecesaria del dinero de los impuestos. Si la inversión se hace construyendo pavimentos adecuados de concreto hidráulico en los que se tienen períodos de vida útil mayores de 50 años, y gastos reducidos de mantenimiento se pueden tener ahorros de dinero que se utilicen en mejoras permanentes del capital.

Los pavimentos de concreto se diseñan considerando tanto el factor económico como un largo período de vida útil. A continuación se presentan los factores relacionados con el diseño de los pavimentos de concreto para lograr el costo anual más bajo posible:

1. Clasificación de calles y de tránsito (incluyendo su volumen y los pesos por eje)
2. Diseño del espesor
3. Vida de diseño
4. Calidad del concreto
5. Resistencia de la sub-rasante y sus características
6. Diseño geométrico
7. Juntas
8. Especificaciones de construcción

CLASIFICACION DE CALLES Y TRANSITO

Los estudios exhaustivos sobre tránsito que se hagan dentro de los límites de la ciudad, pueden proporcionar la información necesaria para el diseño de pavimentos municipales. Una forma práctica de

abordar el problema consiste en establecer un sistema de clasificación de calles. Las calles de características similares tienen esencialmente la misma densidad de tránsito y la misma intensidad de carga por eje. En el presente boletín informativo se utilizan las siguientes clasificaciones de calles:

Calles residenciales ligeras

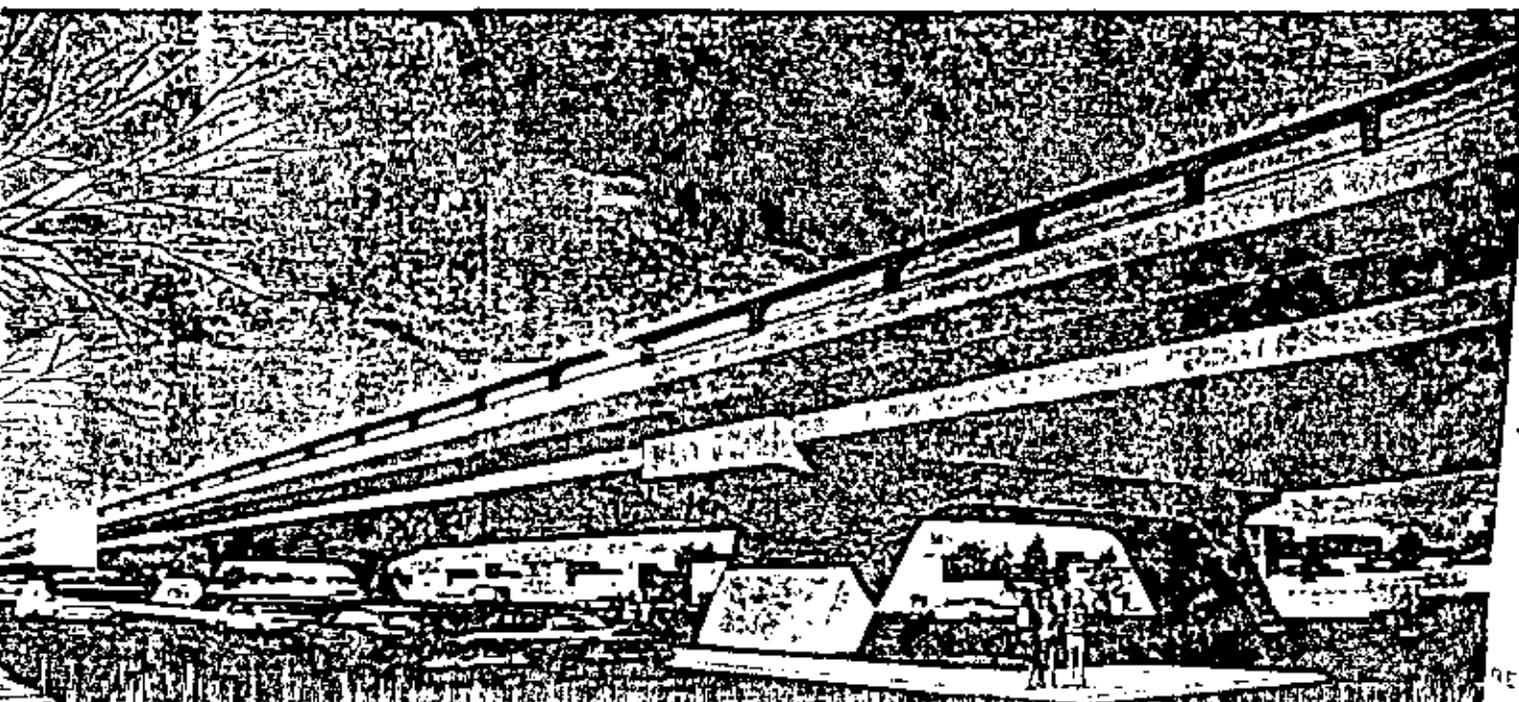
Estas calles no son de gran longitud y sus ramales pueden ser cerradas o retornos. Las calles residenciales ligeras dan servicio a un tránsito generado por unas cuantas casas o lotes (20 ó 30). Los volúmenes de tránsito son bajos, menos de 200 vehículos por día (vpd), de 1^o/o a 2^o/o de tránsito comercial pesado (camiones de dos ejes y seis ruedas o mayores). Los camiones que utilicen estas avenidas deberán tener una carga máxima sobre eje tandem de 16.3 ton y de 9 ton máximas sobre eje sencillo.

Calles residenciales

Estas calles tienen en sus ramales el mismo tipo de tránsito que las avenidas residenciales ligeras, pero dan servicio a más casas (60 a 140), incluyendo a aquellas que se encuentran en calles cerradas. En ciudades con un patrón de urbanización del tipo de rejilla, el tránsito consiste generalmente de vehículos que sirven a los hogares, y ocasionalmente algún camión pesado. Los volúmenes de tránsito varían de 300 a 700 vpd, con un 1^o/o a 2^o/o de tránsito comercial pesado por día (vcppd).

Calles colectoras residenciales

Los colectores residenciales reciben todo el tránsito de las calles residenciales de un área y lo distri-



DISEÑO DEL ESPESOR

Para elaborar un diseño completo es necesario conocer las cargas por eje de vehículos pesados que se esperan durante el período de vida del diseño, así como la resistencia a la tensión por flexión del concreto hidráulico y el valor soporte de la subrasante. A continuación se delinean tres métodos de diseño.

METODO DE DISEÑO 1

Se utiliza la Tabla No. 1 para determinar el rango de espesor del concreto que normalmente se emplea en cada tipo de calle.

METODO DE DISEÑO 2

Al final de este boletín informativo, se proporciona una serie de seis gráficas de diseño. Fueron desarrolladas para una clasificación de calles como se indica a continuación:

Gráficas 1 y 2 para calles residenciales ligeras, residenciales y colectores residenciales.

Gráfica 3 para colectores.

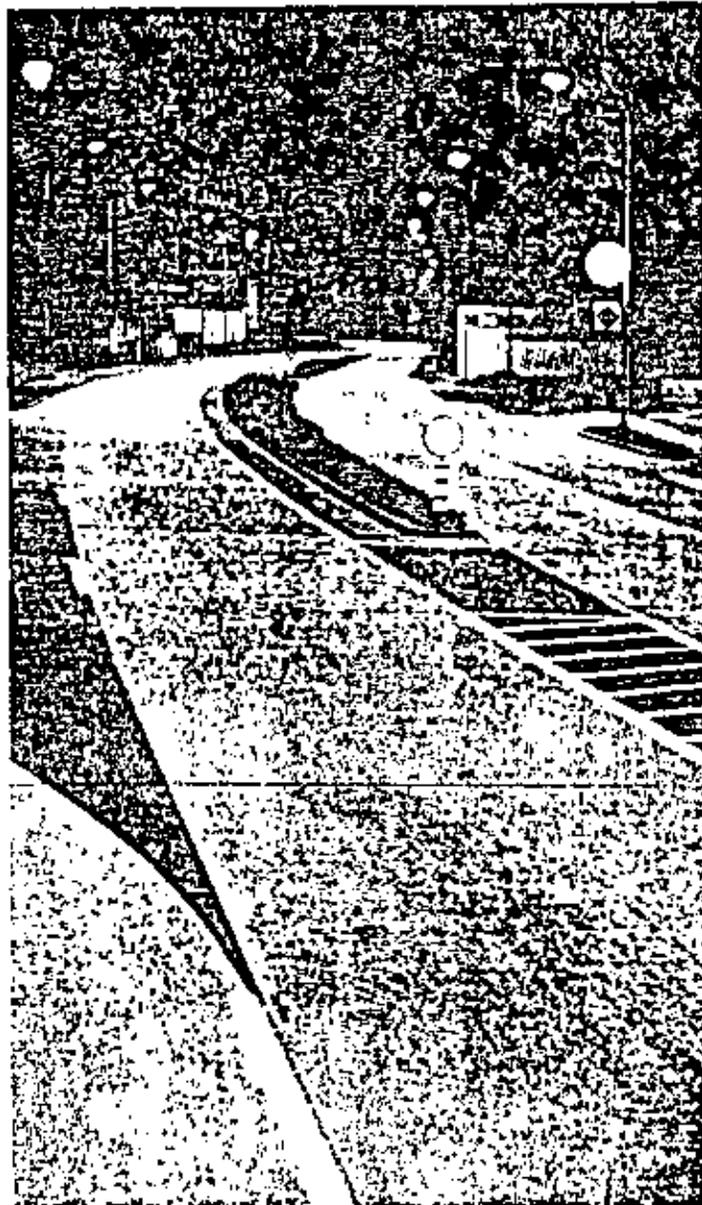
Gráfica 4 para arterias menores.

Gráfica 5 para arterias y calles comerciales.

Gráfica 6 para arterias mayores y calles industriales.

Utilizando la gráfica correspondiente, se procede de la siguiente manera:

1. Encontrar si los pesos máximos por eje, que se muestran en la Tabla No. 1, corresponden a los que operan en la localidad. Los valores de la Tabla No. 1 son razonables, pero probablemente son más pesados que los que se prevén generalmente. 1,2
2. Decidir acerca del período de vida de diseño de la calle.
3. Estimar el porcentaje medio por día de vehículos comerciales pesados que podrían circular en ambos sentidos durante la vida del diseño. Si no se cuenta con esta información, se deberá hacer un conteo del tránsito de camiones pesados. Si no se hace ningún conteo, se puede usar la información sobre tránsito de la Tabla No. 1 como guía. Una alternativa en el caso de calles residenciales, consiste en estimar el número de lotes o casas ubicados en la zona donde la calle dará servicio.



4. Normalmente se utiliza para el diseño el módulo de ruptura (MR) del concreto, a los 28 días de edad. Véase el capítulo denominado "Calidad del concreto".
5. El valor soporte de la subrasante se expresa por medio del módulo de reacción "k". Este módulo de la subrasante se determina mediante pruebas de placa. Asimismo, se puede estimar a partir de pruebas de correlación, o puede obtenerse de las guías, que se dan en la sección "Características y resistencia de la subrasante".
6. Utilizando la gráfica de diseño se entra por el lado izquierdo con el dato de tránsito (vcppd), y se proyecta una línea horizontal hacia la línea MR. En seguida se continúa verticalmente hasta encontrar la línea del valor de "k", y horizontalmente, se llega a la escala que da el espesor de la losa. (La línea punteada en cada gráfica es un ejemplo)



En rutas mayores con carriles múltiples, se debe considerar la distribución de vehículos comerciales en cada carril. Para calles con dos carriles en cada sentido, es razonable suponer que del 85% al 90% de los vehículos comerciales transitarán por el carril derecho.

PERIODO DE VIDA DEL DISEÑO

Conociendo el tránsito, se puede diseñar un pavimento de concreto para cualquier período de vida que se desee, sin embargo, frecuentemente resulta difícil predecir ciertos cambios en el tránsito. Para caminos y calles densamente transitadas, el tránsito futuro puede tener una influencia considerable en el diseño. Por otra parte, los cambios en el tránsito de calles residenciales y poco transitadas, generalmente tienen escaso significado para el diseño. Es común utilizar un período de cincuenta años como base en el diseño de pavimentos, especialmente para las calles clasificadas como residenciales, ya que rara vez se someten a reorganización o realineación. Para los diseños que aquí se presentan, se utilizaron períodos de vida del diseño de 35 y 50 años.

CALIDAD DEL CONCRETO

Las mezclas de concreto para pavimentar se diseñan:

1. Para proporcionar una durabilidad satisfactoria bajo las condiciones a las que se someterá el pavimento.
2. Para producir la resistencia deseada a la flexión.

Ya que los esfuerzos críticos en pavimentos de concreto se deben a la flexión más que a la compresión, la resistencia a la flexión (expresada como MR) se utiliza en el diseño de pavimentos de concreto. Bajo condiciones promedio, el concreto con un MR (ASTM C78, cargadas en los tercios del claro) de 38.5 Kg/cm² a 49 Kg/cm² a 28 días, es el más económico.

En áreas afectadas por heladas, los pavimentos de concreto sujetos a muchos ciclos de congela-

miento y deshielo, deben protegerse contra sales descongelantes⁴. Es esencial que la mezcla tenga una relación baja de agua/cemento, un contenido de cemento adecuado, suficientes cantidades de aire incluido, un curado y un período de secado con aire apropiados. Las cantidades de aire incluido que se necesitan para obtener un concreto resistente al intemperismo varían con el tamaño máximo de los agregados. Se recomiendan los siguientes porcentajes:

Tamaño máximo de los agregados (cm)	Aire incluido (%)
3.81	5 ± 1
1.90 a 2.54	6 ± 1
0.95 a 1.27	7.5 ± 1

Además de hacer más resistente el pavimento de concreto al intemperismo, las cantidades de aire incluido se recomiendan mientras el concreto se encuentra en estado plástico, mejorándolo en los siguientes aspectos:

1. Prevención de la segregación
2. Aumento de la trabajabilidad
3. Reducción del sangrado
4. Reducción de la cantidad de agua necesaria para una trabajabilidad satisfactoria.

Debido a estos benéficos y esenciales efectos tanto en concreto plástico como endurecido, la inclusión de aire se debe incorporar a todos los diseños de las mezclas de pavimentos de concreto.

El agua del mezclado también tiene una influencia crítica en la durabilidad y resistencia del concreto. Cuanto menor sea la cantidad de agua en el mezclado con un determinado contenido de cemento para producir una mezcla plástica y trabajable, mayor será la durabilidad del concreto. La experiencia en el laboratorio y el campo, muestra que para obtener una durabilidad satisfactoria del pavimento, la relación agua/cemento no deberá exceder de 0.53, y el contenido de cemento no debe ser menor de 280 kilogramos por metro cúbico. En áreas donde se presenten frecuentes heladas y deshielos,

Aunque en la mayoría de las calles metropolitanas no se requieren sub-bases en los pavimentos de concreto. En el caso de pavimentos de vías rápidas o arterias por las que transita una cantidad grande de camiones pesados (entre 100 y 200 vcppd en ambos sentidos o más), se necesitan sub-bases para evitar que el material fino de la sub-rasante sea extraído por bombeo. Cuando se necesiten sub-bases, éstas deberán construirse con cuidado.

DISEÑO GEOMETRICO

Servicios

La práctica común en los nuevos ramales, indica que las instalaciones de servicio se coloquen a la derecha del ramal, fuera del área pavimentada para facilitar el mantenimiento y la instalación de nuevos servicios. Se deben evaluar las necesidades presentes y futuras, y tomar provisiones para satisfacerlas. La planeación previa puede evitar que en el futuro se tengan que levantar secciones ya pavimentadas para aumentar las instalaciones de drenaje.

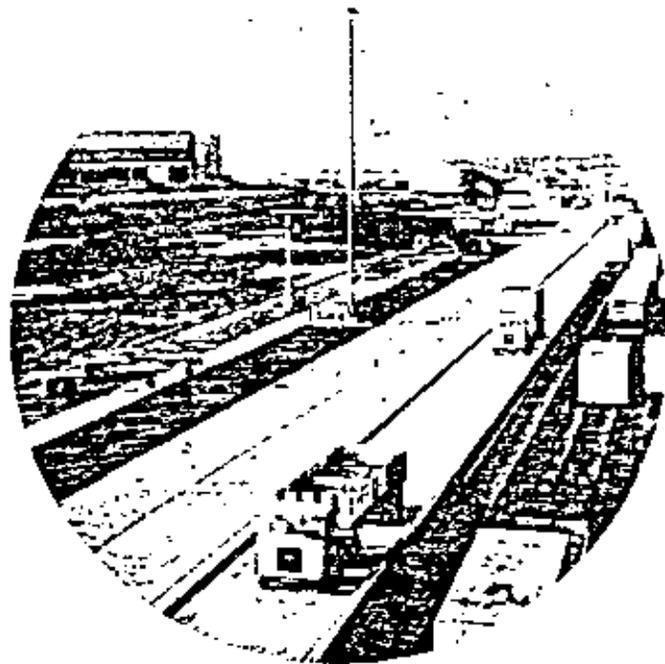
Guarniciones integrales

Una de las formas más prácticas y económicas de construir pavimentos de concreto para las calles metropolitanas, es hacerlas con la guarnición integrada a la sección. Una guarnición integral se construye junto con el pavimento en una sola operación —llevando a cabo todo el trabajo de concreto simultáneamente. La guarnición se construye fácilmente con una cercha y una regla recta mientras se coloca el concreto. Las guarniciones integrales se pueden construir casi con cualquier sección transversal que se desee.

La construcción de guarniciones integrales ofrece al diseñador un factor de seguridad adicional debido al engrosamiento de la sección de la orilla que forma la guarnición. Las tensiones y deflexiones en la orilla del pavimento se reducen, aumentando por consiguiente la capacidad estructural del pavimento. Las ventajas inherentes y la economía de la construcción integral de la guarnición, hacen recomendable su consideración para pavimentos de calles metropolitanas.

Anchos de las calles

Los anchos de las calles varían de acuerdo al tránsito que van a soportar. El ancho mínimo que se recomienda, excepto en casos pocos comunes, es de 7.5 m, con una pendiente transversal máxima de 2 cm por metro. Es deseable que los anchos y pendientes transversales de un mismo carril sean constantes.



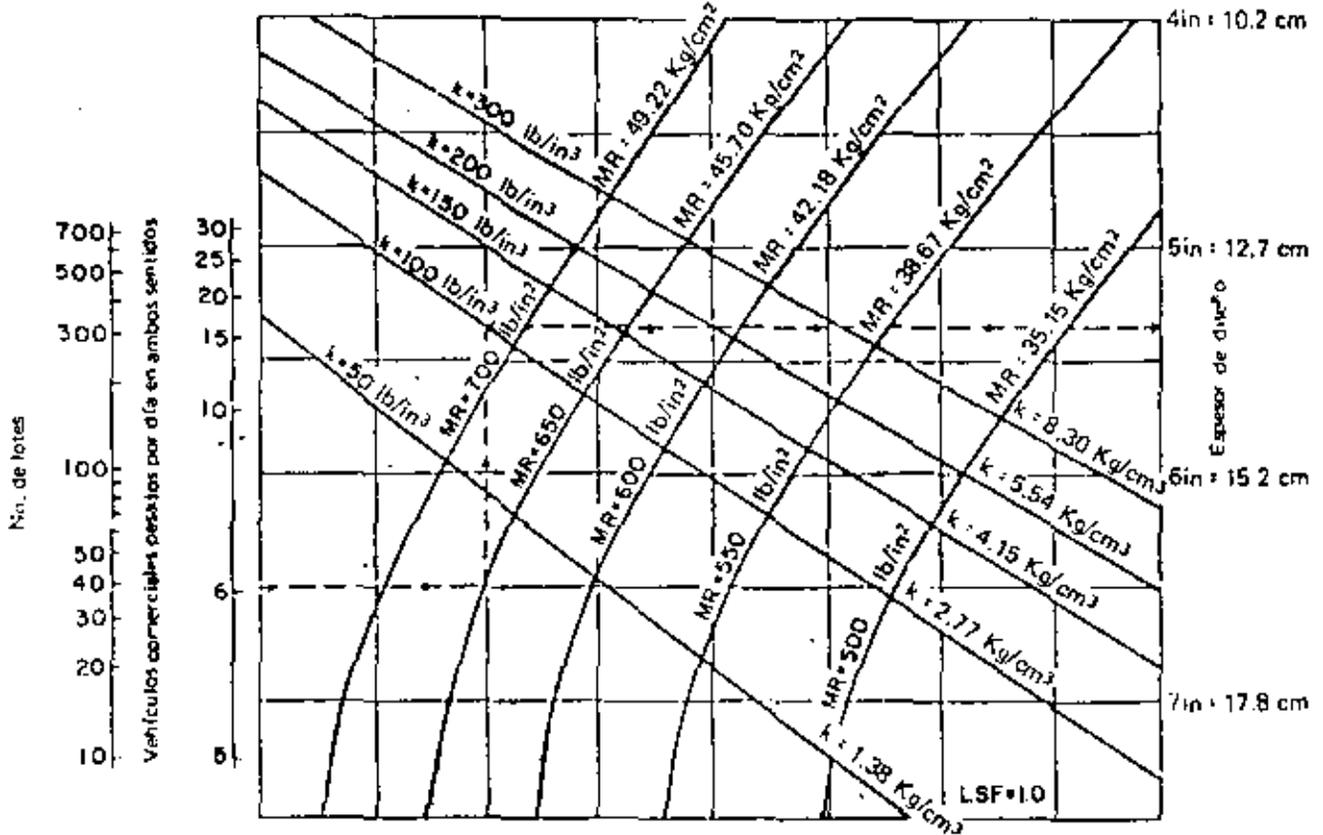
Normalmente, los carriles de tránsito tienen un ancho de 3.05 a 3.66 metros. No se recomiendan carriles con un ancho superior a 3.66 metros porque la experiencia demuestra que los conductores tienden a rebasar en carriles anchos, ocasionando accidentes.

Los carriles de estacionamiento tienen normalmente un ancho de 2.13 a 2.44 metros. Un carril de 2.13 metros se utiliza en los lugares donde predominan los automóviles de pasajeros, el carril de 2.44 metros es para dar acomodo a camiones. No se recomiendan carriles de estacionamiento de 1.83 metros de ancho. En las grandes avenidas, los carriles de estacionamiento tienen un ancho de 3.05 a 3.66 metros y también se pueden usar como carriles de tránsito o retorno.

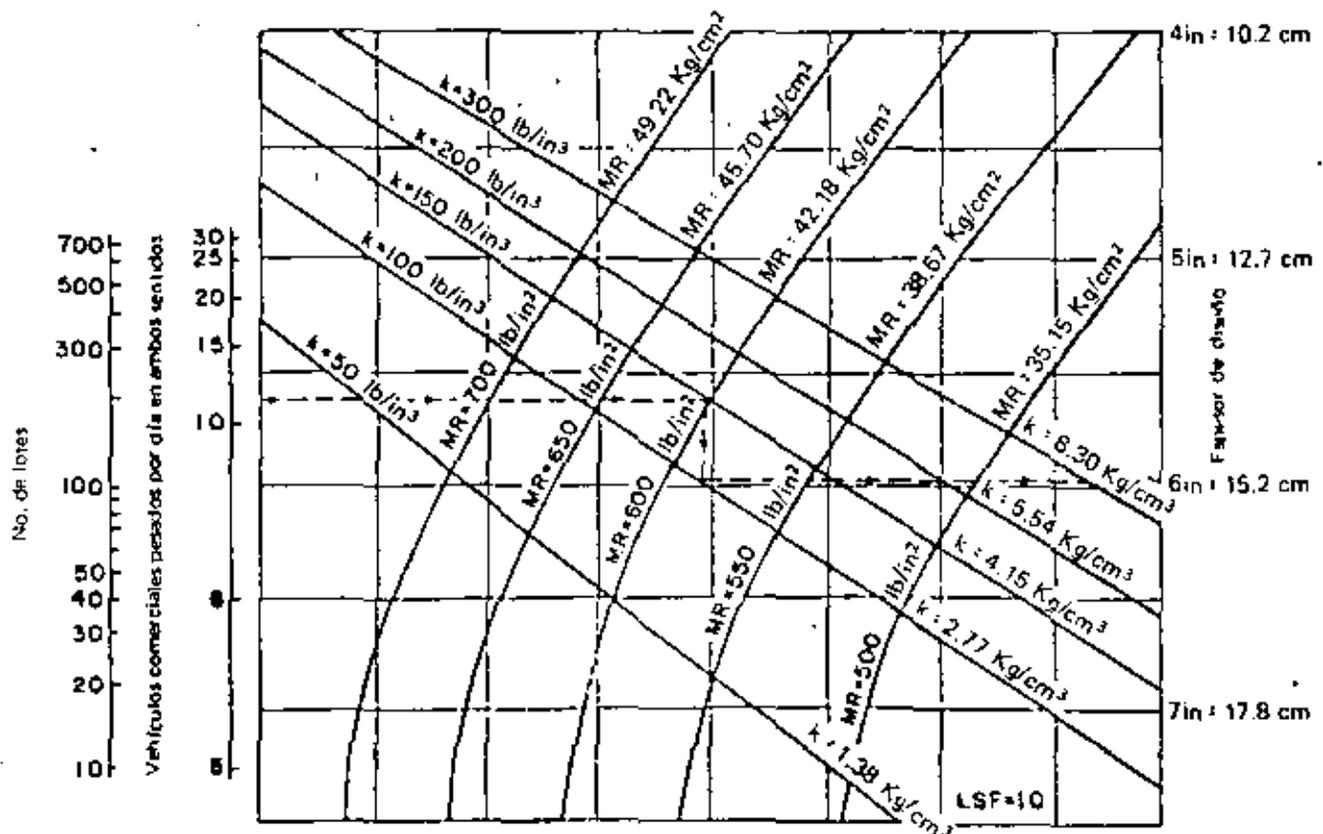
En las calles en las que se prohíbe estacionarse, generalmente se destina un carril de 0.61 metros de ancho a lo largo de la guarnición, como espacio no transitable.

JUNTAS

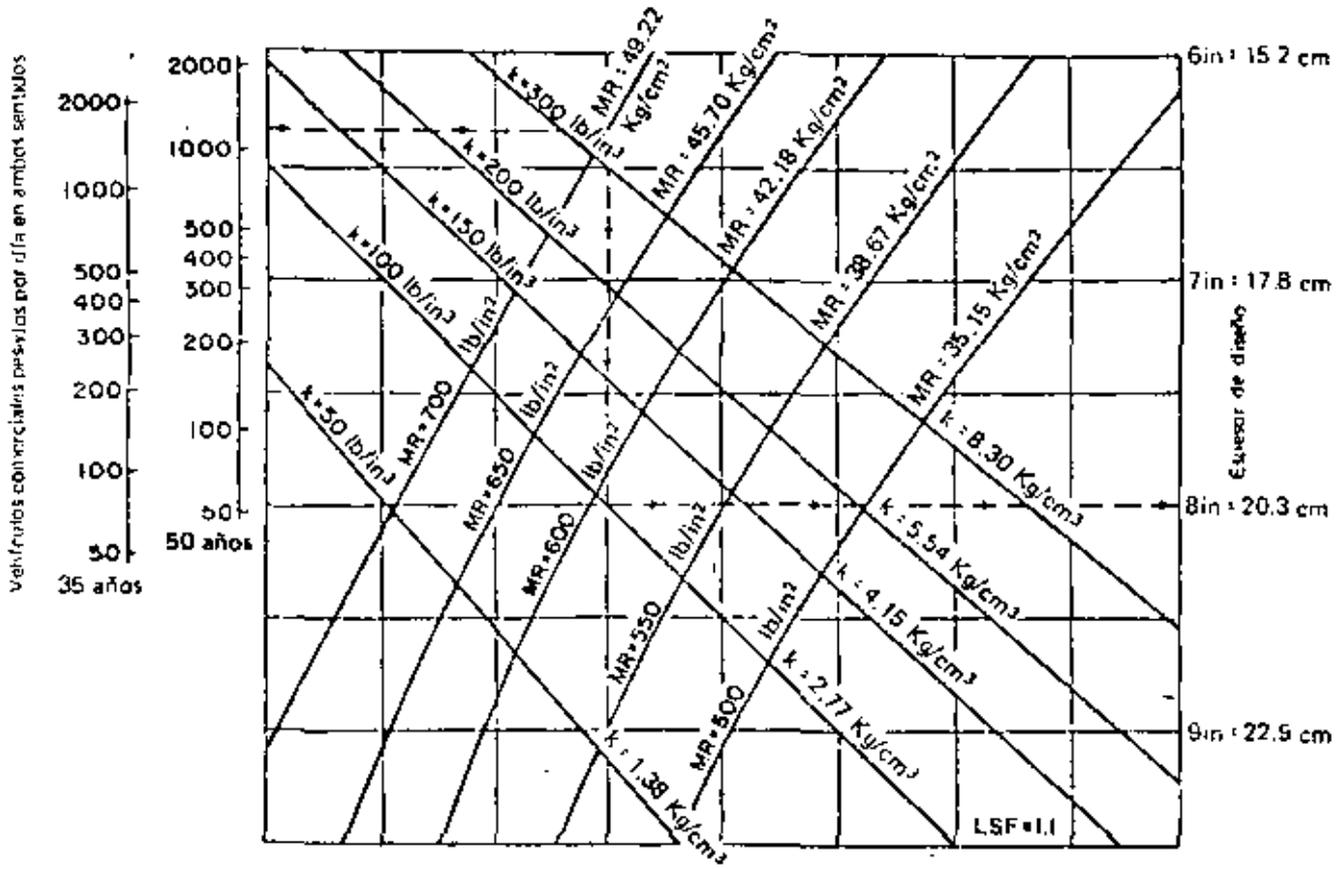
Las juntas deben diseñarse cuidadosamente y construirse de manera que se asegure su buen funcionamiento. Con excepción de las juntas de construcción, que dividen el trabajo de pavimentación en jornadas convenientes, las juntas en pavimentos de concreto se usan para mantener la tensión dentro de los límites de seguridad y evitar la formación de grietas irregulares. En "Pavimento con guarnición integral, secciones típicas y detalles" se dan sugerencias para los detalles de las juntas de calles residenciales.



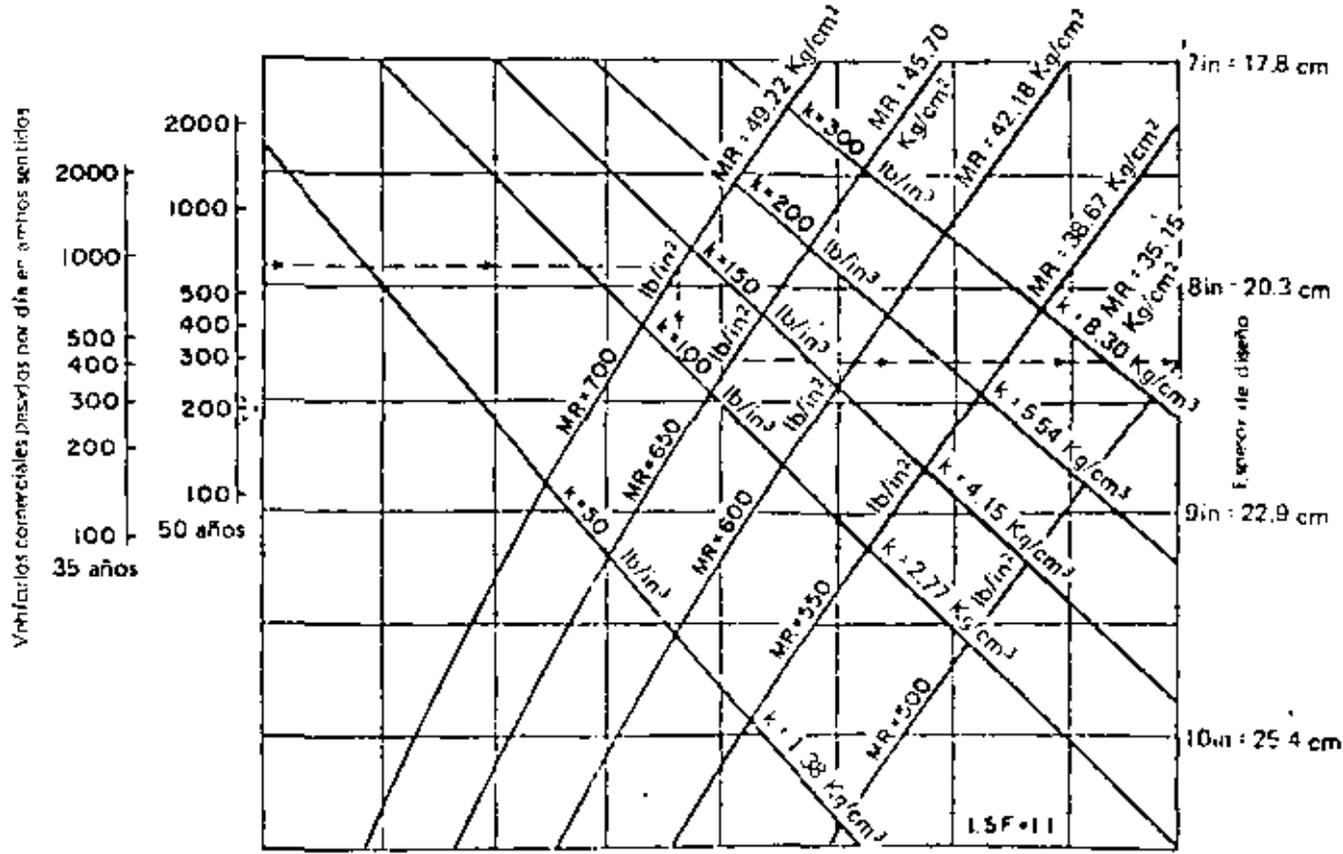
Gráfica No. 1 Gráfica de diseño del espesor para calles residenciales y colectores residenciales para un período de diseño de 35 años.



Gráfica No. 2 Gráfica de diseño del espesor para calles residenciales y colectores residenciales para un período de diseño de 50 años.



Gráfica No. 5 Gráfica de diseño del espesor para arterias y calles comerciales para periodos de diseño de 35 y 50 años.



Gráfica No. 6 Gráfica de diseño del espesor para avenidas mayores y calles industriales para periodos de diseño de 35 y 50 años.

TIPOS DE PAVIMENTOS UTILIZADOS

ASFALTICOS (FLEXIBLES)

LOSAS DE CONCRETOS (RIGIDOS)

COMPUESTOS

ADOQUIN

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.

CAUSAS DE FALLA

- PROYECTO INADECUADO
- MATERIALES DE CALIDAD DEFICIENTE
- CONSTRUCCION DEFICIENTE O INAPROPIADA
- CONSERVACION DEFICIENTE.

TERRACERÍAS

DEFINICION

CONJUNTO DE CORTES Y TERRAPLENES QUE PROPORCIONAN EL APOYO A LA ESTRUCTURA DEL PAVIMENTO Y CONSTITUYEN LA OBRA VIAL.

FUNCIONES

- SOPORTAR AL PAVIMENTO EN CONDICIONES RAZONABLES DE RESISTENCIA Y DEFORMACION.
- PROPORCIONAR EL NIVEL NECESARIO DE SUBRASANTE
- PROTEGER AL PAVIMENTO, CONSERVANDO SU INTEGRIDAD EN TODO TIEMPO

CARACTERISTICAS

- RESISTENCIA ADECUADA PARA SOPORTAR LAS CARGAS TRANSMITIDAS POR EL PAVIMENTO, POR PESO PRO--PIO Y TRANSITO.
- RESISTENCIA A LOS FACTORES DEL MEDIO AMBIENTE QUE PUEDAN AFECTAR SU RESISTENCIA, DURABILI--DAD, ESTABILIDAD VOLUMETRICA, ESTABILIDAD QUI--MICA, ETC.
- ECONOMIA Y ASPECTOS FUNCIONALES

ALTERNATIVAS

- TUNELES
- VIADUCTOS

TRAMO DE PRUEBA AASHO (1956 - 1960)

CONCEPTOS DERIVADOS DE ENSAYO

1.- CONCEPTO DE FALLA

FUNCIONAL

ESTRUCTURAL

2.- INDICE DE SERVICIABILIDAD (PSI)

3.- NIVEL DE RECHAZO

4.- ESPESOR EQUIVALENTE Y NUMERO ESTRUCTURAL

$$T_1 = 0.44 D_1 + 0.14 D_2 + 0.11 D_3$$

PAVIMENTO

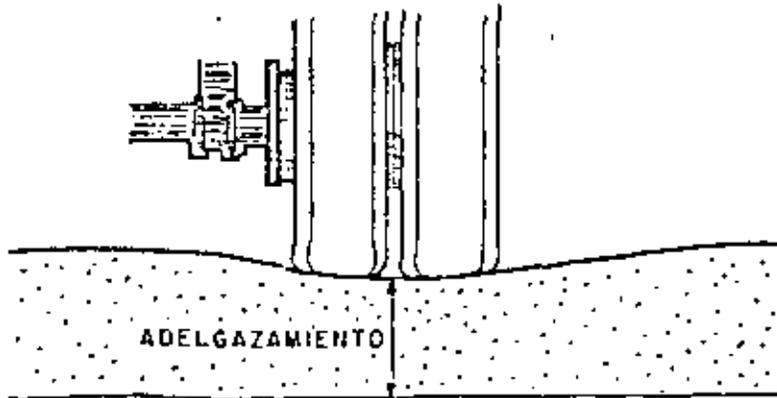
<u> </u>	1 - 6" *	CONCRETO ASFALTICO
<u> </u>	0 - 9"	BASE DE GRAVA TRITURADA BIEN GRADUADA
	0 - 16"	GRAVA
<u> </u>		ARENA ARCILLOSA

CARGAS

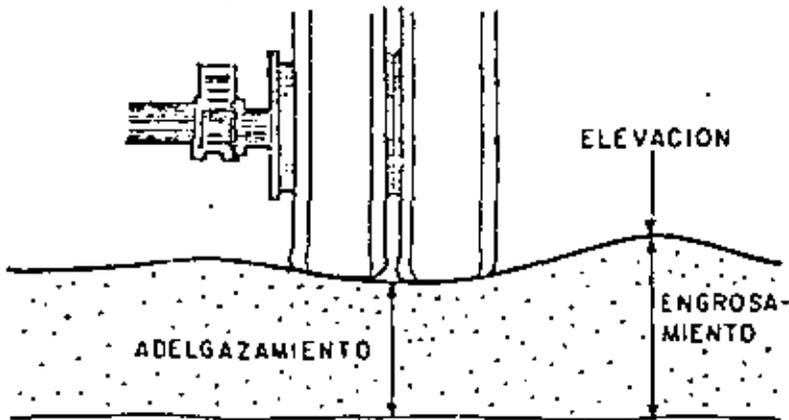
EJES SENCILLOS DE 2 A 30 KIPS

EJES TAMBIEN DE 24 A 48 KIPS

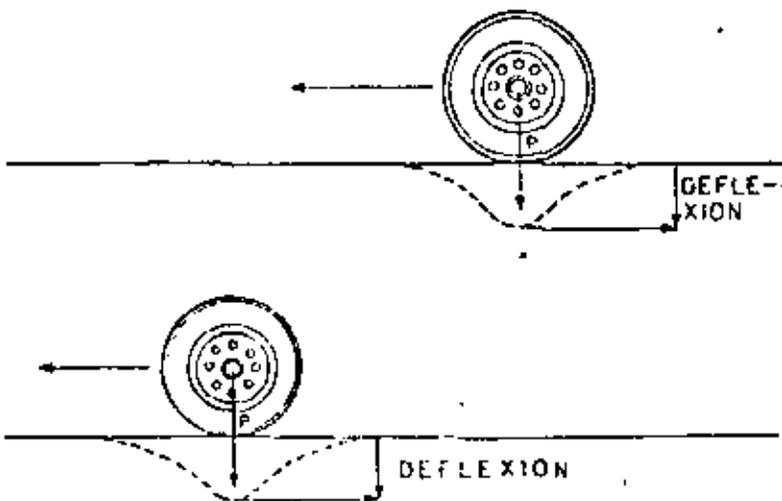
a) DENSIFICACION



b) DEFORMACION PLASTICA



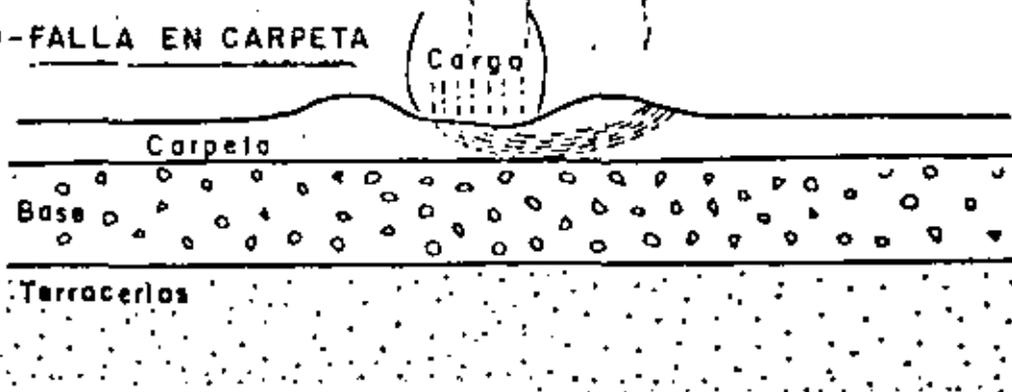
1) DEFORMACION PERMANENTE



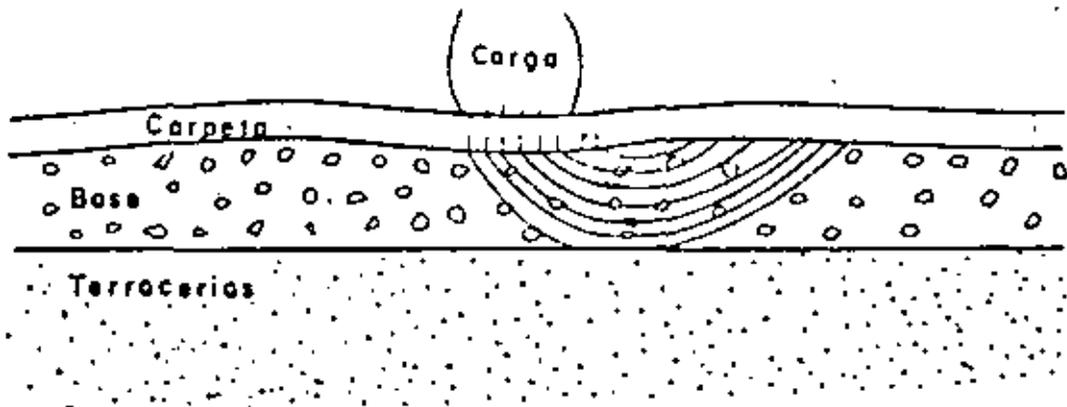
2) DEFORMACION POR DEFLEXION TRANSITORIA

TIPOS DE FALLA

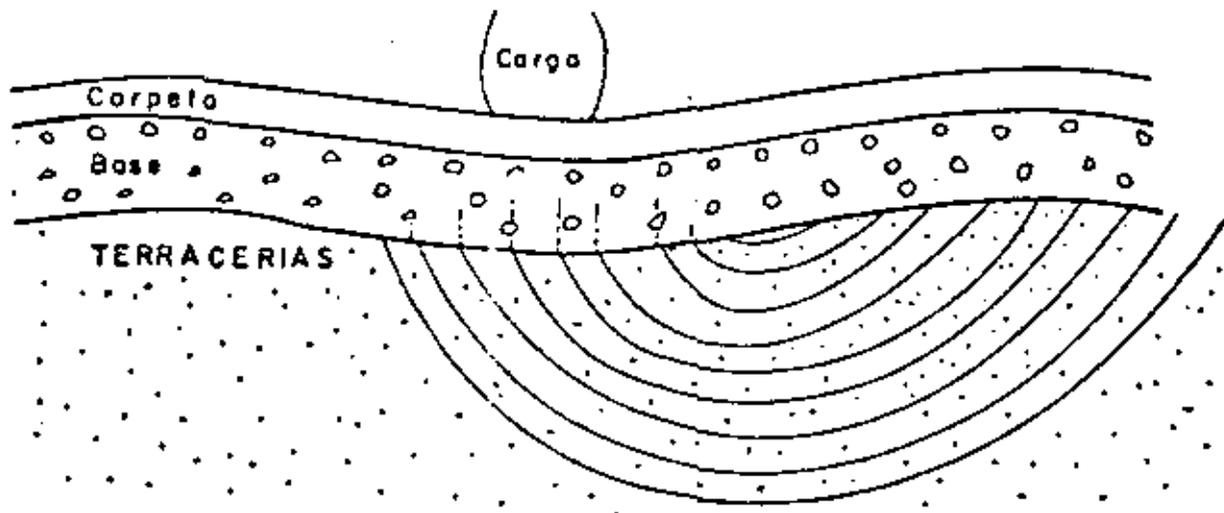
a) - FALLA EN CARPETA



b) - FALLA EN LA BASE



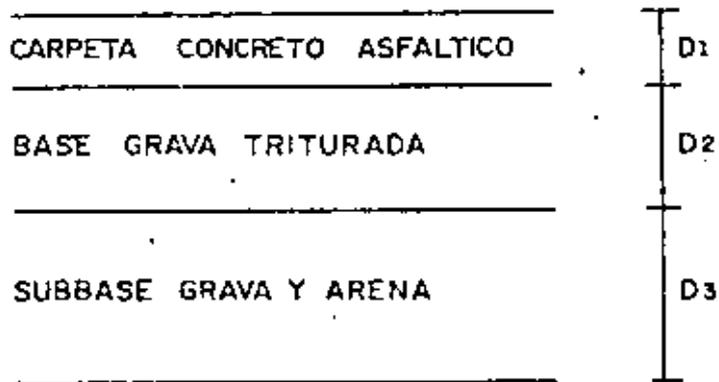
c) FALLA GENERAL DEL TERRENO DE CIMENTACION

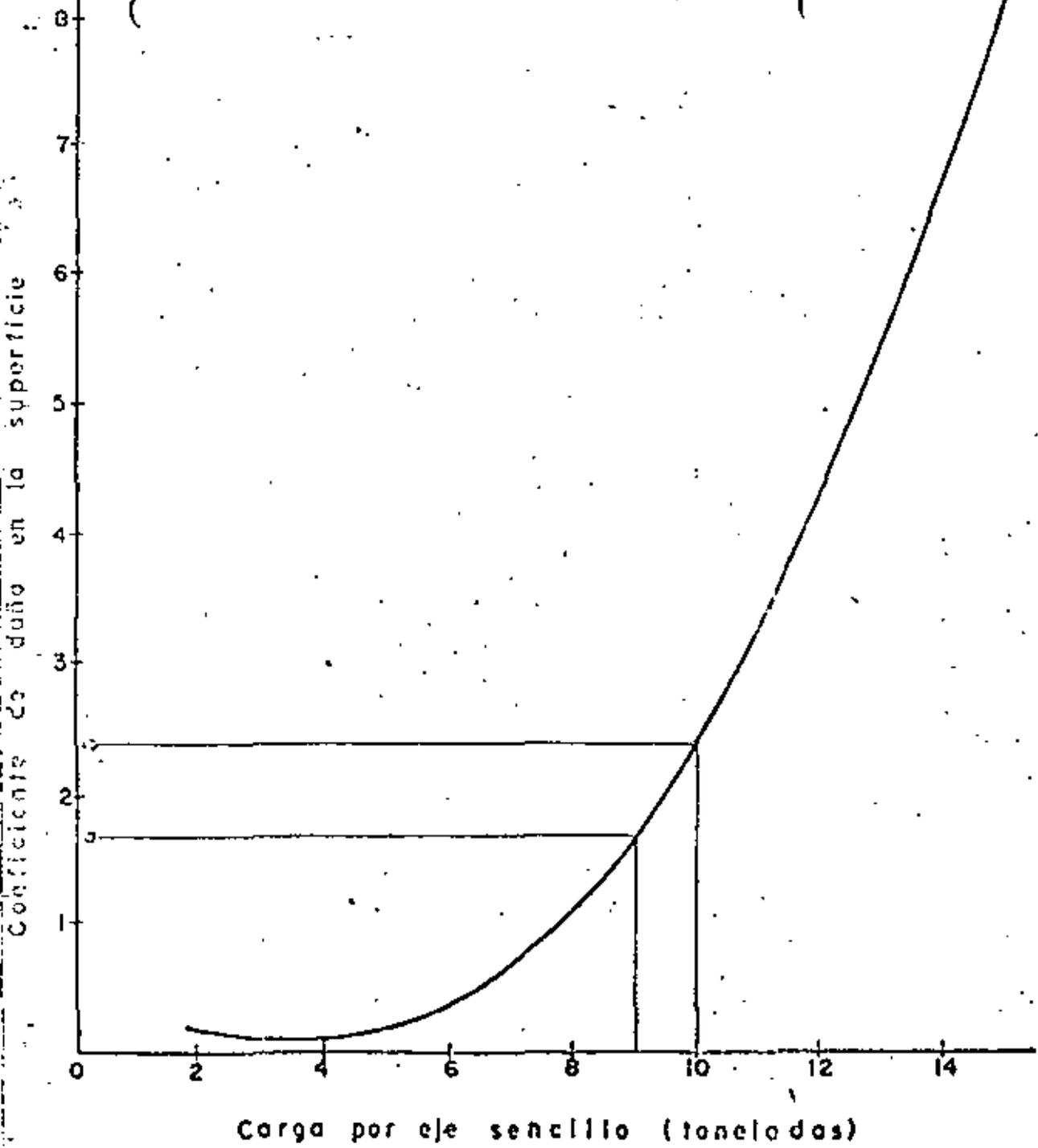


INDICE DE ESPESOR

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

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





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

FIG. 2 VARIACION DEL COEFICIENTE DE EQUIVALENCIA DE DAÑO PARA DIFERENTES PESOS POR EJE SENCILLO.

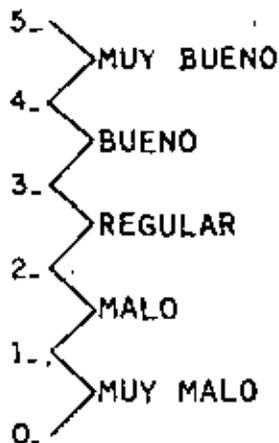
010

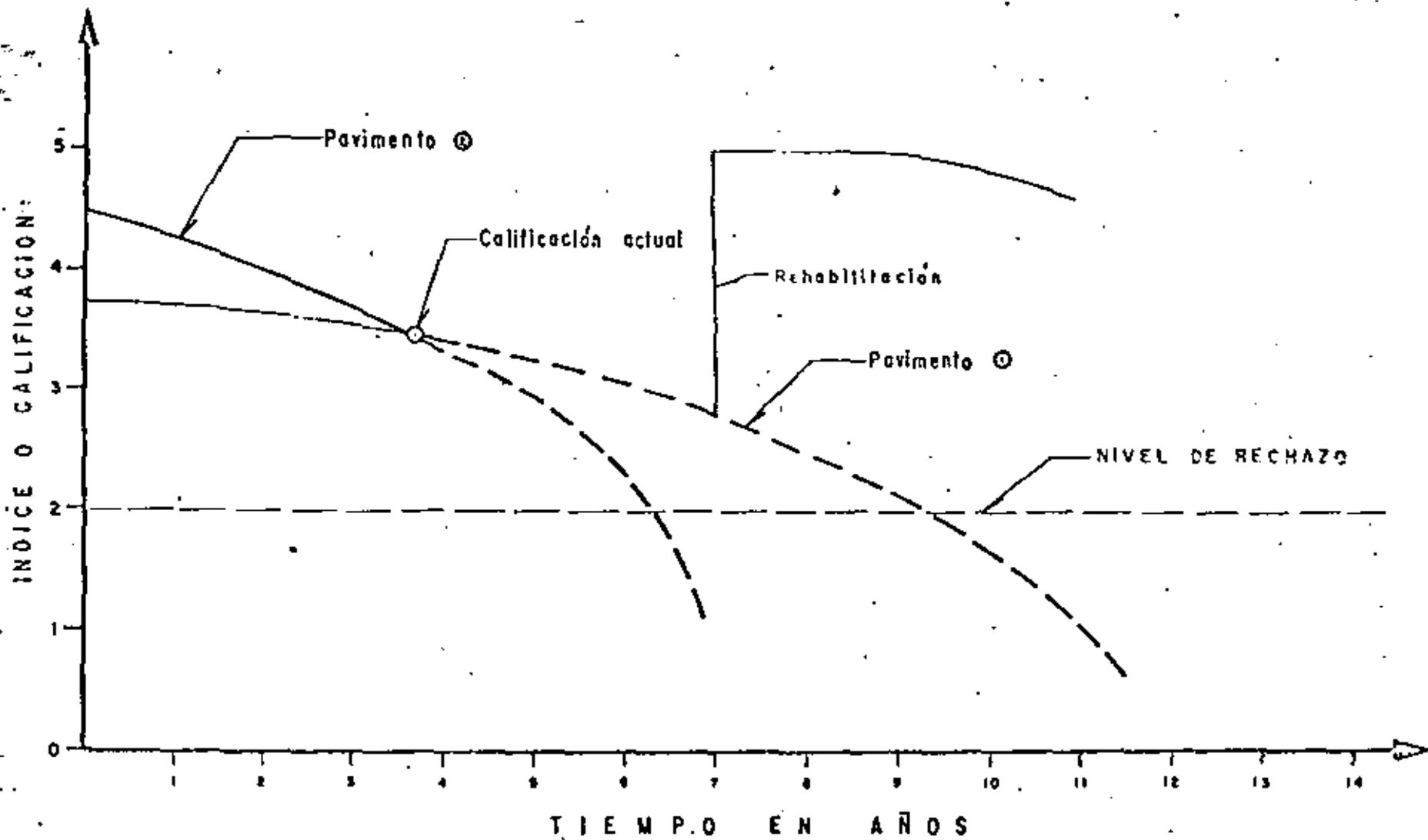
SERVICIABILIDAD.-

CAPACIDAD DE UN PAVIMENTO PARA CUMPLIR CON SU FUNCION, 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.





047

37

②

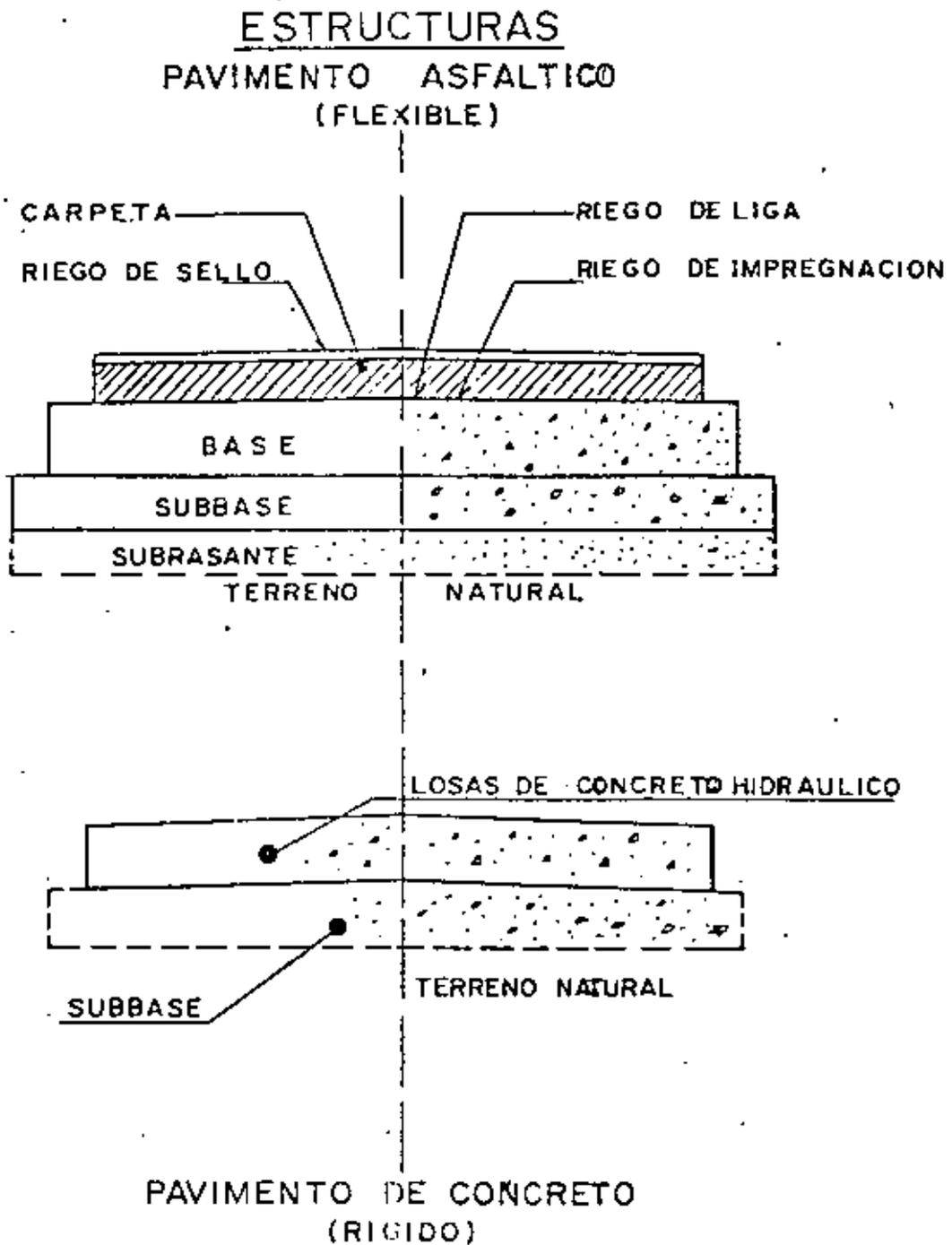
FIGURA Nº 13

VARIABLES PARA EL DISEÑO DE PAVIMENTOS

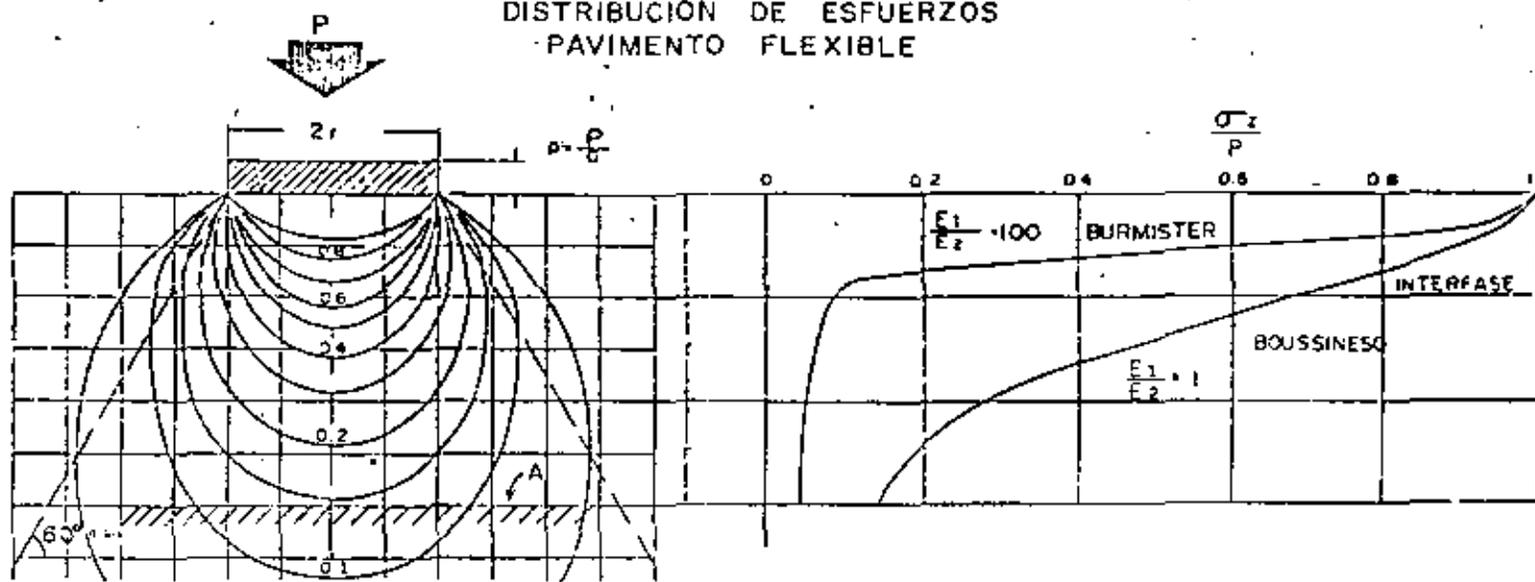
043

60

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 estacionales 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.



DISTRIBUCION DE ESFUERZOS
PAVIMENTO FLEXIBLE



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

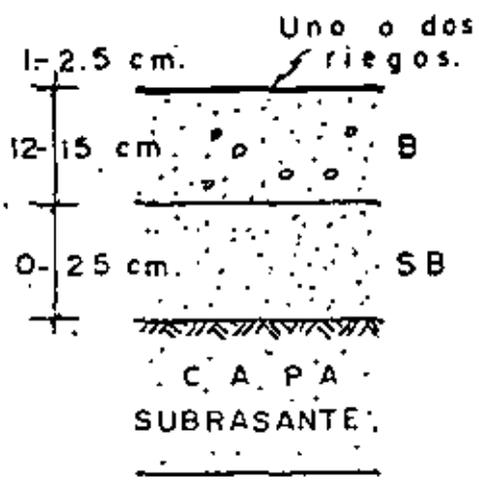
$$p' = P \frac{a}{A}$$

FUNCIONES DE LOS ELEMENTOS DEL PAVIMENTO

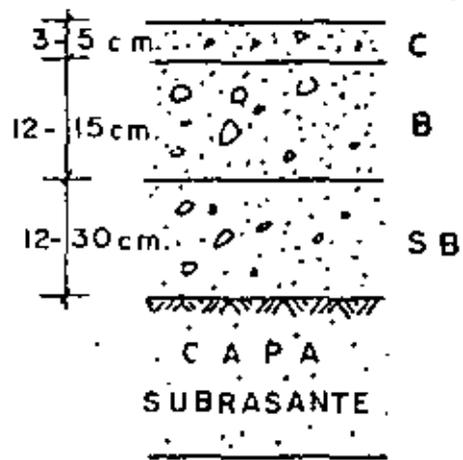
- SUBBASE.- TRANSMITIR ESFUERZOS A LA CAPA SUBRASANTE
TRANSICION ENTRE BASE Y SUBRASANTE
REDUCIR EFECTOS DE CAMBIOS VOLUMETRICOS Y REBOTE ELASTICO
REDUCIR COSTO DEL PAVIMENTO
- BASE.- SOPORTAR ADECUADAMENTE LAS CARGAS Y DISTRIBUIR ESFUERZOS A LAS CAPAS SUBYACENTES EN FORMA ADECUADA.
- CARPETA.- PROPORCIONAR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

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

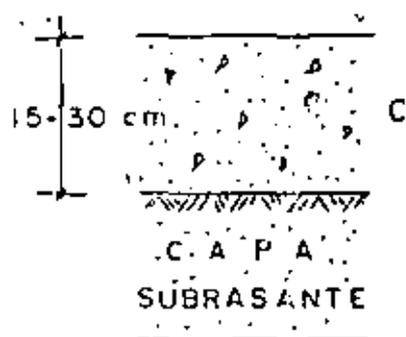
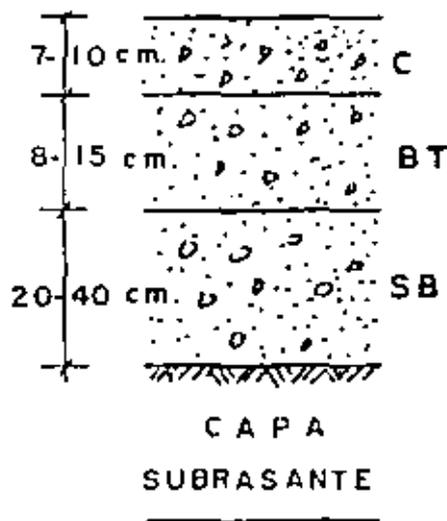
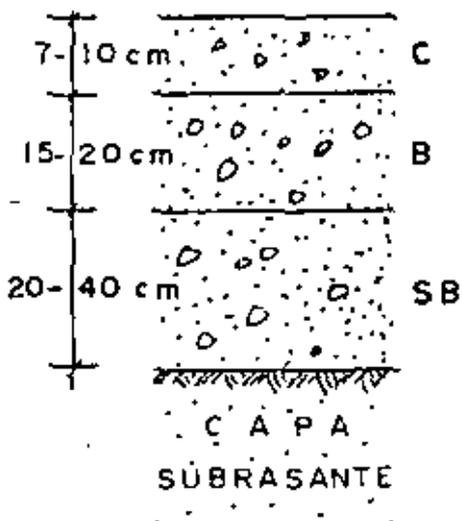
LIGERO



MEDIANO



PESADO



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

Factores que determinan la elección del Tipo de Pavimento, adicionales al económico.

- a) Confiabilidad
- b) Limitaciones en el mantenimiento y conservación
- c) Equipos y prácticas de construcción
- d) Disponibilidad presente y futura de los materiales requeridos.

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.	(25)

MECANISMOS CON QUE EL AGUA ACTUA
SOBRE TERRACERIAS Y PAVIMENTO.

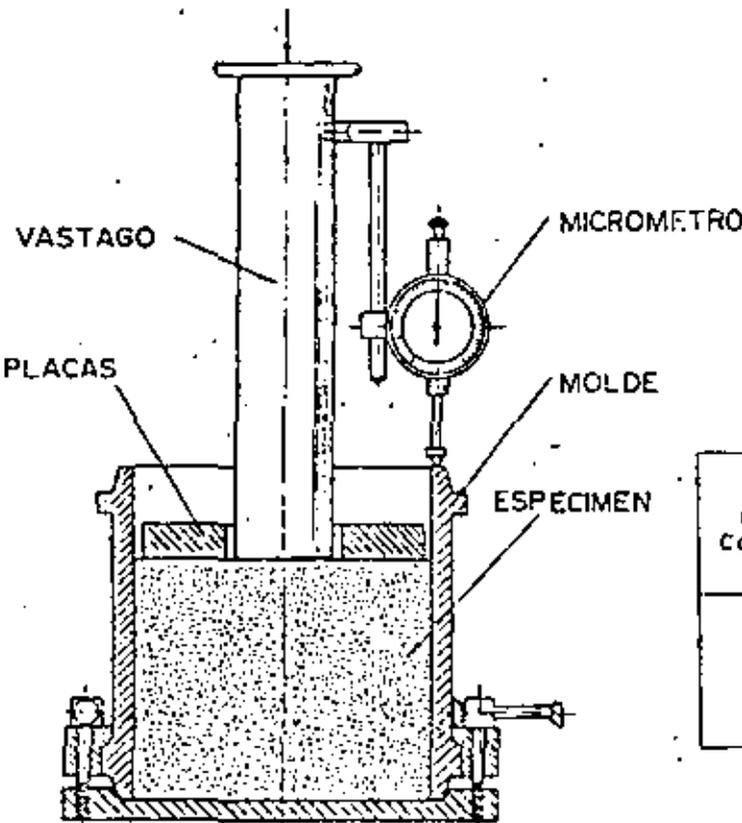
- 1.- EROSION
- 2.- TUBIFICACION
- 3.- VARIACIONES VOLUMETRICAS
EXPANSION
CONTRACCION
- 4.- FUERZAS DE FILTRACION
- 5.- REDUCCION DE LA RESISTENCIA
AL ESFUERZO CORTANTE.
- 6.- DISOLUCION
- 7.- ACUAPLANEO Y DERRAPAMIENTO
- 8.- ESFUERZOS ADICIONALES SOBRE ESTRUCTURAS

CONTROL DE HUMEDAD

- 1.- MANTENER EL PAVIMENTO SOBRE EL NIVEL DEL TERRENO NATURAL
- 2.- DRENAJE SUPERFICIAL ADECUADO
- 3.- SUBDRENAJE Y SISTEMAS DE INTERCEPCION DE AGUA
- 4.- MANTENER EL NAF BAJO
- 5.- SELLAR SUPERFICIES
- 6.- CAPAS DRENANTES

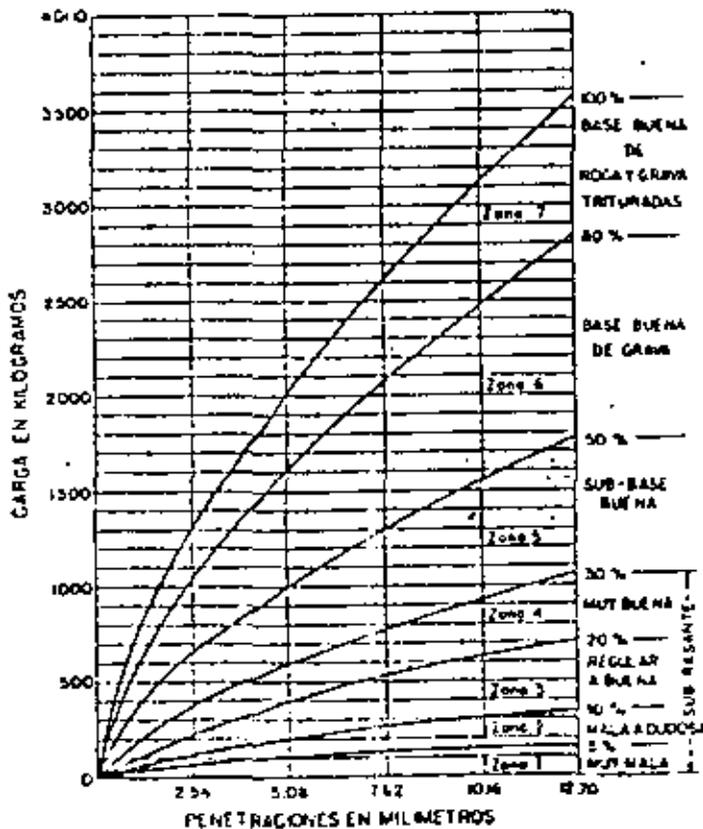
PRUEBA DE VALOR RELATIVO SOPORTE

(4)

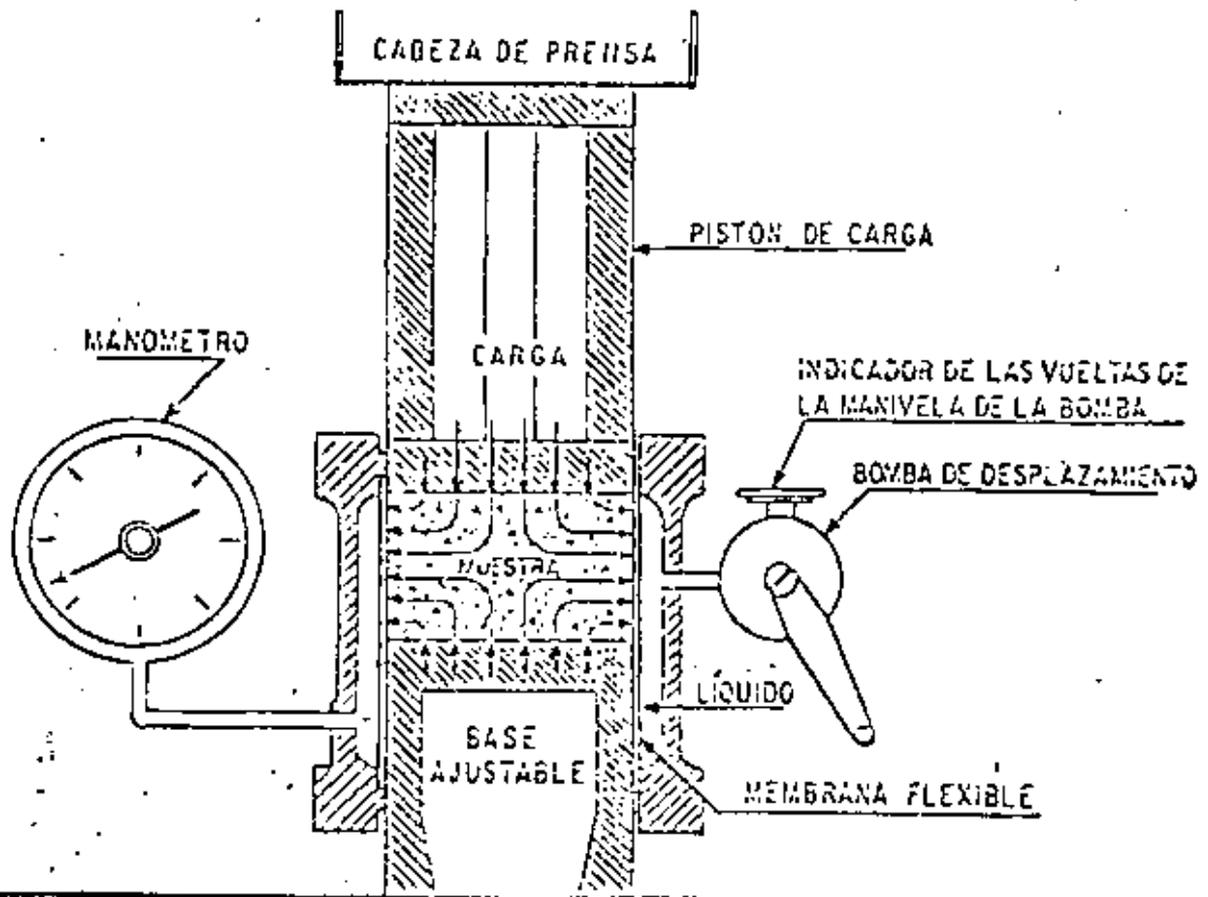


PRUEBA MODIFICADA . SOP.

Grado de Compactación %	Variante 1 Buen drenaje precipitación baja a media.	Variante 2 Drenaje deficiente, precipitación media a alta.
100	W_0	W_0
95	W_0	$W_0 + 1.5$
90 - 75	W_0	$W_0 + 3.0$



ESTABILOMETRO



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

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

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)

MATERIALES PARA TL. CERRIAS

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

071

(BA)

C R I T E R I O S

- ACEPTAR EL MATERIAL TAL Y COMO ESTA Y EFECTUAR EL DISEÑO DE ACUERDO CON LAS RESTRICCIONES IMPUESTAS POR LA CALIDAD DEL MATERIAL.
- REMOVER Y DESECHAR EL SUELO DEL LUGAR Y SUSTITUIRLO POR UN SUELO DE CARACTERISTICAS ADECUADAS.
- ALTERAR, O CAMBIAR LAS PROPIEDADES DEL MATERIAL EXISTENTE, DE TAL MANERA QUE SE OBTENGA UN MATERIAL QUE REUNA EN MEJOR -- FORMA LOS REQUISITOS IMPUESTOS, O CUANDO MENOS QUE LA CALIDAD OBTENIDA SEA ADECUADA.

ASPECTOS A CONSIDERAR EN LA ESTABILIZACION DE SUELOS

- TIPO DE SUELO Y SU UTILIZACION EN EL PAVIMENTO
- TIPO DE PRODUCTO Y SUS CARACTERISTICAS
- EXPERIENCIA DEL PROYECTISTA Y DEL CONSTRUCTOR
- REQUERIMIENTOS CONSTRUCTIVOS
- DISPONIBILIDAD DE EQUIPO
- PROGRAMA CONSTRUCTIVO
- ANALISIS DE COSTOS.

CARRETERAS



Capacidad máxima por carril:
2,000 automóviles/hora.
(a 50 - 60 km./hr.)



Capacidad máxima.-

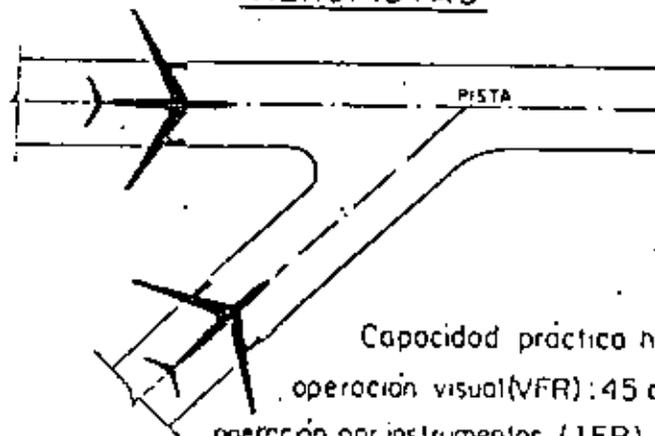
Carril de adentro: 2,200 automóviles/hora.

Carril de afuera: 1,700 automóviles/hora.

(a 60 km/hr.)

Frecuencia del tránsito

AEROPISTAS



Capacidad práctica horaria.-
operación visual (VFR): 45 a 99 op/hr
operación por instrumentos (IFR) 42 a -
53 op/hr.

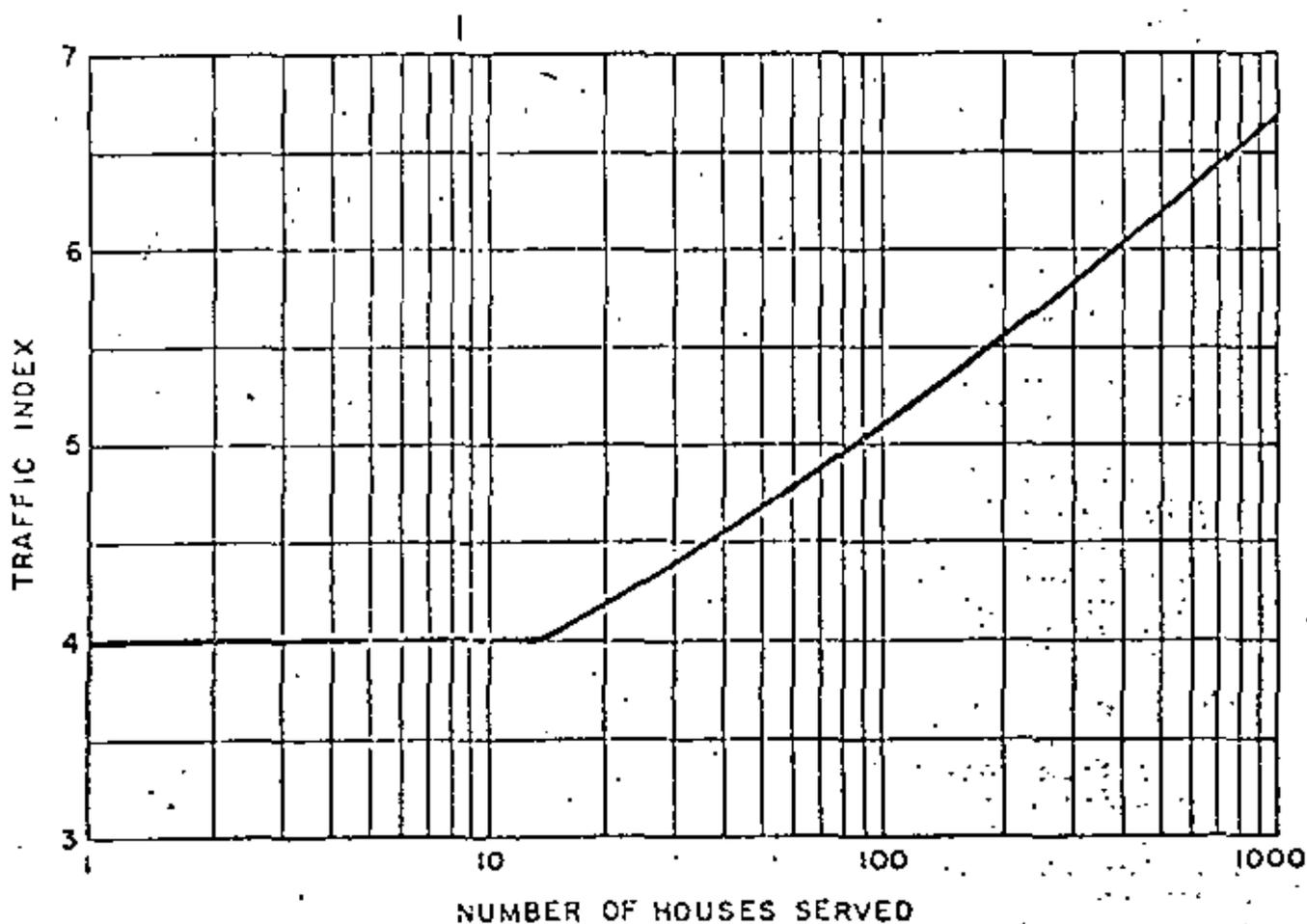
NOTA: El valor mayor es para
pistas que solo reciben
aviones bimotores y
monomotores.

El valor menor es para
pistas que reciben una
mezcla de aviones en
que el 60% son
cuatrirreactores o aviones
mayores.

③



CHART FOR ESTIMATION OF TRAFFIC INDEX USING A HOUSE COUNT



Notes: For use only within subdivisions for residential and residential collector streets.

Chart is based on a 10-year design life.

METODO AASHO

Tránsito diario en dos direcciones = 500 vpd
 Dirección del tránsito en 2 carriles = 50 y 50%
 Porcentaje de camiones = 25%
 Tasa de incremento por año = 5.5 %

$$p = 2; SN = 4.$$

CARGA POR EJE (KIPS)	EJES SENCILLOS POR CADA 100 CAMIONES			EJES EN TANDEM POR CADA 100 CAMIONES		
	NUMERO	F	NXF	NUMERO	F	NXF
Menos de 3	75.3	0.0002	0.02			
3-5	29.9	0.002	0.06			
5-7	10.5	0.01	0.11			
7-9	3.4	0.03	0.10			
9-11	4.2	0.08	0.34			
11-13	3.0	0.18	0.54			
13-15	4.1	0.35	1.43	0.1	0.03	0.01
15-17	9.3	0.61	5.78	0.5	0.05	0.03
17-19	11.0	1.00	11.00	1.5	0.08	0.17
19-21	8.0	1.55	12.40	2.0	0.12	0.24
etc.						
			Totales 46.99			14.99

Ejes equivalentes por cada 100 camiones = 46.99 + 14.99 = 61.98
 Tránsito inicial de 18 000 LB por eje equivalente

$$\frac{500}{2} \times 0.25 \left(\frac{61.98}{100} \right) = 38.7$$

Tránsito acumulado para un periodo de 10 años

$$\sum_{o}^n EAL = \frac{EAL_o (365)}{\log_e (1 + i)} \left[(1 + i)^n - 1 \right]$$

$$\sum EAL = \frac{38.7 \times 365}{0.0535} \left[(1.055)^{10} - 1 \right] = 186\ 818$$

o bien, efectuando los cálculos por cada año:

Fin del año	$(1 + i)^n$	Total en el año
1	1.000	$38.7 \left(\frac{1 + 1.055}{2} \right) (365) = 14\ 513$
2	1.055	$38.7 \left(\frac{1.055 + 1.113}{2} \right) (365) = 15\ 312$
3	1.113	$38.7 \left(\frac{1.113 + 1.174}{2} \right) (365) = 16\ 252$
etc.		TOTAL 186 804

1.- FASES DEL PROYECTO

- * ESTRUCTURACION Y DIMENSIONAMIENTO DE LAS DIFERENTES CAPAS.
- ~ NORMAS DE CALIDAD Y FUENTES DE APROVISIONAMIENTO DE MATERIALES.
- ~ NORMAS DE CONSTRUCCION.
- ~ TOLERANCIAS DE CONSTRUCCION Y ACABADO.

TRANSITO

- AERONAVE DE DISEÑO O TRANSITO EQUIVALENTE
- NUMERO DE APLICACIONES
- PESO TOTAL DE OPERACION
- CONFIGURACION DEL TREN DE ATERRIZAJE O NUMERO DE EJES
- PRESIONES DE INFLADO Y DE CONTACTO
- CANALIZACION DE TRANSITO

CARACTERISTICAS DEL SUBSUELO Y DE LOS MATERIALES PARA PAVI-
MENTACION

- PROPIEDADES INGENIERILES DE LOS SUELOS
- CARACTERISTICAS Y POTENCIALIDAD DE MATERIALES EN LA ZONA

CARACTERISTICAS CLIMATOLOGICAS Y FACTORES AMBIENTALES

- VARIACION DE LA TEMPERATURA
- REGIMEN PLUVIOMETRICO
- DRENAJE Y SUBDRENAJE
- POSICION DEL NIVEL DE AGUAS FREATICAS
- TOPOGRAFIA

(67)

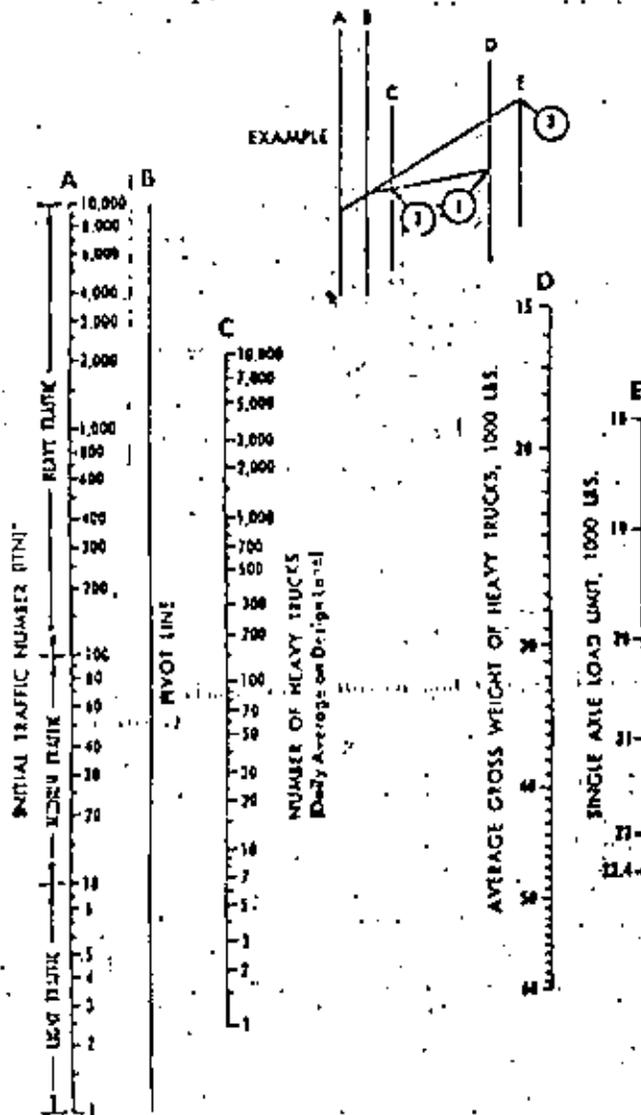
P R O Y E C T O

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

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		CARRERA Y BASE (4)	SUB-BASE Y TERRACERIAS (5)	CARRERA 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	0.005
		VACIOS	0.0	0.000	0.004	0.000	0.000	0.000
A'2	0.104	CARGADOS	0.8	0.083	0.352	0.623	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	0.039	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, $C_T = \left[\frac{(1+r)^n - 1}{r} \right] 365$					TOPA 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 %					EL (11) = (8) * (9) * (10)		1458.578	767.790
TOPA = TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL = 500					CD CARRIL PROYECTO = 0.5			

Fig 5. Ejemplo: cálculo del tránsito equivalente acumulado (EL)

(91)



* ITN value may require correction where the IOT of automobiles and light trucks is relatively high. See Figure III-2

Additional copies of this nomograph are available at the nearest Asphalt Institute office.

Figure III-1—Traffic analysis chart

TABLE 13 B. Surface Thickness Requirements*

Design DTN	Hot Mix- Sand Asphalt (in.)	Liquid/Emulsified Asphalts	
		A ^b (in.)	B ^c (in.)
< 10	2	2	3
≥ 10 and < 100	3	3	4
≥ 1000	4	4	5

- * From The Asphalt Institute.
- ^a A—Use if TAI Type IV aggregate gradation used.
- ^b B—Use if aggregate gradation other than Type IV used.

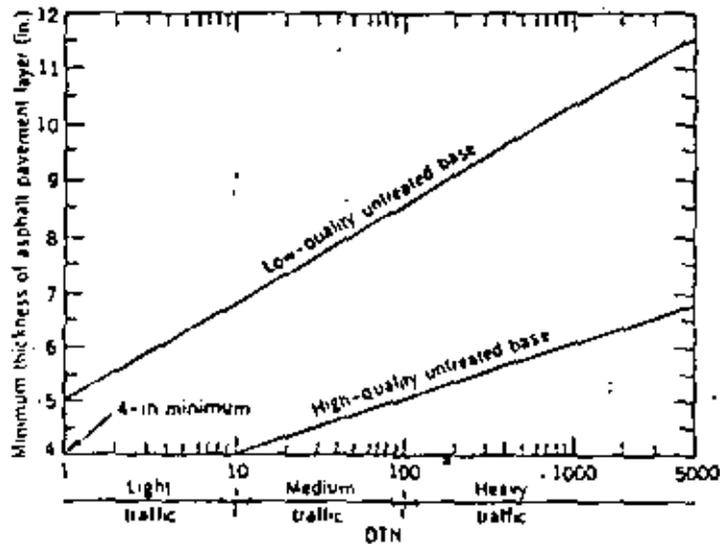
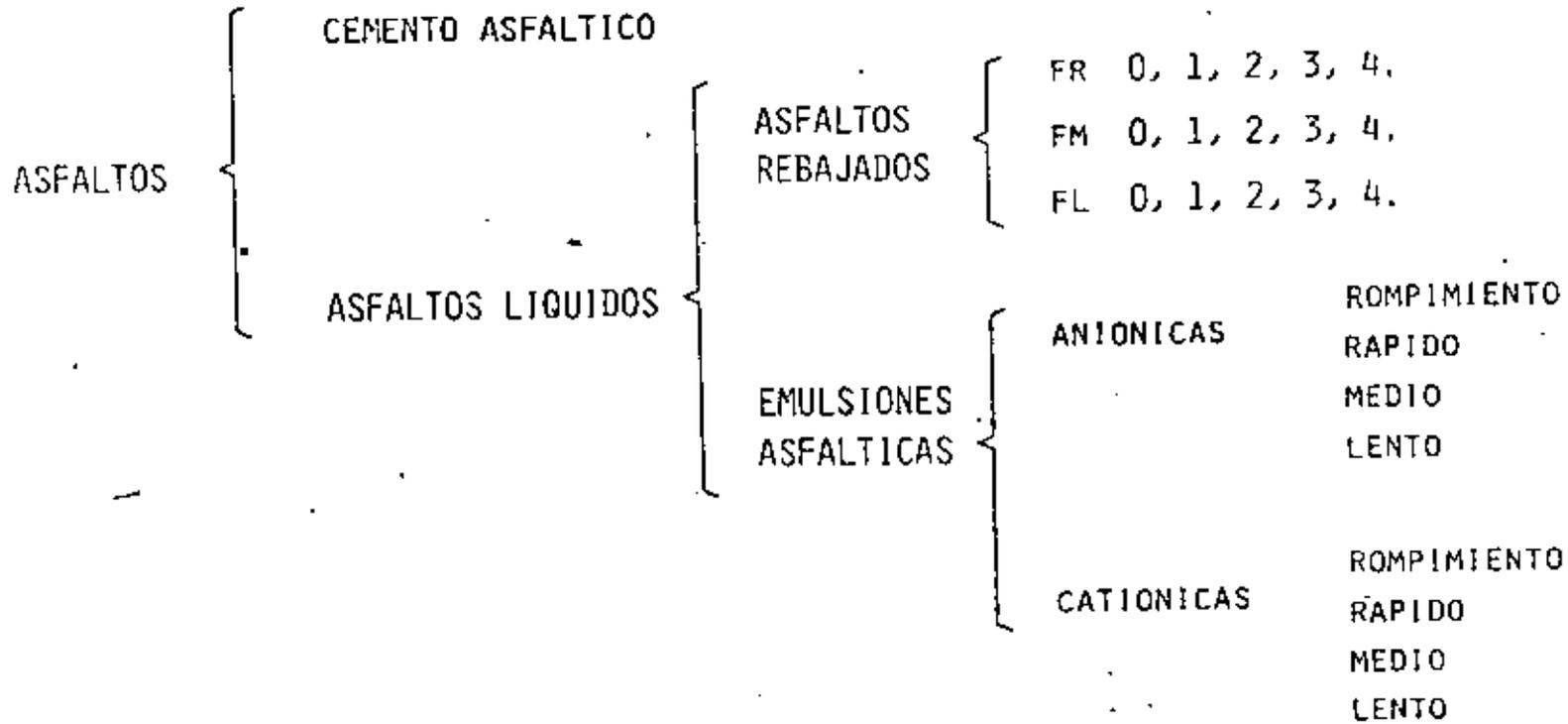


Figure 13.16 Recommended surface thickness for untreated base pavements. (From The Asphalt Institute)

TIPOS DE LIGANTES

ALQUITRANES



093

(2)

CONTENIDO DE SILICE (SiO₂) EN %

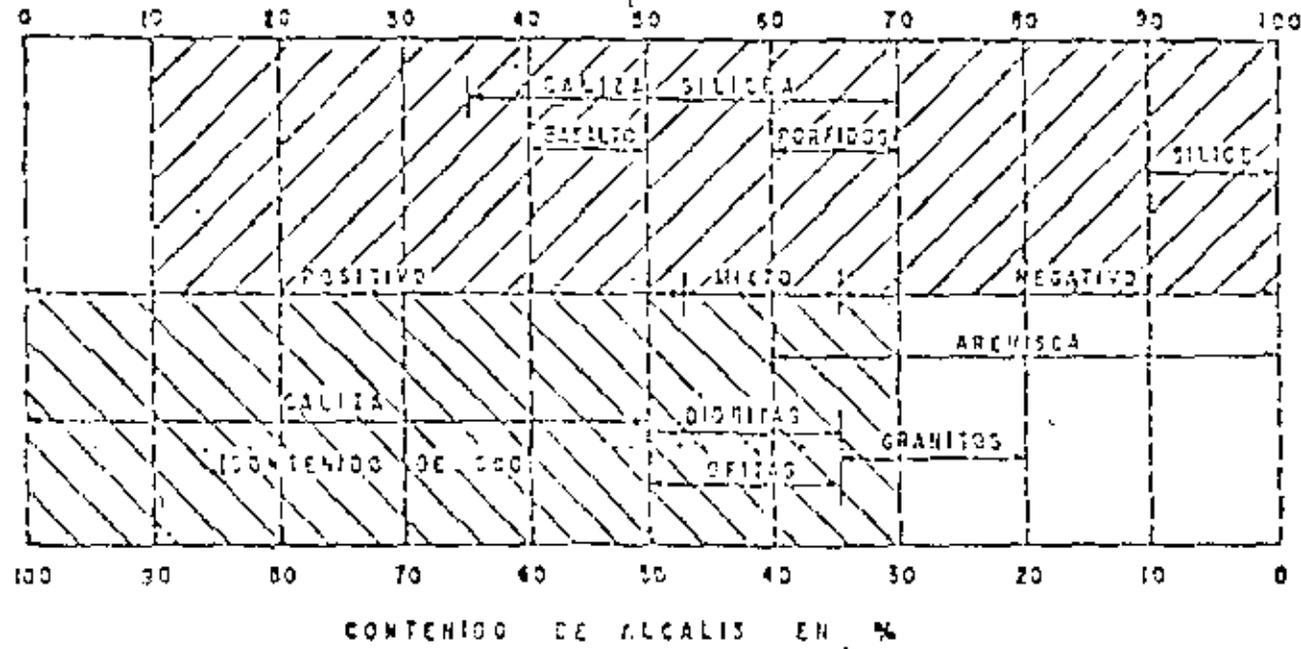


Figura VI.6- Clasificación de los Agregados.

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

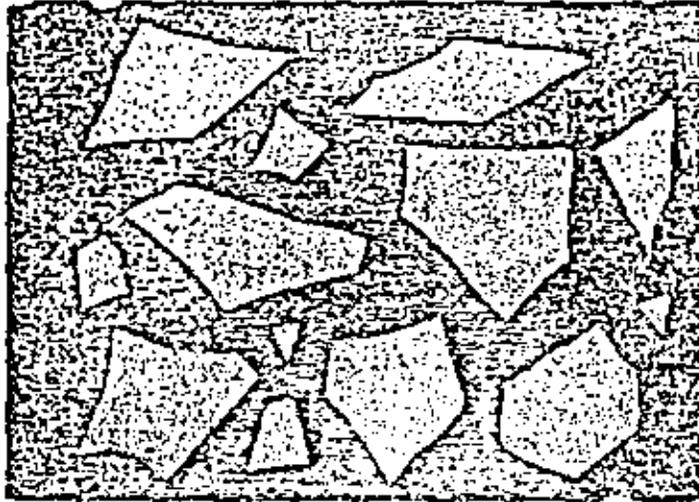
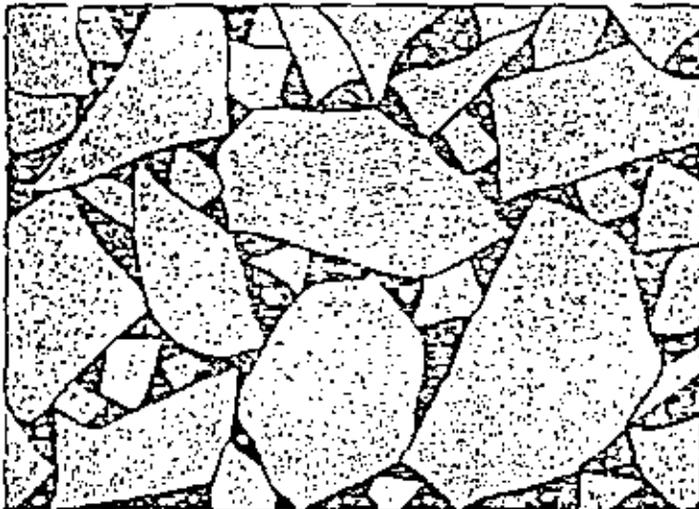


Fig. 4-3 — Esquema de la estructura formada por los áridos y el ligante asfáltico.



(92)

(112)

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.

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

(11)

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

(20)

ECUACIONES DE WESTERGAARD

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

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

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

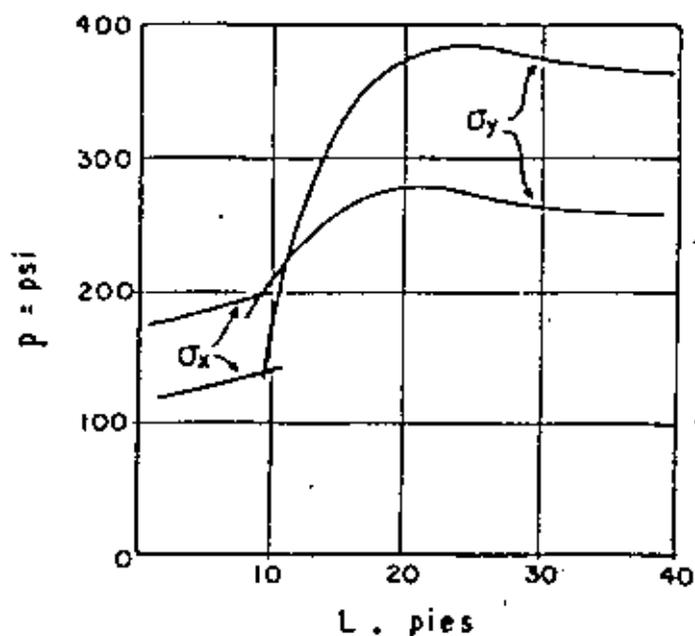
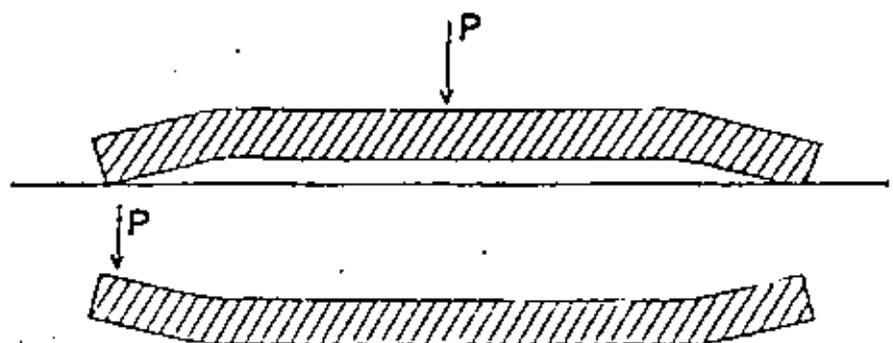
$$\sigma_c = \frac{3P}{h^2} \left[1 - \left(\frac{a\sqrt{2}}{l} \right)^{0.6} \right]$$

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

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

ESFUERZOS POR ALABEO

(123)



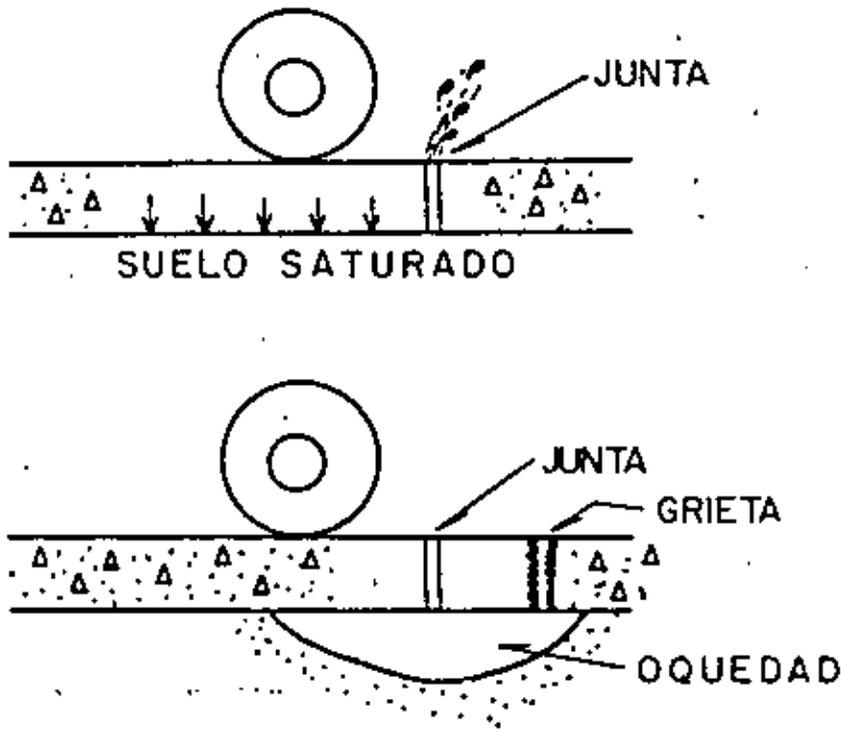
$$\sigma = \frac{E \epsilon_t \Delta t}{2} \left(\frac{C_1 + \mu C_2}{1 - \mu^2} \right)$$

ϵ_t = Coef. de dilatación

Δt = Diferencia de temperatura

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

FENOMENO DE BOMBEO



126

¿ 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.

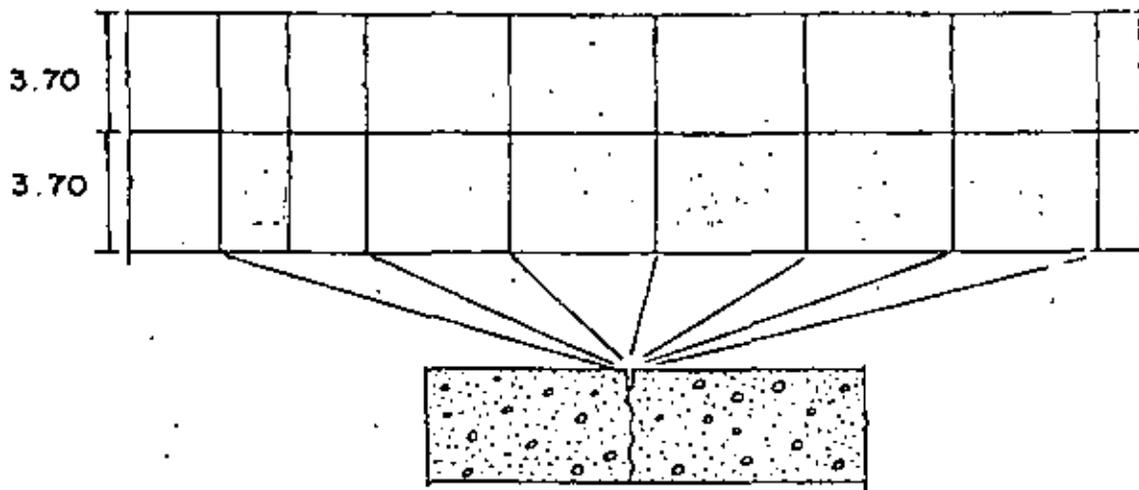
ESPACIAMIENTO DE JUNTAS DE CONTRACCION PARA
PAVIMENTOS DE CONCRETO SIMPLE, NO REFORZADO.

(28)

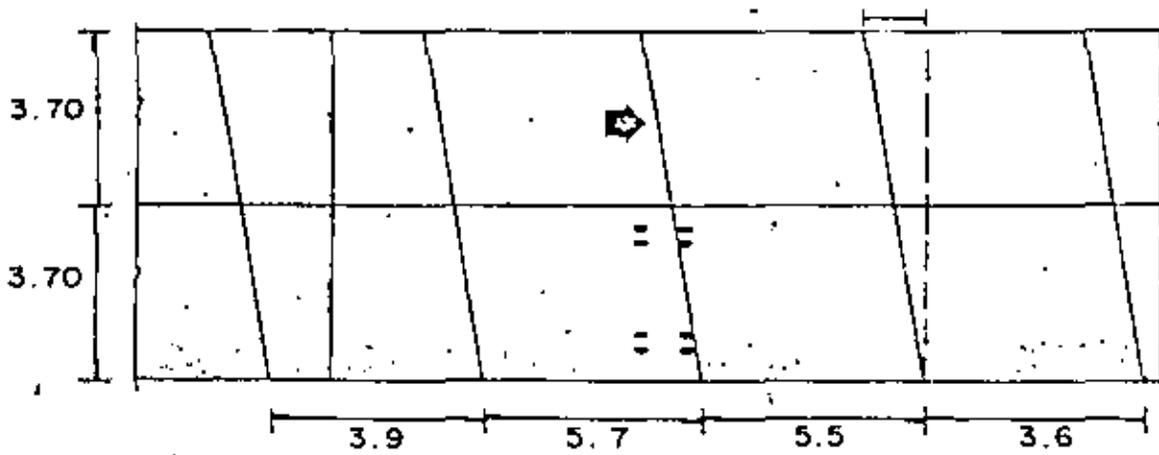
TIPO DE AGREGADO	ESPACIAMIENTO (M)
GRANITO TRITURADO	7.5 - 9
CALIZA TRITURADA	6 - 9
CALIZA CON PEDERNAL TRITURADA	6 - 7.5
GRAVA SILICOSA	4.5 - 6
GRAVA MENOR QUE 3/4	4.5 - 6
REZAGA	4.5 - 6

JUNTAS DE CONTRACCION

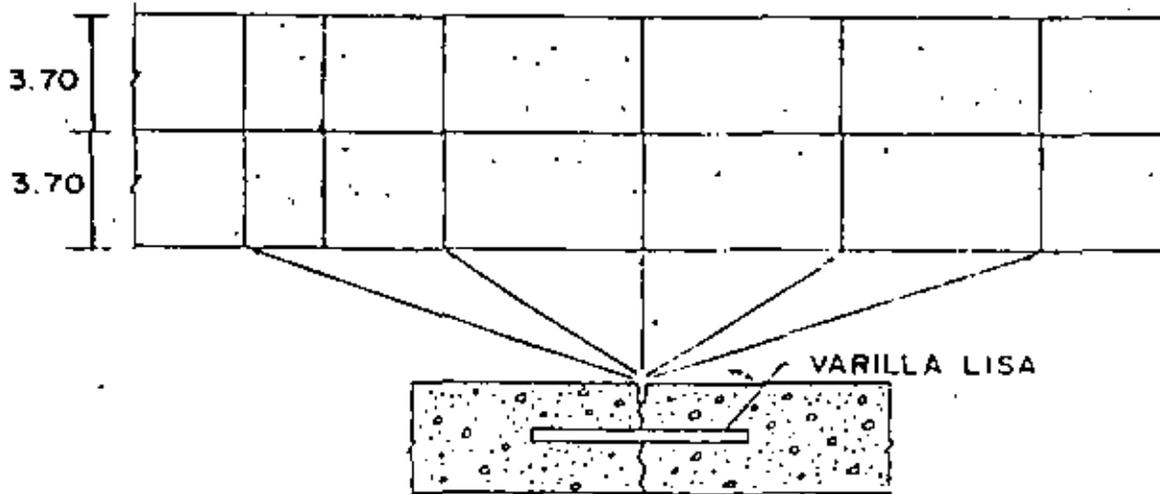
230



JUNTAS ESVAJADAS



JUNTAS CON PASAJUNTA LISO



12.- Tolerancias.12.1.- Losas de concreto.-

Pendiente transversal con respecto a la de proyecto

(132)
+ 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 kg/cm²

El 20% restante no podrá tener

M.R. $<$ 41 kg/cm²

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

\geq 45 kg/cm²

12.5.- Coefficiente de fricción.

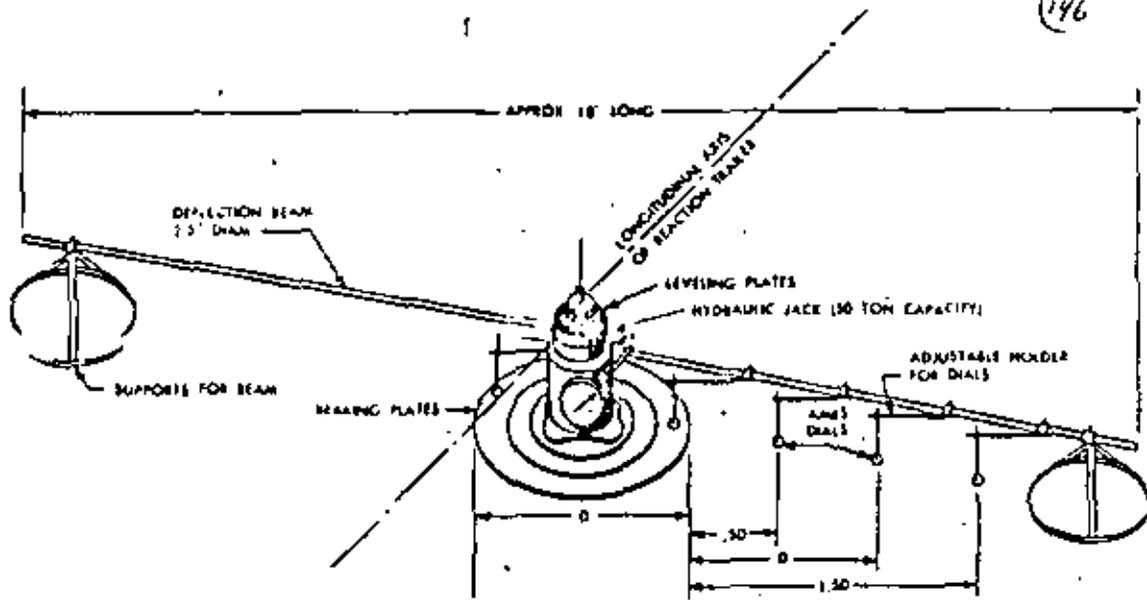
\geq 0.35

12.6.- Indice de Perfil

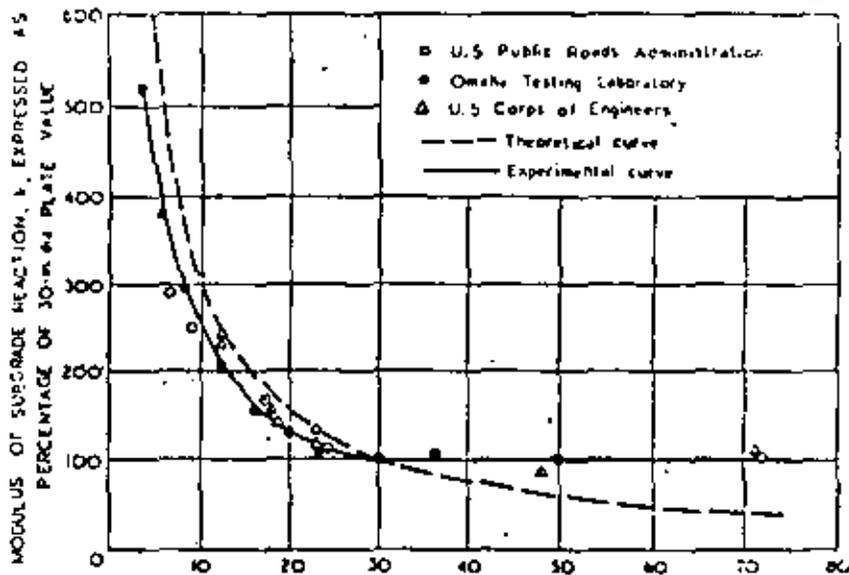
$<$ 20 pulg/mi
11

12.7.- Desviación máxima medida en perfilograma

0.3 pulgada



PRUEBA DE PLACA



DIAMETRO, PLACA, PULG.

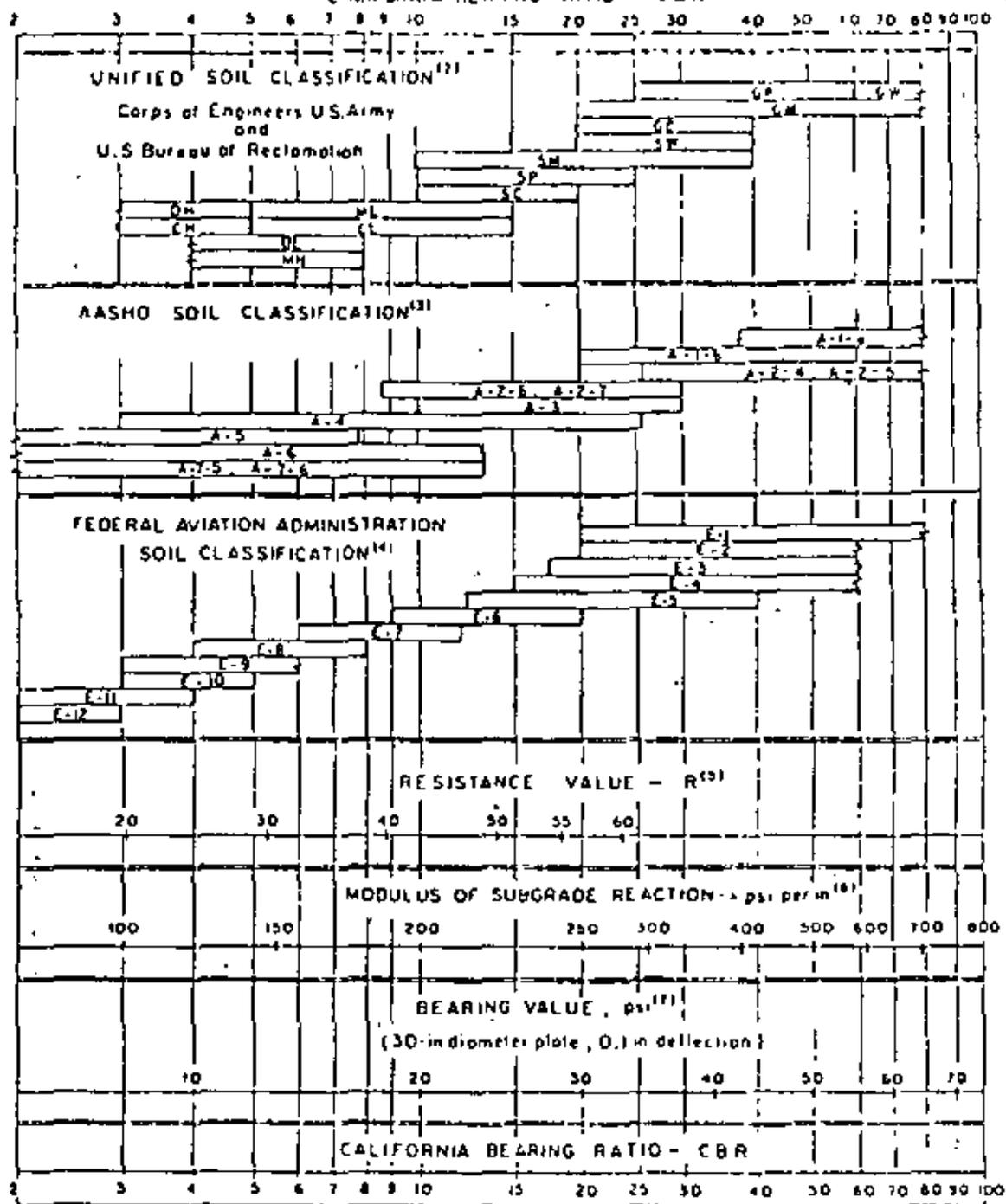


Fig. 22-1 Soil classification, resistance value, A-value, and bearing value vs. California bearing ratio.

(1) For the basic idea, see Porter, D. J., "Foundations for Flexible Pavements," Highway Research Board, *Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting*, 22, 100-136, 1942.

(2) "Characteristics of Soil Groups Pertaining to Roads and Airfields," Appendix B, *The Unified Soil Classification System*, U.S. Army Corps of Engineers, Technical Memorandum 3 357, 1953.

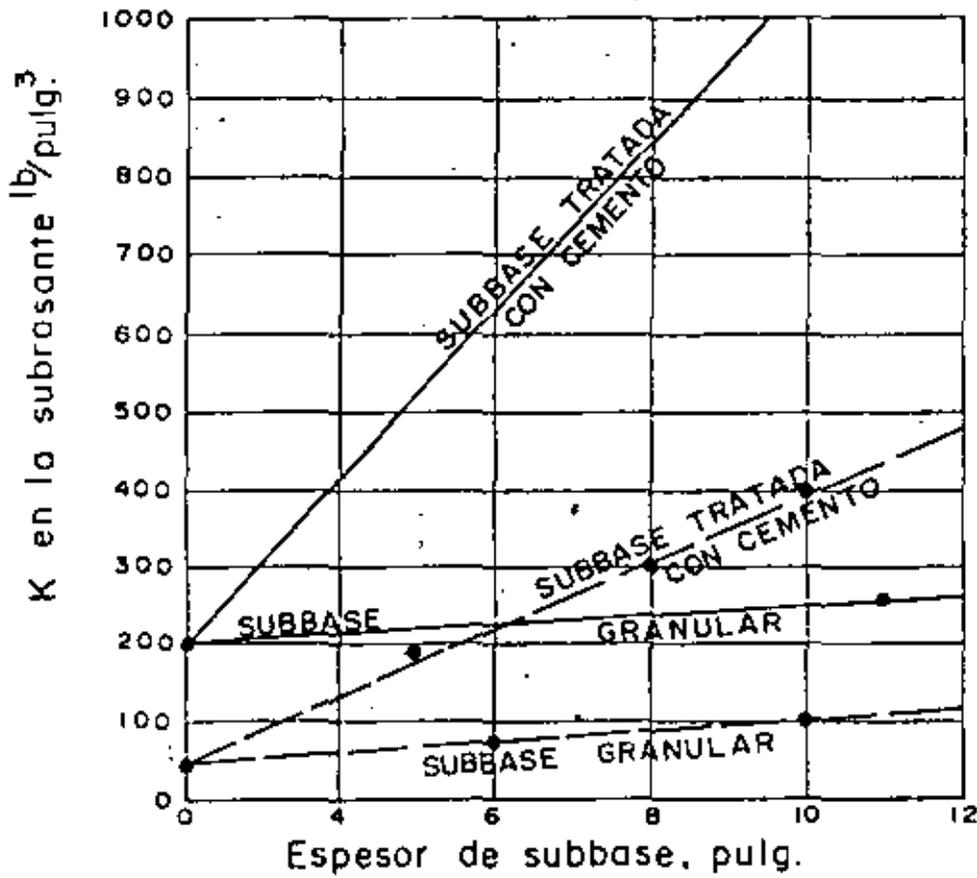
(3) "Classification of Highway Subgrade Materials," Highway Research Board, *Proceedings of the Twenty-fifth Annual Meeting*, 25, 376-392, 1945.

(4) *Airport Paving*, U.S. Department of Commerce, Federal Aviation Agency, pp. 11-16, May, 1948. Estimated using values given in *FAA Design Manual for Airport Pavements*.

(5) Hvem, F. N., "A New Approach for Pavement Design," *Engineering News Record*, 143(2), 134-139, July 8, 1948. R is factor used in California Stabilometer Method of Design.

(6) See Middlebrooks, T. A., and Berram, G. E., "Soil Tests for Design of Runway Pavements," Highway Research Board, *Proceedings of the Twenty-second Annual Meeting*, 22, 152, 1942. k is factor used in Westergaard's analysis for design of concrete pavements.

(7) See (6), page 184.



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

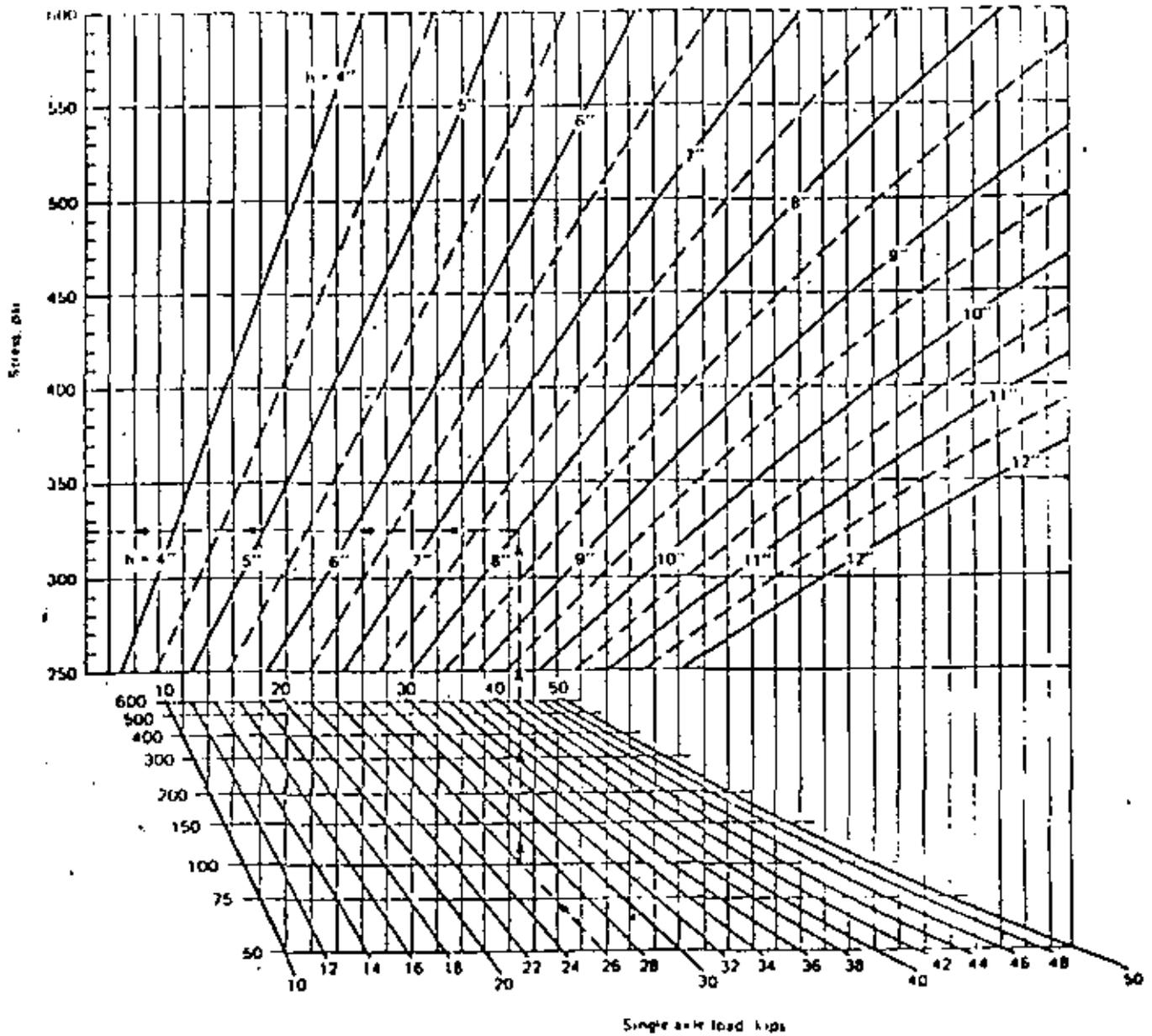


Fig. 27.2 Stress chart for single axle loads

Datos:

Subrasante, K=100 pci.

Factor seguridad (L.S.F.)=1.2

MR=700 psi.

Espesor de prueba = 8.5 pulg.

(60)

1	2	3	4	5	6	7
Cargas Eje Lbs	Cargas Eje = 1.2 L.S.F. Lbs	Esfuerzo psi	Relación Esfuerzos	Repeticiones Admisibles No.	Repeticiones Esperadas No.	Resistencia a fatiga Usada %

Ejes sencillos

30	36.0	367	.52	300,000	3,700	1
28	33.6	353	.51	400,000	3,700	1
26	31.2	328	<.50	limitada	7,400	0
24	28.8	-	-	-	193,000	0
22	26.4	-	-	-	764,000	0
		[44 Fig. 22-2]		[44 Table 22-4]		[Col. 6 + Col. 7 x 100]

Ejes tandem

54	64.8	413	.59	42,000	3,700	9
52	62.4	398	.57	75,000	3,700	5
50	60.0	387	.55	130,000	36,270	28
48	57.6	375	.54	180,000	36,270	20
46	55.2	363	.52	300,000	57,530	19
44	52.8	346	<.50	limitada	179,790	0
42	50.4	-	-	-	-	0
40	48.0	-	-	-	-	0
		[44 Fig. 22-3]		[44 Table 22-4]		[Col. 6 + Col. 7 x 100]

TOTAL 83

TABLE 10 BASE COURSE TYPES⁰

Specification	Type A (Open Graded)	Type B (Dense Graded)	Type C (Cement Treated)	Type D (Lime Treated)	Type E (Bituminous Treated)	Type F (Granular)
Sieve Analysis, % passing:						
1½ in.	100	100	100			* 100
¾ in.	60-90	85-100				
No. 4	35-60	50-80	65-100			65-100
No. 40	10-25	20-35	25-50			25-50
No. 200	0-7	5-12	5-20			0-15
(The minus No. 200 material should be held to a practical minimum.)						
Compressive strength: psi at 28 days			400-750	100		
Stability:						
Hveem stabilometer					20 min	
Hubbard-Field					1000 min	
Marshall stability					500 min	
Marshall flow					20 max	
Soil Constants:						
Liquid limit	25 max	25 max				25 max
Plasticity index ²	N.P.	6 max	10 max ³		6 max ⁴	6 max

⁰ From AASHO Interim Guide.

¹ To be determined by complete laboratory analysis, taking into consideration the ability of the stabilized mixture to resist under-slab erosion.

² As performed on samples prepared in accordance with AASHO Designation T 87.

³ These values apply to the mineral aggregate prior to mixing with the stabilizing agent.

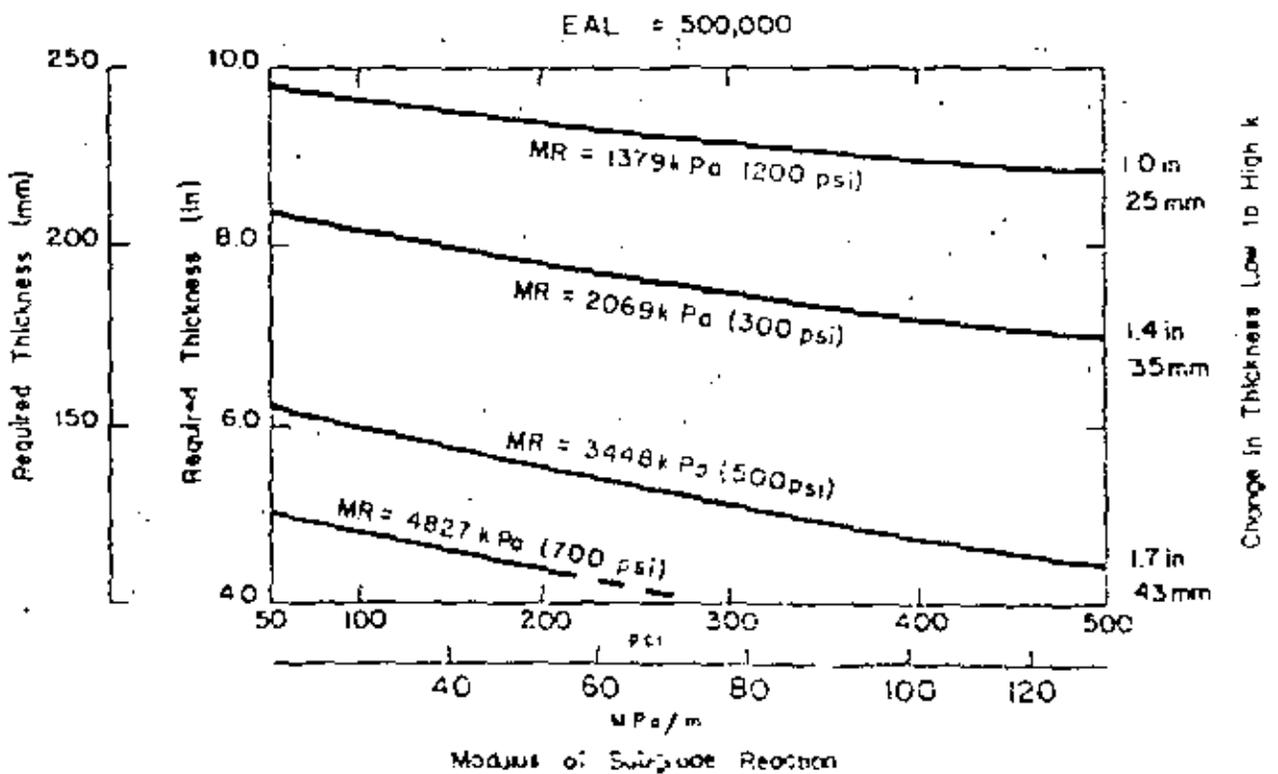
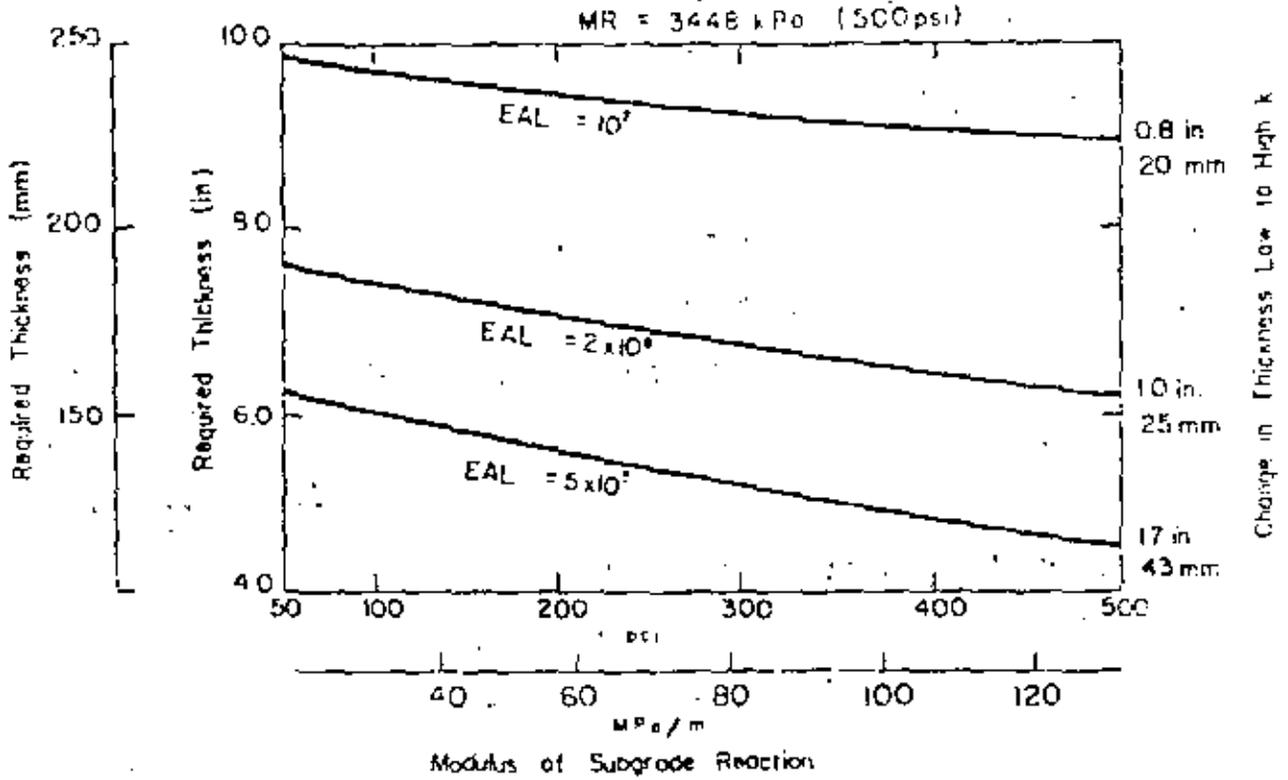
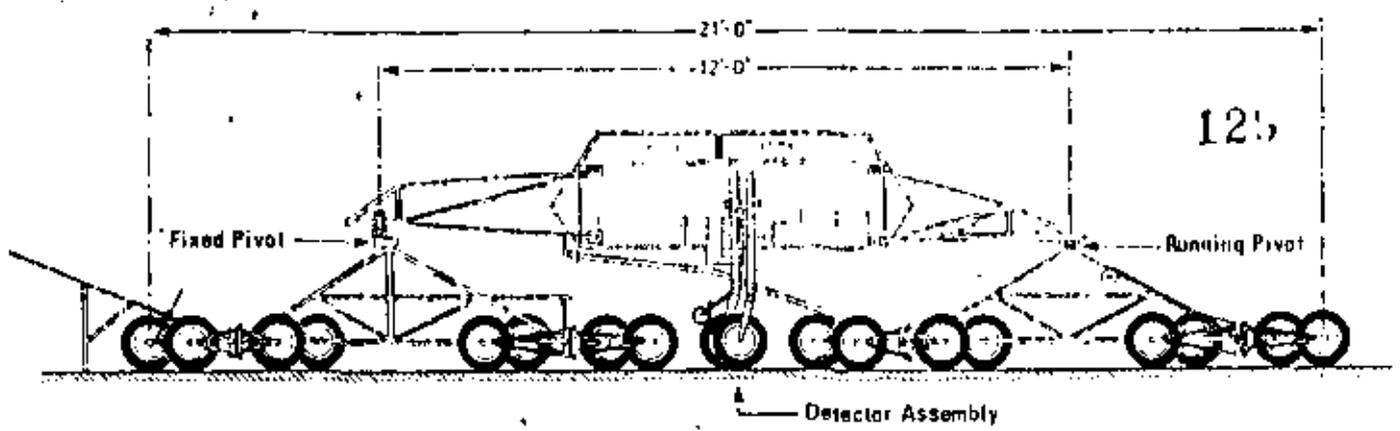
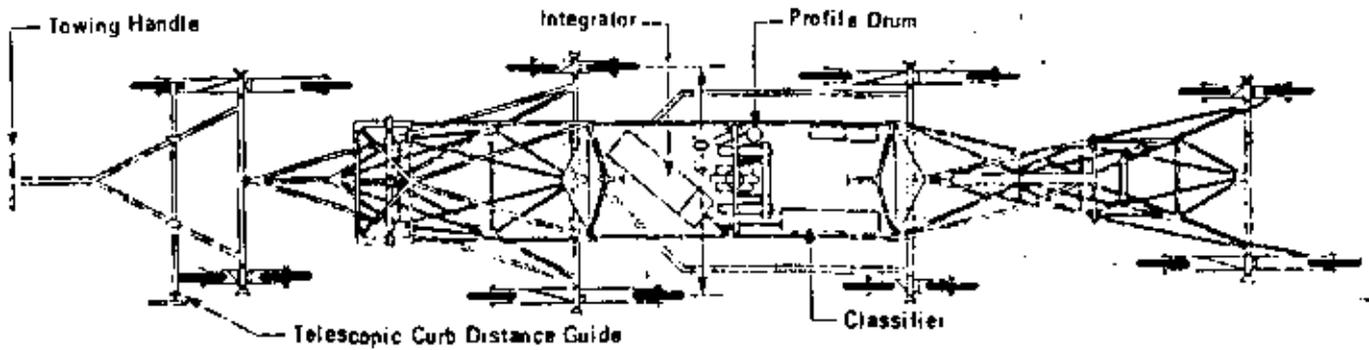


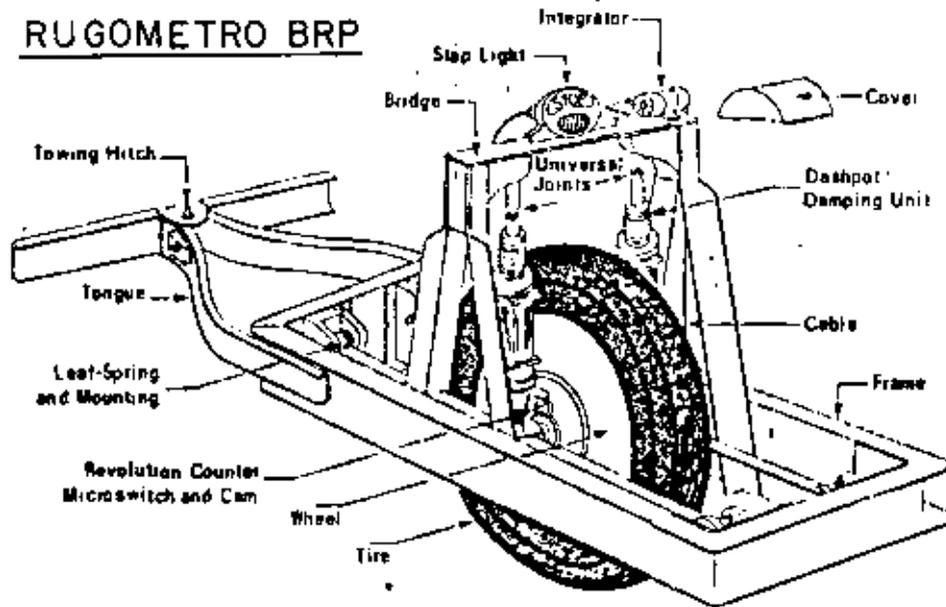
FIG. 18 EFFECT OF M.R., k AND EAL ON THICKNESS



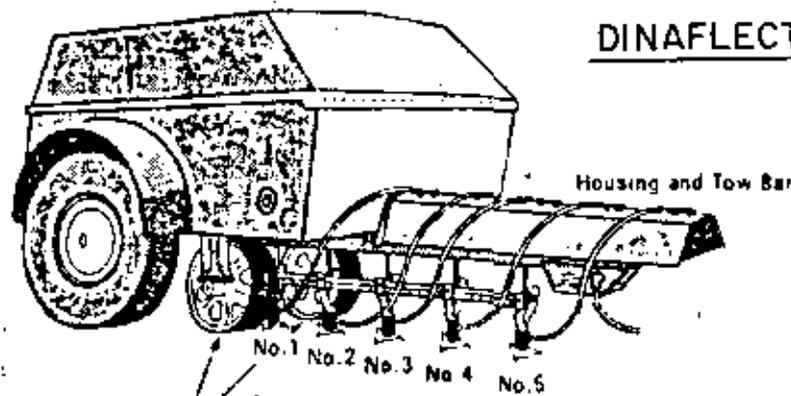
PERFILOGRAFO RRL



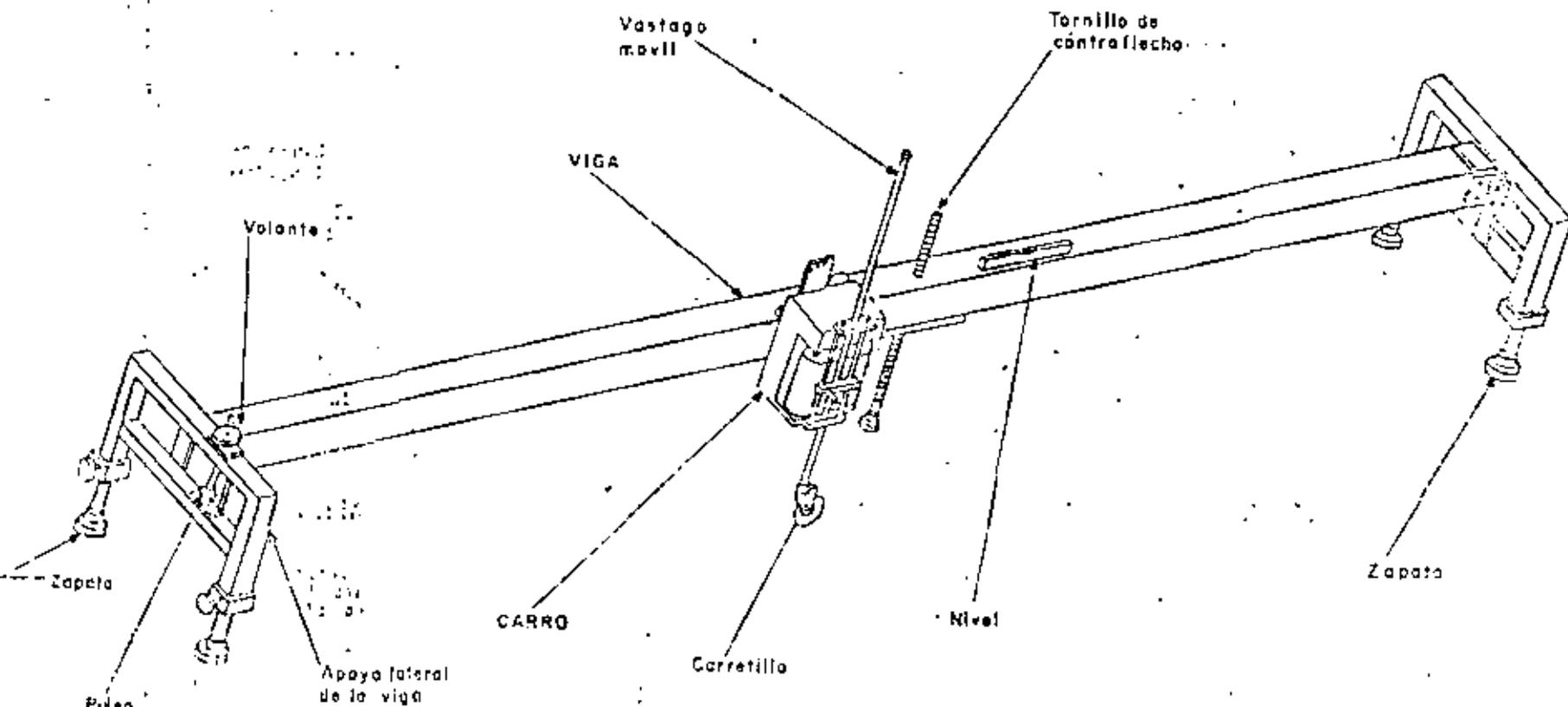
RUGOMETRO BRP



DINAFLECT



PERFILOGRAFO TRANSVERSAL DE LABORATORIO CENTRAL DE PARIS (212)



131

FIGURA Nº 21

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 (ASPALTICAS, 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

TRABAJOS DE REHABILITACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

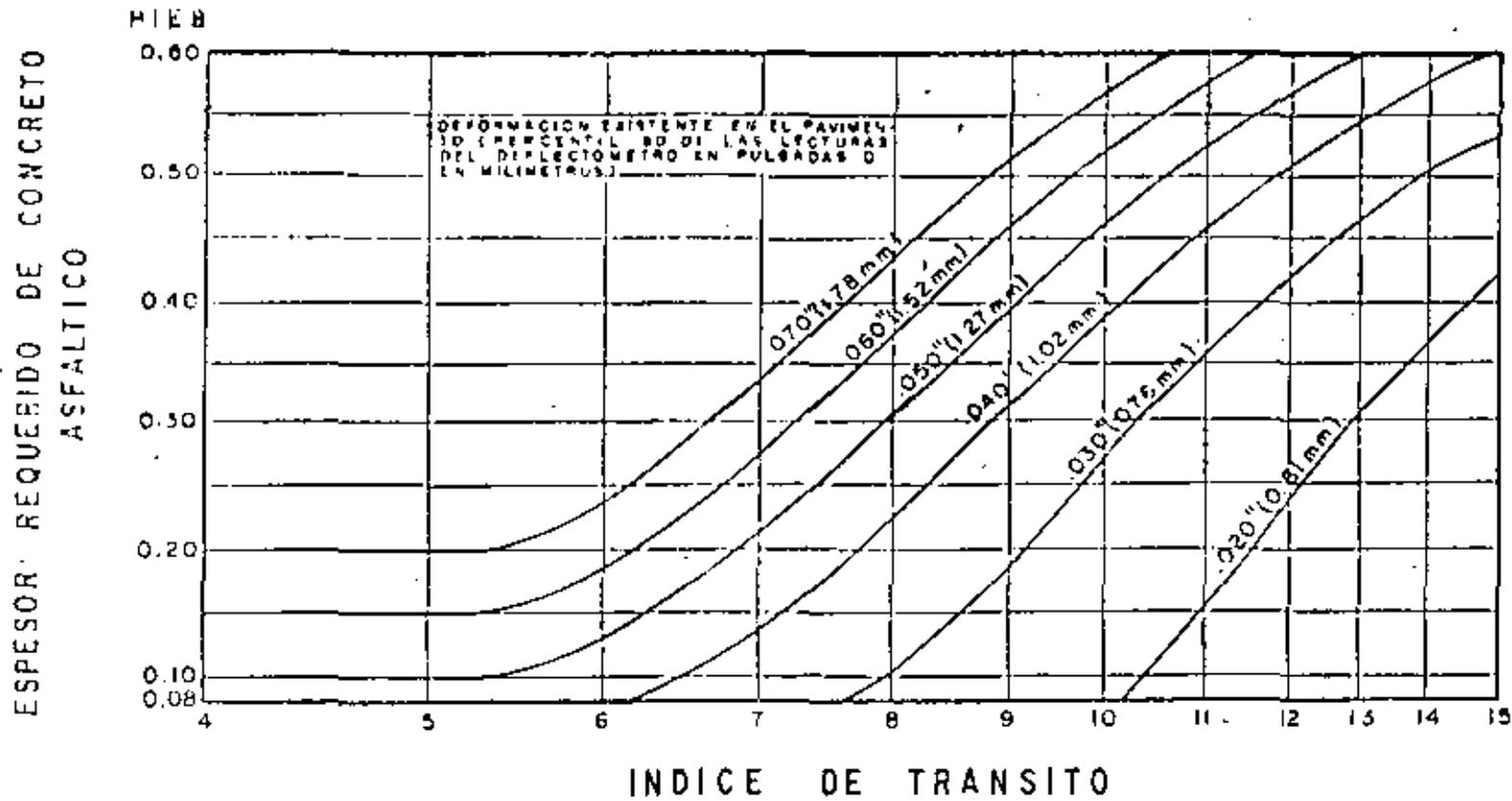
TIPO	APLICACION
- TRATAMIENTOS SUPERFICIALES	
RANURADO REBAJADO PRODUCTOS QUIMICOS	CORREGIR TEXTURA Y MEJORAR RESISTENCIA AL DERRAMAMIENTO.
CALAFATEO	RELLENO DE GRIETAS
SLURRY SEAL RIEGOS DE SELLO	CORREGIR TEXTURA Y DERRAMAMIENTO, IMPERMEABILIZAR, MEJORAR APARIENCIA.
- BACHEO	
SUPERFICIAL	CORREGIR FALLAS 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.

METODOS PARA VALUAR EL ESPESOR
REQUERIDO DE SOBRECARPETA

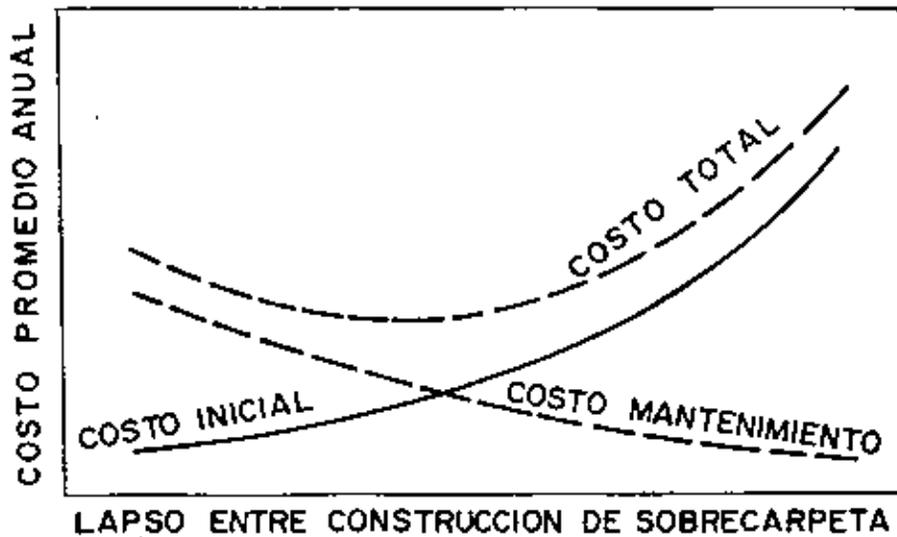
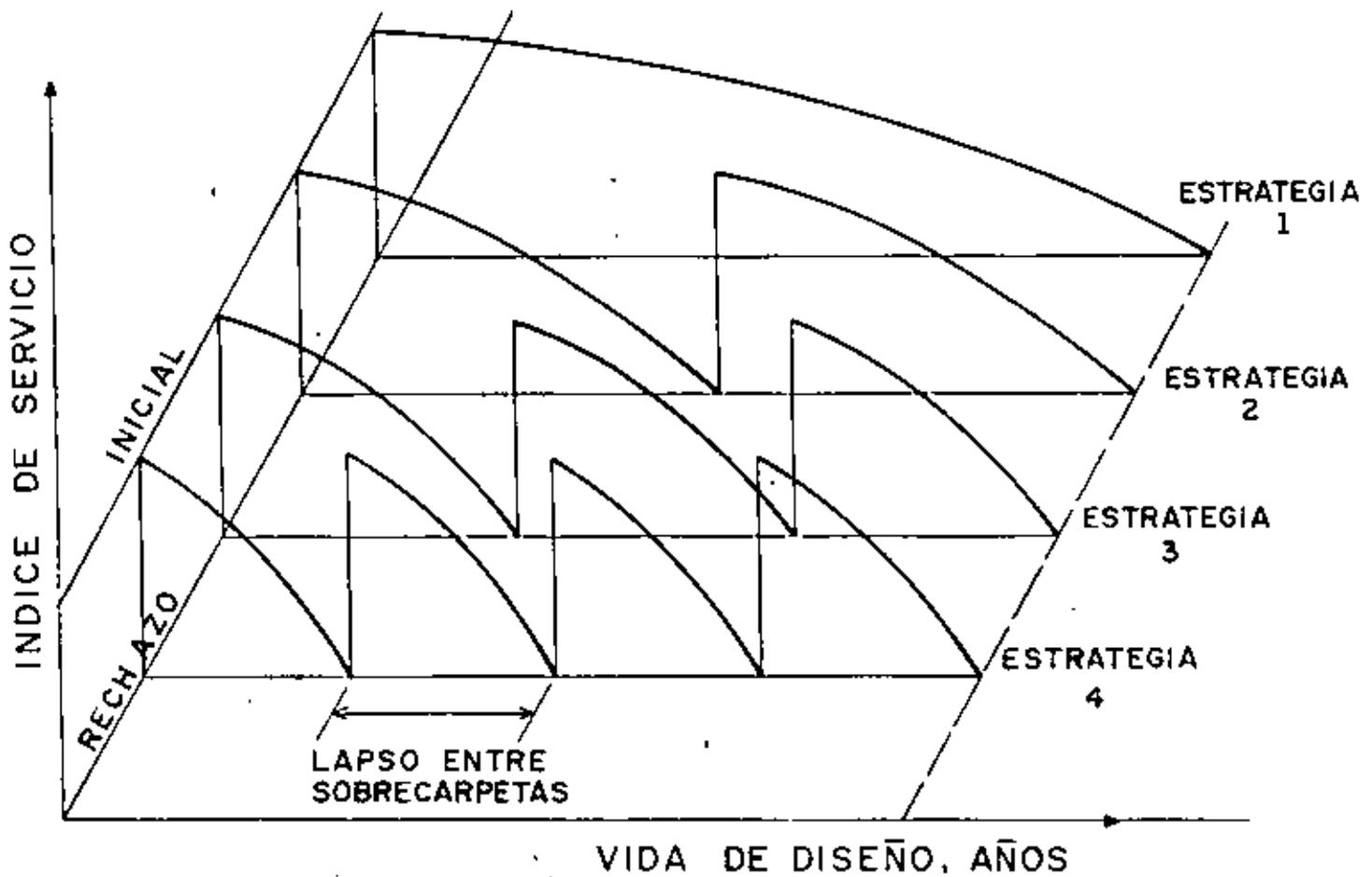
- 1.- ANALISIS COMPARATIVO ENTRE LA ESTRUCTURA EXISTENTE Y LA RECOMENDABLE, SEGUN UN -- DETERMINADO METODO DE DISEÑO.

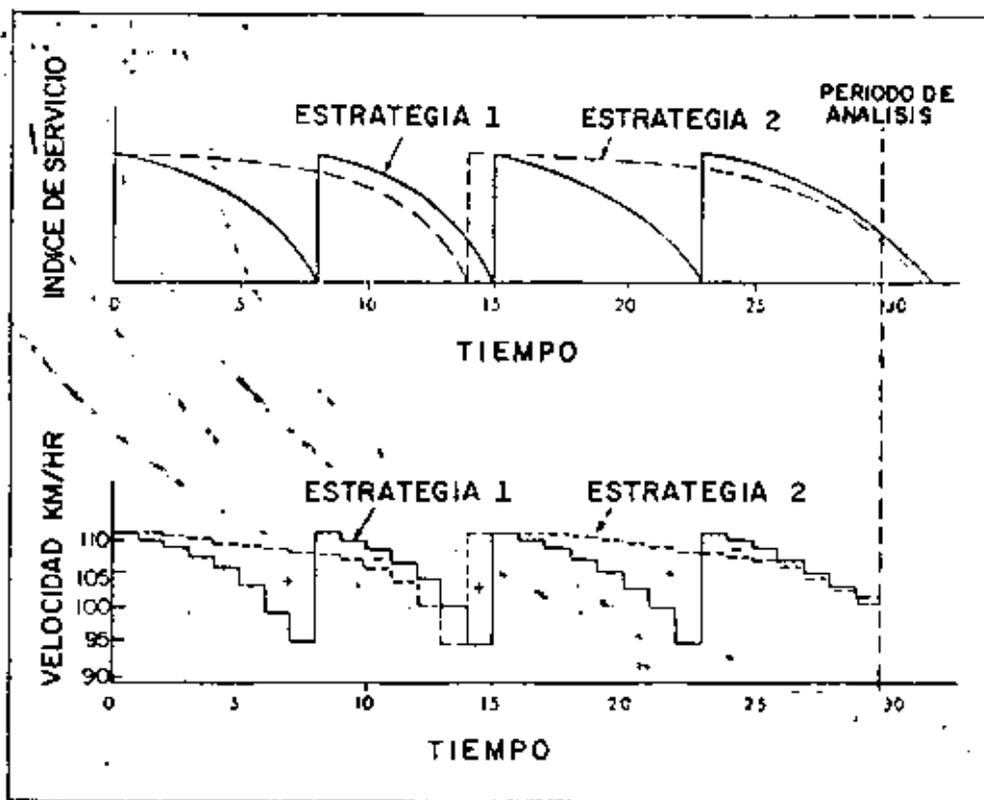
- 2.- ANALISIS DEL PAVIMENTO, A PARTIR DE LA DETERMINACION DE LA CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO EN SU CONJUNTO, DETERMINADA POR PRUEBAS REALIZADAS SOBRE LA ESTRUCTURA REAL DEL MISMO.
 - MEDICIONES DE DEFLEXIONES.
 - PRUEBAS DE PLACA.

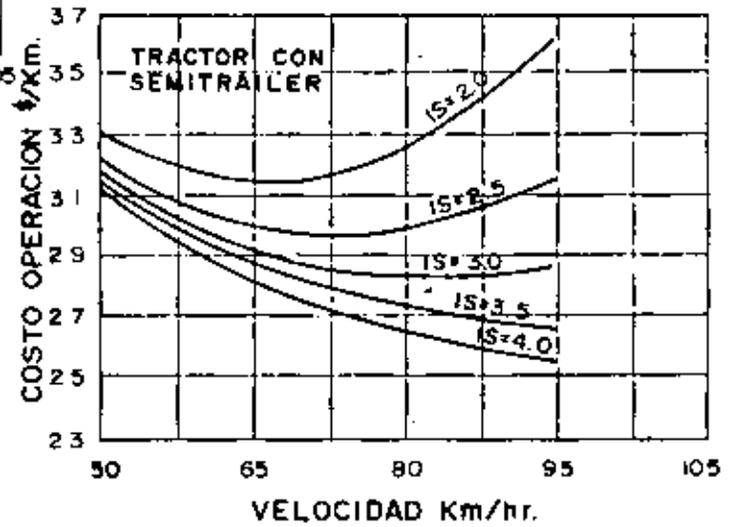
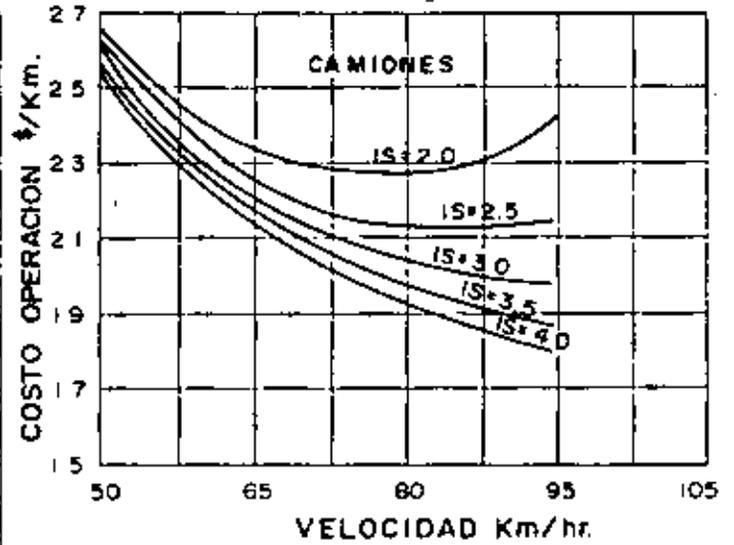
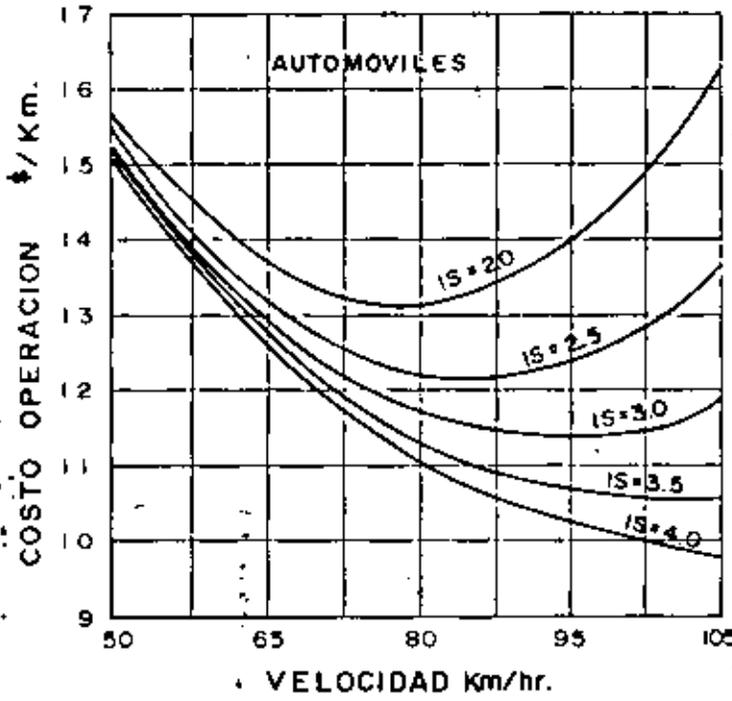
GRAFICA PARA DETERMINAR EL ESPESOR DE LA SOBRECARPETA DE CONCRETO ASFALTICO, A PARTIR DE LA DEFLECCION MEDIDA EN EL PAVIMENTO. (CALIFORNIA)



ANALISIS DE ESTRATEGIAS









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

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

MANTENIMIENTO MENOR Y MAYOR
ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES

M. EN C. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ

SEPTIEMBRE, 1983

"AEROPUERTO INTERNACIONAL DE LA CIUDAD DE MEXICO"

UN CASO ESPECIAL DE CONSTRUCCION Y CONSERVACION DE

PAVIMENTOS

Dentro de la red nacional aeroportuaria en México de 50 aeropuertos de mediano y largo alcance, el internacional de la Ciudad de México es considerado como un caso muy especial en cuanto a prácticas de mantenimiento y construcción. En 1325 los Aztecas fundaron la ciudad en el Lago de Texcoco. En 1933 se construyó el aeropuerto original en las afueras de la ciudad, pero desafortunadamente sobre los mismos terrenos secos del lago. El actual aeropuerto fue construido en la misma área en 1950 sobre el terreno pobre del lago, dotándosele de dos pistas principales y una tercera para aviación general.

Los efectos del bombeo indiscriminado, la evaporación y el crecimiento de la ciudad todo esto a través de los años, redujo el tamaño del lago en forma considerable, con un tipo de suelo de características físicas y mecánicas pobres con valor relativo de soporte de aproximadamente 0, un contenido de agua del 400%, arcillas expansivas con un comportamiento especial -- cuando se les seca y además suelo salitroso (a la fecha una fábrica está explotando la sal de esa zona).

Con esa calidad de suelo los técnicos mexicanos construyeron buenos pavimentos para el aeropuerto en cuestión con las técnicas de esa época y su comportamiento fue adecuado en general para las cargas y el tráfico de ese período. Pero con el tiempo, el volumen del tráfico y las cargas se incrementaron tremendamente hasta 800 operaciones por día actuales y con pistas colocadas sobre esa clase de suelo los pavimentos empezaron a comportarse como un montaña rusa con largos asentamientos diferenciales no uniformes, requiriéndose una sobrecarpeta de concreto asfáltico cada 6 meses para renivelar la longitud total.

1.- RESULTADOS ACTUALES

Dado el tipo de mantenimiento mayor previamente mencionado, el espesor total de la estructura del pavimento llegó a 2.10 mts. (1.5 mts. de car

peta asfáltica). El peso muerto de la estructura del pavimento sin cargas de aeronaves es tan pesado que produce los asentamientos mayores - no uniformes que requieren del mantenimiento mayor único especial y costoso (ver anexo de perfiles 1981).

2.- SOLUCIONES

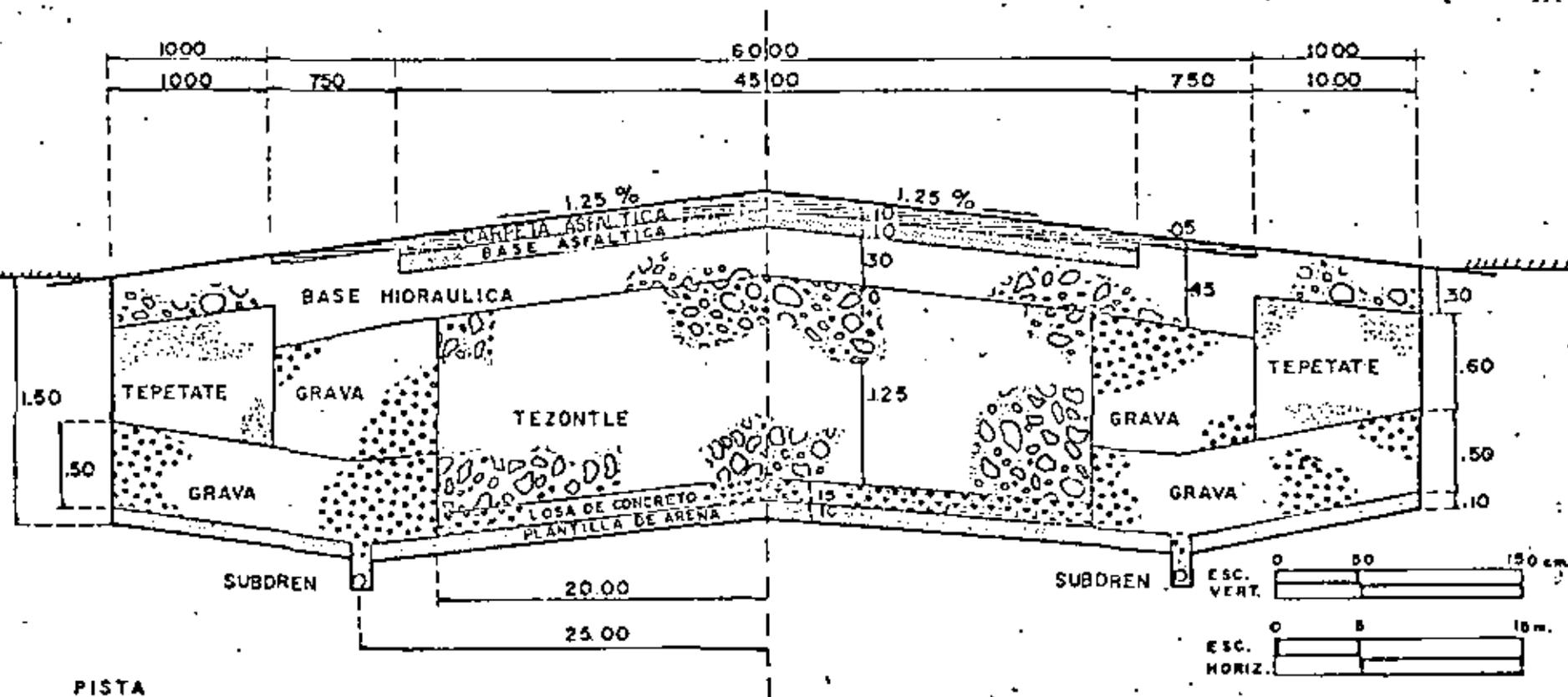
- a) Se trató en principio de desvastar al pavimento para su renivelación con las máquinas de la Dirección General de Aeropuertos de la Secretaría de Comunicaciones y Transportes, pero dado el alto número de operaciones, el tráfico durante 24 hrs. y las deformaciones permanentes mayores, se decidió por otro tipo de solución más expedita, como es el recarpetado frecuente.
- b) En base a los problemas previamente mencionados y con las nuevas técnicas de ingeniería para el diseño de pavimentos y su construcción, se efectuó un contrato con una compañía mexicana consultora que trabajó en forma coordinada con los ingenieros de la Dirección General de Aeropuertos, llegando al diseño efectivo de un nuevo pavimento llamado "Sección Compensada Flotante", por lo que las ampliaciones de las pistas existentes del aeropuerto de la Ciudad de México se construyeron de esa manera obteniéndose excelentes resultados desde 1961, 1972 y 1980.

El proyecto para el nuevo aeropuerto internacional de la Ciudad de México, localizado aproximadamente 10 kms. al Norte del actual, Sitio Texcoco, tendrá 4 pistas principales y una para aviación general. Hace aproximadamente 3 años se construyeron secciones experimentales del mismo tipo con pavimento de sección compensada, una para pista de 200 x 85 mts. y un segundo tramo para plataforma de 300 x 100 mts., para obtenerse un récord detallado del comportamiento en cuanto a asentamientos. (Ver anexo copia de la nueva sección compensada).

Febrero/1983.

RTG/grc.

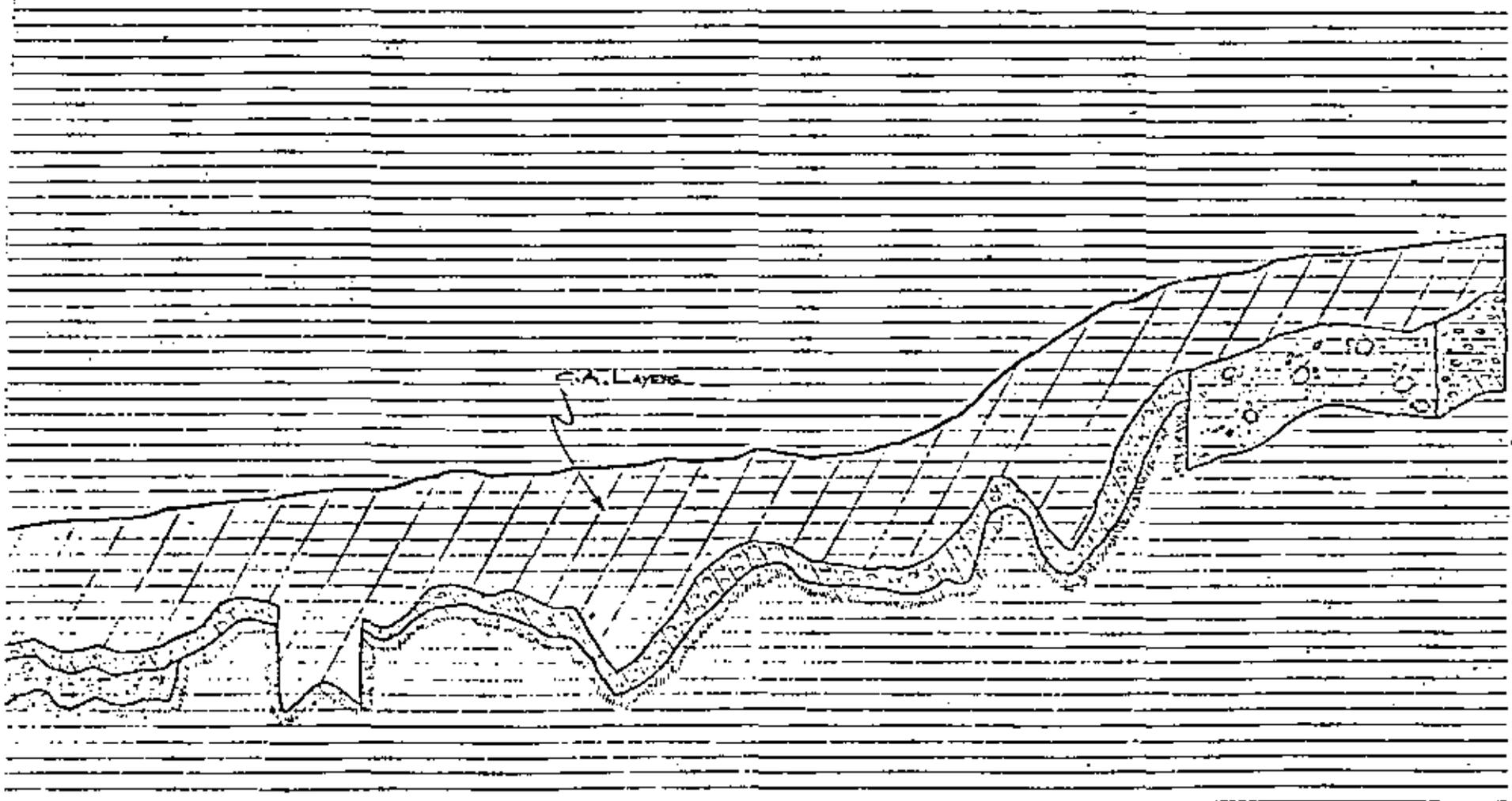
SECCION COMPENSADA A.I.C.M.





35.00
 34.80
 34.60
 34.40
 34.20
 34.00
 33.80
 33.60
 33.40
 33.20
 33.00
 32.80
 32.60
 32.40
 32.20
 32.00
 31.80
 31.60
 31.40
 31.20
 31.00
 30.80
 30.60
 30.40
 30.20
 30.00

CABECERA 05-1



1981 Perfiles de la Estructura del Pavimento de la pista 05I-23D del
 Aeropuerto Internacional de la Cd. de México.

CARRETERAS

"PROGRAMA LVR": VARIABLES DE ENTRADA NIVEL MEDIO PAVIMENTO FLEXIBLE

DISEÑO Y CONSERVACION

PR18 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP. LVR. VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

THE CONSTRUCTION MATERIALS UNDER CONSIDERATION ARE

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	35.00	.30	1.00	14.00	50.0	2.00
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	1.00
3	C THIRD LAYER SURGRADE	7.00	.10	3.00	15.00	50.0	1.00

THIS IS AN ACP ROAD.

TOTAL NUMBER OF INPUT MATERIALS, EXCLUDING SURGRADE	3
NO. OF LAYERS OF MATERIAL WHICH HAS PREVIOUSLY CONSTRUCTED	0
LENGTH OF THE ANALYSIS PERIOD (YEARS)	20.0
WIDTH OF EACH LANE (FEET)	12.0
ROAD WIDTH OF THE BASE (FEET)	26.0
SLOPE OF THE BASE IN RELATION TO L.S.	2.0
INTEREST RATE OR TIME VALUE OF MONEY (PERCENT)	0.0
REGIONAL FACTOR	1.0
SERVICEABILITY INDEX OF THE INITIAL STRUCTURE	4.0
SERVICEABILITY INDEX P1 AFTER AN OVERLAY	4.0
MINIMUM SERVICEABILITY INDEX P2	2.0
SWELLING CLAY PARAMETERS -- P2 PRIME	1.50
BI	0.000
MAX FUNDS AVAILABLE FOR INITIAL DESIGN (DOLLARS PER MILE)	15000.00
MAXIMUM ALLOWED THICKNESS OF INITIAL CONSTRUCTION (INCHES)	25.0
MINIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	1.0
ACCUMULATED MAXIMUM DEPTH OF ALL OVERLAYS (INCHES)	12.0
MAXIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	4.0
C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE O.O. (MILES)	.50
C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE N.O.O. (MILES)	.50
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.O. (PERCENT)	5.0
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN N.O.O. (PERCENT)	5.0
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.O. (HOURS)	1.00
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN N.O.O. (HOURS)	1.00
AVERAGE APPROACH SPEED TO THE OVERLAY ZONE (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN O.O. (MPH)	20.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN N.O.O. (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED OF THE GRADER OR S.C. TRUCK (MPH)	10.0
TRAFFIC MODEL USED IN THE ANALYSIS	2
NUMBER OF LANES OF THE ROAD	2
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS (DOLLARS/MILE)	.30
OPERATING COST FOR TRUCKS (DOLLARS/MILE)	1.50
TIME BETWEEN SEAL COAT (YEARS)	5.0
VALUES FOR THE MINIMUM TIME BETWEEN REHABILITATIONS (YEARS)	2.0

DISEÑO CON PAVIMENTO FLEXIBLE (TRES CAPAS)

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES & ALL AVERAGES

FOR THE 3 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	\$9 VALUE
1	A TOP LAYER	35.00	.30	1.00	10.00	50.0	2.00
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	0.60
3	C THIRD LAYER SURGRADE	7.00	.14	3.00	15.00	50.0	0.60
		4.00	2.00	0.00	4.00	2.0	0.00

3 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--
FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 4.00 INCHES
SECOND LAYER 3.75 INCHES
THIRD LAYER 5.50 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.03 YEARS

→ [2.2] THE OVERLAY SCHEDULE IS
2.00 INCHES (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.03 YEARS,
TOTAL LIFE = 21.00 YEARS

→ [2.3] SEAL COAT SCHEDULE
(1) 5.04 YEARS
(2) 12.03 YEARS
(3) 17.03 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER SQ. YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	0.550	9230.00
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.301	821.04
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1.135	15074.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.001	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.000	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.287	434.00
SALVAGE VALUE	0.000	-11370.05
TOTAL OVERALL COST	7.074	105230.18
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	10.493	110100.01
OPERATING COST FOR TRUCKS	10.493	110100.01

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 503

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING
BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES & ALL AVERAGES

A SUMMARY OF THE BEST DESIGN FOR EACH COMBINATION
OF MATERIALS, IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 12.0 FT.

DESIGN NUMBER	TOTAL COST
3	105230.18
2	107327.34
1	117070.05

ALL MATERIAL COMBINATIONS HAVE AT LEAST ONE FEASIBLE DESIGN.

"PROGRAMA LVR": VARIABLES DE ENTRADA NIVEL MEDIO CANINO REVESTIDO

PROB AGIA SENSITIVITY ANALYSIS FOR AGGREGATE SURFACED ROADS AVERAGE LEVEL

THE CONSTRUCTION MATERIALS UNDER CONSIDERATION ARE

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	-IN. DEPTH	+IN. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	12.00	.15	0.00	10.00	50.0	0.00
2	B SECOND LAYER SURGRADE	7.00	.10	0.00	14.00	50.0	0.00
		0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00

THIS IS AN AGGREGATE SURFACED ROAD EQUALLY IN CUT AND FILL (OVERLAYS FOR AGGREGATE SURFACED ROADS ARE AGGREGATE ADDITIONS)

TOTAL NUMBER OF INPUT MATERIALS, EXCLUDING SUBGRADE	2
NO. OF LAYERS OF MATERIAL WHICH WAS PREVIOUSLY CONSTRUCTED	0
LENGTH OF THE ANALYSIS PERIOD (YEARS)	20.0
WIDTH OF EACH LANE (FEET)	10.0
ROAD WIDTH OF THE BASE (FEET)	20.0
SLOPE OF THE BASE IN RELATION TO 1, 0	2.0
INTEREST RATE OR TIME VALUE OF MONEY (PERCENT)	0.0
REGIONAL FACTOR	1.0
SERVICEABILITY INDEX OF THE INITIAL STRUCTURE	0.2
SERVICEABILITY INDEX P1 AFTER AN OVERLAY	4.2
MINIMUM SERVICEABILITY INDEX P2	2.0
SWELLING CLAY PARAMETERS -- P2 PRIME	1.50
01	1200
MAX FUNDS AVAILABLE FOR INITIAL DESIGN (DOLLARS PER MILE)	10000.00
MAXIMUM ALLOWED THICKNESS OF INITIAL CONSTRUCTION (INCHES)	10.0
MINIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	3.0
ACCUMULATED MAXIMUM DEPTH OF ALL OVERLAYS (INCHES)	10.0
MAXIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	4.0
DISTANCE GRADER OPERATES BEFORE LETTING VEHICLES PASS. (MILES)	1.0
PERCENT OF ROAD SURFACING SMALLER THAN 3/4 IN. IN DIAMETER	05.0
C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE O.O. (MILES)	.50
C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE W.O.O. (MILES)	.50
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.O. (PERCENT)	5.0
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN W.O.O. (PERCENT)	5.0
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.O. (HOURS)	.100
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN W.O.O. (HOURS)	.100
AVERAGE APPROACH SPEED TO THE OVERLAY ZONE (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN O.O. (MPH)	20.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN W.O.O. (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED OF THE GRADER OR S.C. TRUCK. (MPH)	10.0
AVERAGE SPEED OF TRUCKS IN THE GRADING DIRECTION (MPH)	10.0
TRAFFIC MODEL USED IN THE ANALYSIS	2
NUMBER OF LANES OF THE ROAD	2
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS (DOLLARS/MILE)	.10
OPERATING COST FOR TRUCKS (DOLLARS/MILE)	1.50
TIME BETWEEN GRADING (YEARS)	.3
VALUES FOR THE MINIMUM TIME BETWEEN REHABILITATIONS (YEARS)	

DISEÑO DEL CAMINO REVESTIDO (UNA CAPA)

PROB 4614 SENSITIVITY ANALYSIS FOR AGGREGATE SURFACED ROADS AVERAGE LEVEL

FOR THE 1 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	IS VALUE
1	TOP LAYER	12.00	.15	0.70	10.00	50.0	0.00
	SUBGRADE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00

1 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--
FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 11.00 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 2.00 YEARS

- (5) THE AGGREGATE ADDITION SCHEDULE IS
- 3.00 INCHES) AFTER 2.00 YEARS.
 - 3.00 INCHES) AFTER 4.50 YEARS.
 - 6.00 INCHES) AFTER 7.00 YEARS.
 - 3.00 INCHES) AFTER 11.00 YEARS.
 - 3.00 INCHES) AFTER 15.00 YEARS.
 - 3.00 INCHES) AFTER 18.00 YEARS.
- TOTAL LIFE = 25.00 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER 10.00	PER -11C
INITIAL CONSTRUCTION COST	0.000	7000.00
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.120	2120.72
TOTAL AGGREGATE ADD. CONST. COST	3.200	3200.00
TOTAL DELAY COST DURING		
AGGREGATE ADDITIONS	.000	133.00
TOTAL DELAY COST DURING		
GRADING	.000	00.00
TOTAL GRADING COST	.000	00.00
SALVAGE VALUE	-0.001	-100.00
TOTAL OVERALL COST	7.017	12512.72
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	10.137	10137.00
OPERATING COST FOR TRUCKS	10.137	10137.00

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 2

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

1. THE MINIMUM TIME TO THE FIRST AGGREGATE ADDITION

2. THE MAXIMUM ALLOWED CUMULATIVE AGGREGATE ADDITION THICKNESS

THK10	THK20	TTOT0	TAGG0	TRUT0	TAGS0	DESIGN
6.00	6.00	2.00	4.00	.10	1.27	DESIGN0
7.00	6.00	2.00	4.00	.10	2.40	DESIGN0
8.00	6.00	2.00	4.00	.10	2.43	DESIGN0
9.00	6.00	2.00	4.00	.10	2.72	DESIGN0
10.00	6.00	2.00	4.00	.10	3.44	DESIGN0
11.00	6.00	2.00	4.00	.10	4.22	DESIGN0
12.00	6.00	2.00	4.00	.10	4.97	DESIGN0
13.00	6.00	2.00	4.00	.10	5.69	DESIGN0
14.00	6.00	2.00	4.00	.10	6.38	DESIGN0
15.00	6.00	2.00	4.00	.10	7.04	DESIGN0
16.00	6.00	2.00	4.00	.10	7.68	DESIGN0
17.00	6.00	2.00	4.00	.10	8.30	DESIGN0
18.00	6.00	2.00	4.00	.10	8.91	DESIGN0
19.00	6.00	2.00	4.00	.10	9.50	DESIGN0
20.00	6.00	2.00	4.00	.10	10.07	DESIGN0
21.00	6.00	2.00	4.00	.10	10.62	DESIGN0
22.00	6.00	2.00	4.00	.10	11.16	DESIGN0
23.00	6.00	2.00	4.00	.10	11.69	DESIGN0
24.00	6.00	2.00	4.00	.10	12.22	DESIGN0
25.00	6.00	2.00	4.00	.10	12.74	DESIGN0
26.00	6.00	2.00	4.00	.10	13.26	DESIGN0
27.00	6.00	2.00	4.00	.10	13.77	DESIGN0
28.00	6.00	2.00	4.00	.10	14.28	DESIGN0
29.00	6.00	2.00	4.00	.10	14.78	DESIGN0
30.00	6.00	2.00	4.00	.10	15.28	DESIGN0
31.00	6.00	2.00	4.00	.10	15.77	DESIGN0
32.00	6.00	2.00	4.00	.10	16.27	DESIGN0
33.00	6.00	2.00	4.00	.10	16.76	DESIGN0
34.00	6.00	2.00	4.00	.10	17.25	DESIGN0
35.00	6.00	2.00	4.00	.10	17.74	DESIGN0
36.00	6.00	2.00	4.00	.10	18.23	DESIGN0
37.00	6.00	2.00	4.00	.10	18.72	DESIGN0
38.00	6.00	2.00	4.00	.10	19.21	DESIGN0
39.00	6.00	2.00	4.00	.10	19.70	DESIGN0
40.00	6.00	2.00	4.00	.10	20.19	DESIGN0
41.00	6.00	2.00	4.00	.10	20.68	DESIGN0
42.00	6.00	2.00	4.00	.10	21.17	DESIGN0
43.00	6.00	2.00	4.00	.10	21.66	DESIGN0
44.00	6.00	2.00	4.00	.10	22.15	DESIGN0
45.00	6.00	2.00	4.00	.10	22.64	DESIGN0
46.00	6.00	2.00	4.00	.10	23.13	DESIGN0
47.00	6.00	2.00	4.00	.10	23.62	DESIGN0
48.00	6.00	2.00	4.00	.10	24.11	DESIGN0
49.00	6.00	2.00	4.00	.10	24.60	DESIGN0
50.00	6.00	2.00	4.00	.10	25.09	DESIGN0
51.00	6.00	2.00	4.00	.10	25.58	DESIGN0
52.00	6.00	2.00	4.00	.10	26.07	DESIGN0
53.00	6.00	2.00	4.00	.10	26.56	DESIGN0
54.00	6.00	2.00	4.00	.10	27.05	DESIGN0
55.00	6.00	2.00	4.00	.10	27.54	DESIGN0
56.00	6.00	2.00	4.00	.10	28.03	DESIGN0
57.00	6.00	2.00	4.00	.10	28.52	DESIGN0
58.00	6.00	2.00	4.00	.10	29.01	DESIGN0
59.00	6.00	2.00	4.00	.10	29.50	DESIGN0
60.00	6.00	2.00	4.00	.10	30.00	DESIGN0

COSTOS CAMINO REVESTIDO (NIVEL MEDIO)

PROB AGIA SENSITIVITY ANALYSIS FOR AGGREGATE SURFACED ROADS AVERAGE LEVEL

A SUMMARY OF THE BEST DESIGN FOR EACH COMBINATION
OF MATERIALS, IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 14.8 FT.

DESIGN NUMBER	TOTAL COST
2	123349.14
1	125127.07

ALL MATERIAL COMBINATIONS HAVE AT LEAST ONE FEASIBLE DESIGN.



DIRECCIÓN GENERAL DE AEROPUERTOS
DEPARTAMENTO TÉCNICO
OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

CONSERVACION DE PAVIMENTOS
RIGIDOS

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
- Desintegración del concreto.	- Materiales poco durables. - Condiciones severas del clima. - Ciclos de hielo - deshielo. - Exceso o nulo aire incluido.	- Demoler y reponer el pavimento defectuoso.
Superficies con escamas o costuras.	- Colocación del concreto con exceso de agua. - Acabados excesivos de la superficie. - Impurezas en los agregados. - Utilización de productos químicos en la superficie.	- Parchar con mortero de cemento y resinas epóxicas u otro adhesivo. - Parchar con mezcla asfáltica. - Si no hay agujeros profundos, aplicar una o mas capas de mortero asfáltico.
Astillamientos o desconchamientos cercanos a las juntas.	- Infiltración de materiales no compresibles en la junta. - Impedimento de movimiento del pasejuntas. - Concreto poco resistente. - Manejo inadecuado de las cimbras durante la construcción.	- Eliminar previamente la causa. - Hacer cajón y reponer el concreto; utilizar resina epóxica u otro adhesivo adecuado. - Sellar la junta. - Solución alternativa: parchar con concreto asfáltico. - Solución alternativa: parchar con insertos prefabricados fijados con adhesivo epóxico.
Defectos en la superficie: - Surcos - Lavaderos - Ranuras - Ondulaciones - Baños de pájaros.	Control pobre durante la colocación del concreto.	Para defectos muy localizados parchar individualmente con mortero de cemento y resinas epóxicas, o con mezcla asfáltica. - Para áreas defectuosas muy extensas, repavimentar.
Grietas longitudinales y transversales.	- Contracción por cambios de temperatura. - Contracción de frezado. - Alabeos. - Movimiento en la cimentación. - Falla de estructura.	- Sellar la grieta con material flexible. - O soldar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros eliminando previamente la causa del problema. - Demoler y sustituir la grieta por una junta.
Grietas en esquina y en diagonal.	- Falla estructural debida a las cargas sobre esquinas carentes de apoyo.	Si la grieta forma un pequeño triángulo en la esquina de la losa: - Remover el material dañado y parchar con concreto asfáltico. Sellar la junta. - O remover el material dañado y parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado, si se ha eliminado la causa del problema. Si la grieta está mas al centro de la losa: - Sellar la grieta con material flexible para evitar infiltraciones. - Soldar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros, eliminando previamente la causa del problema.



DIRECCIÓN GENERAL DE AEROPUERTOS
DEPARTAMENTO TÉCNICO
OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

CONSERVACIÓN DE PAVIMENTOS
RIGIDOS

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Hundimientos diferenciales. Arietamientos con hundimientos.	<ul style="list-style-type: none"> - Inestabilidad de la subbase y subrasante. - Inadecuada transferencia de cargas entre losas. - "Bombeo" de los materiales de cimentación. - Subdrenaje defectuoso. - Progresión de otras fallas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Levantar las losas hundidas mediante la inyección de asfalto con arena o de mortero de cemento. Sellar previamente las juntas o grietas hasta la mitad. - Nivelar el pavimento aplicando una capa de concreto hidráulico y resinas epóxicas, o aplicando concreto asfáltico. - Si los hundimientos van acompañados de arrietamientos considerables, demoler las losas, hacer caja y parchar con concreto hidráulico. Utilizar fierro de refuerzo y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado. - Si el área fallada es muy extensa repavimentar utilizando el pavimento viejo como base.
Losas que se "botan".	<ul style="list-style-type: none"> - Excesiva expansión de las losas. - Material no compresible en las juntas, que impide que las losas se expandan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover la parte dañada. - Parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado, o parchar con concreto asfáltico. - Proveer una junta de expansión. - Sellar la junta.
Cortes en el pavimento.	Necesidad de tender una tubería, una obra de drenaje, ductos eléctricos, o alguna otra instalación.	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar la losa al menos 15 cm más allá de la orilla de la zanja. - Excavar la zanja con cuidado. - Rellenar en capas perfectamente compactadas. - Parchar con concreto hidráulico en el espesor de la losa más 5 cm, hacia abajo. - Utilizar fierro de refuerzo y adhesivo a base de resinas epóxicas u otro producto adecuado.
Juntas o grietas sin sellar.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de limpieza de las caras de las juntas al sellarlas originalmente. - Temperatura indebida al aplicar el sello. - Calidad inadecuada del material de sellado. - Aparición de nuevas grietas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Quitar el material de sello defectuoso. - Limpiar las juntas y sellar debidamente. - Si allora material sellante cuando la temperatura ambiente no es muy alta, eliminar el excedente.
Acumulación de caucho en la superficie que origina - se reduzca el coeficiente de rozamiento.	Número considerable de operaciones de aterrizaje en la pista.	<ul style="list-style-type: none"> - Proceder al ranurado transversal y/o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado. - Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción. - Solución alternativa: eliminar el caucho con productos químicos y/o agua a presión (no muy recomendable).
Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones en los aviones.	<ul style="list-style-type: none"> - Poco control durante la construcción. - Equipo inadecuado para el colado. - Fallas del pavimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado. - Controlar los trabajos por medio de perfilógrafo. - Solución alternativa: Tender sobrecarpeta (generalmente es una solución más costosa).
<p>NOTA: Se recomienda que en todos los casos, los procedimientos de construcción, utilización y elaboración de materiales, se sujeten a las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.</p>		



DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS
DEPARTAMENTO TECNICO
OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Erosión del Pavimento.	<ul style="list-style-type: none"> - El chorro de las turbinas; - El paso de las ruedas de los aviones a gran velocidad; y/o - Pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto, causada por: <ul style="list-style-type: none"> - elaboración defectuosa del concreto asfáltico; - agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto; - efectos circunstanciales (p.ej. derrames de combustibles y lubricantes) 	<ul style="list-style-type: none"> - Si la erosión está en la etapa inicial, aplicar un riego de mortero asfáltico; evitar el uso de riegos de sello. - Si la erosión se ha profundizado mucho, darle tratamiento similar al de un bache. - Cuando se presenten derrames de combustibles, lavar inmediatamente el área afectada de manera de diluir y eliminar el líquido disolvente (mantenimiento preventivo)
Disgregación o desmoronamiento.	<ul style="list-style-type: none"> - Insuficiente compactación durante la construcción. - Colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío. - Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto. - Falta de asfalto en la mezcla; y/o - Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica. 	<ul style="list-style-type: none"> - Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico. - Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, reencarpetar
Agujeros	<ul style="list-style-type: none"> - Poca resistencia de la carpeta en la zona, debida a: - Falta de asfalto en la mezcla - Falta de espesor de carpeta - Exceso o carencia de finos en la mezcla, y/o - Drenaje deficiente. 	<ul style="list-style-type: none"> - Reparación temporal: Limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar. - Reparación permanente: Efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; limpiar las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar
Segrado o Aflojamiento de Asfalto.	<ul style="list-style-type: none"> - Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica. - Construcción inadecuada del sello - Riego de liga o de impregnación excesivos. - Solventes que acarrear el asfalto a la superficie. - El paso de las cargas del tráfico pesado puede acelerar el segrado. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y aplicar un tratamiento superficial (Mortero asfáltico)
Oxidación del Asfalto	<ul style="list-style-type: none"> - Excesivo intemperismo del asfalto por agentes meteorológicos y/o por el escape de las turbinas a altas velocidades y temperaturas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico. - O aplicar un producto rejuvenecedor ("Reclamante")
Corrimientos de la Carpeta	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de adherencia entre la carpeta y la base, debida a: - Impurezas situadas entre las dos capas (Polvo, aceite, caucho, - igual - Falta de riego de liga durante la construcción del pavimento. - Exceso del contenido de arena en la mezcla. - Inadecuada compactación durante la construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover la carpeta afectada y por lo menos 30 cm de la carpeta circundante en buen estado; efectuar cortes rectangulares con sus paredes verticales. - Limpiar con cepillo y aire a presión. - Aplicar riego de liga ligero. - Colocar la mezcla asfáltica; extender con baldío para evitar segregación. - Compactar adecuadamente con placa vibratoria o rodillo metálico.



DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS
DEPARTAMENTO TECNICO
OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Corrientes Circulares.	<ul style="list-style-type: none"> - Giro de los aviones muy cerrado - Poca capacidad del pavimento, para resistir esfuerzos de tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sellar la grieta si no es muy profunda. - Abrir caja y reponer el material si la falla se prolongó hasta las capas inferiores del pavimento.
Corrugaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas del tráfico y - Concreto asfáltico de poca estabilidad debido a: <ul style="list-style-type: none"> - exceso de asfalto en la mezcla. - exceso de agregados finos. - agregados pétreos demasiado redondeados o lisos. - cemento asfáltico demasiado blando. - humedad excesiva - contaminación por derrame de aceites. - falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica (cuando se emplean asfaltos rebajados) 	<ul style="list-style-type: none"> - Si las corrugaciones son pocas, recortar las irregularidades sobresalientes y aplicar a la superficie un mortero asfáltico. - Si las corrugaciones son excesivas, remover la zona afectada y colocar concreto asfáltico bien proporcionado - Si hay subdrenaje defectuoso, este debe ser corregido previamente.
Hundimientos o Depresiones	<ul style="list-style-type: none"> - Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento. - Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento. - Asentamientos del terreno de cimentación - Flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la pista (en algunos suelos arcillosos). 	<ul style="list-style-type: none"> - Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, efectuar una retemplación. - Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, repararlas previamente, lo que requerirá la remoción del pavimento. - Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla.
Canalizaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Consolidación o movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes provocada por el tráfico. - Carpetas nuevas mal compactadas. - Baja estabilidad del concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Nivelar las depresiones y - Colocar una sobrecarpeta
Grietas longitudinales de orilla y de junta.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de soporte lateral o - Asentamientos del material cercano a la grieta, debidos a: <ul style="list-style-type: none"> - Drenaje defectuoso - Acción de las heladas. - Contracciones por secado del suelo de cimentación. - Vegetación cercana a la orilla del pavimento. - Débil unión entre dos franjas de construcción de la carpeta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Corregir el drenaje si está defectuoso. - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. - Si existen además asentamientos: picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria.
Grietas Transversales	<ul style="list-style-type: none"> - Asentamientos aislados de la subrasante, base o subbase (p.ej. cuando el pavimento se cruzado por tuberías o ductos). - Movimientos mas generales y mas amplios del suelo de cimentación - (p. ej. grietas por secado de suelos arcillosos; grietas por movimientos telúricos; grietas por fallas geológicas activas) 	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. - Si existen además asentamientos: picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria. - Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de materiales, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactando adecuadamente. - Si la falla es debida a movimientos generales del suelo, se puede intentar reducir sus efectos - colocando una sobrecarpeta provista de una malla de acero de refuerzo sobre la zona afectada.



DIRECCION GENERAL DE AEROPUERTOS
DEPARTAMENTO TECNICO
OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Grietas de Contracción.	<ul style="list-style-type: none"> - Cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores. - Cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas, que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración. - La falta de tráfico apresura la falla. - Diferentes colores de la superficie del pavimento (p.e. marcas de pintura) que provocan diferentes absorciones térmicas de los rayos del sol. 	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión; rellenar las grietas con producto asfáltico o emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico. - Si existe pintura, raspar previamente.
Grietas de Reflexión.	<ul style="list-style-type: none"> - Movimientos verticales y horizontales en el pavimento que se encuentre debajo de una sobrecarpeta. - Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones. - El peso del tráfico. - Movimientos de tierra. - Pérdida de humedad en subrasante con alto contenido de arcillas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Rellenar las grietas.
<ul style="list-style-type: none"> - Agrietamientos tipo piel de cocodrilo. - Agrietamientos tipo mapa. 	<ul style="list-style-type: none"> - Deflexiones excesivas de la carpeta, debidas a una subrasante, sub-base y/o base inestable o resilientes. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme; efectuar cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales; - Instalar sub-drenaje si la causa de la falla fué el agua; - Aplicar un riego de impregnación a las paredes; - Rellenar con mezcla asfáltica; - Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene mas de 15 cm. de profundidad) - Reparación temporal de emergencia: aplicar un mortero asfáltico. En caso de haber hundimientos; rellenar las grietas y rehervelar con mezcla asfáltica.
Crecimiento de yerba y afloramiento de agua.	<ul style="list-style-type: none"> - Textura de la carpeta demasiado abierta. - Capa base saturada de agua. - Agua atrapada en la carpeta durante la construcción. 	<ul style="list-style-type: none"> - Corregir el sub-drenaje y/o el drenaje si estos fueron la causa de la falla. - Reponer el pavimento alterado. - Aplicar un tratamiento superficial a la base de mortero asfáltico a la zona de carpeta de textura muy abierta.



DIRECCIÓN GENERAL DE AEROPUERTOS
DEPARTAMENTO TÉCNICO
OFICINA DE ESTUDIOS ESPECIALES

CONSERVACION DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

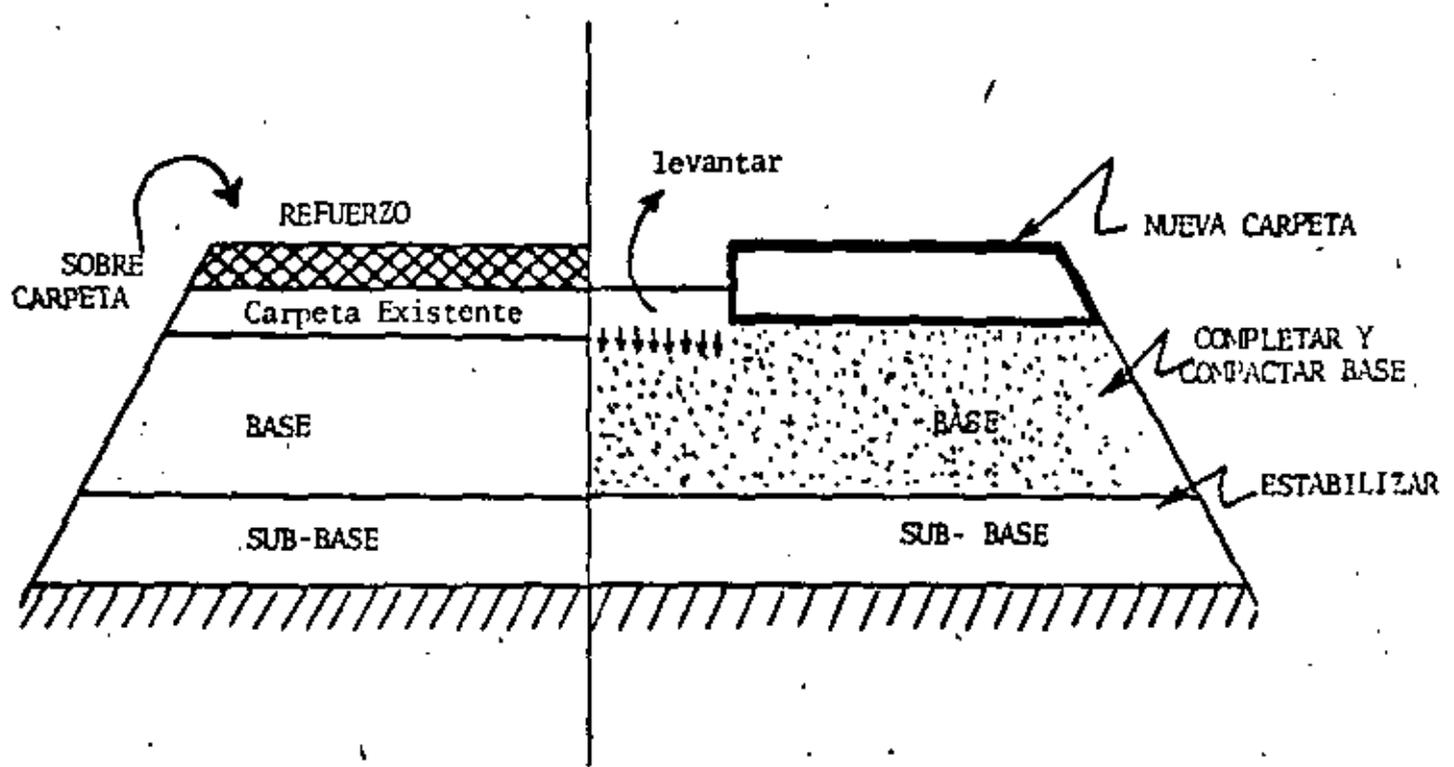
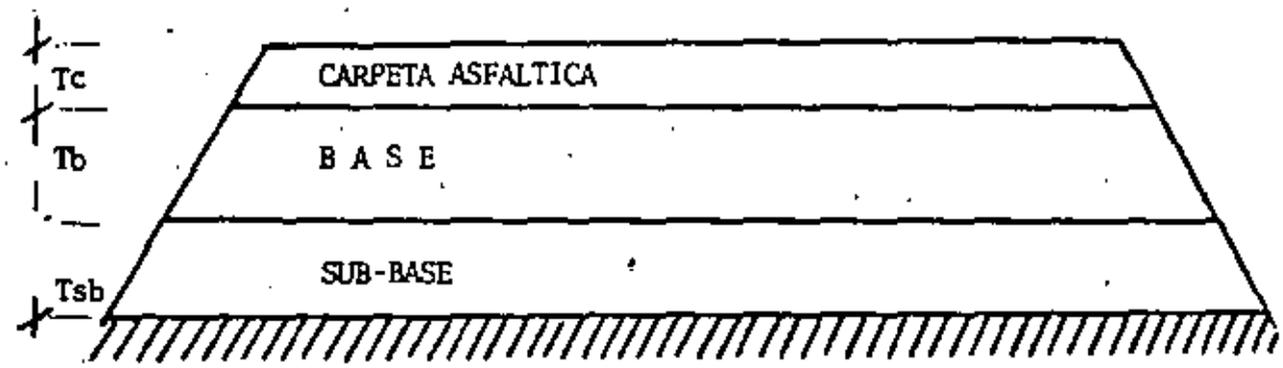
CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA...	RECOMENDACIONES.
Acumulación de caucho en la superficie.	- Numero considerable de operaciones de aterrizaje en la pista.	- Proceder al ranurado transversal y/o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado. - Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción.
Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones.	- Poco control durante la construcción. - Equipo inadecuado para el tendido. - Fallas del pavimento	- Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado. - Controlar los trabajos por medio de perfilógrafo - Solución alternativa: Tender sobrecarpeta (generalmente es una solución mas costosa).

APUNTES PAVIMENTOS II

EVALUACION, REHABILITACION, REFUERZO, RECONSTRUCCION

M. EN C. ING. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ

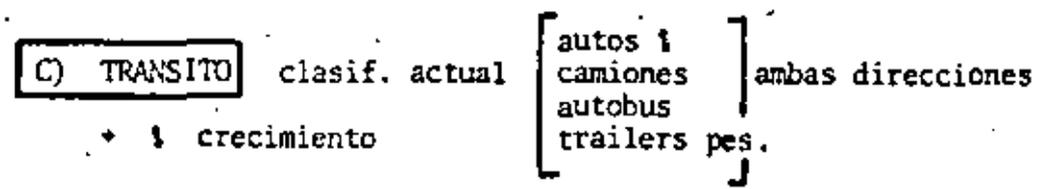
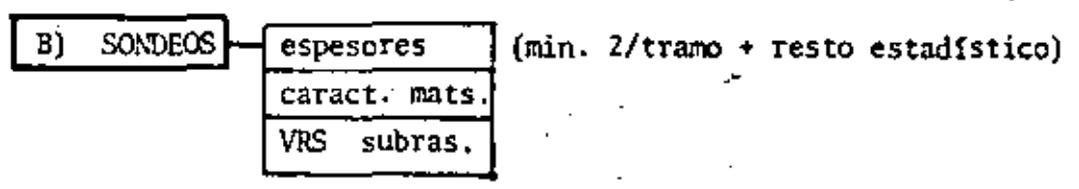
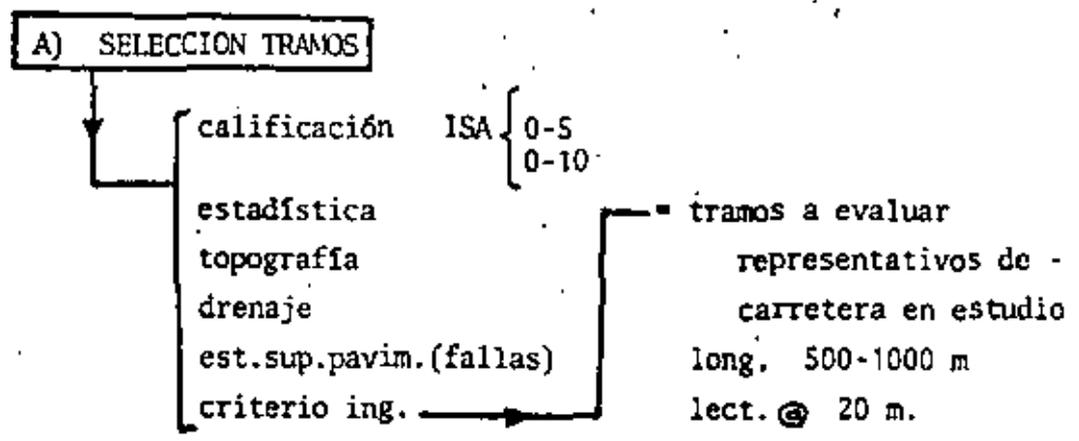
I) " DISEÑO VS. REHABILITACION "

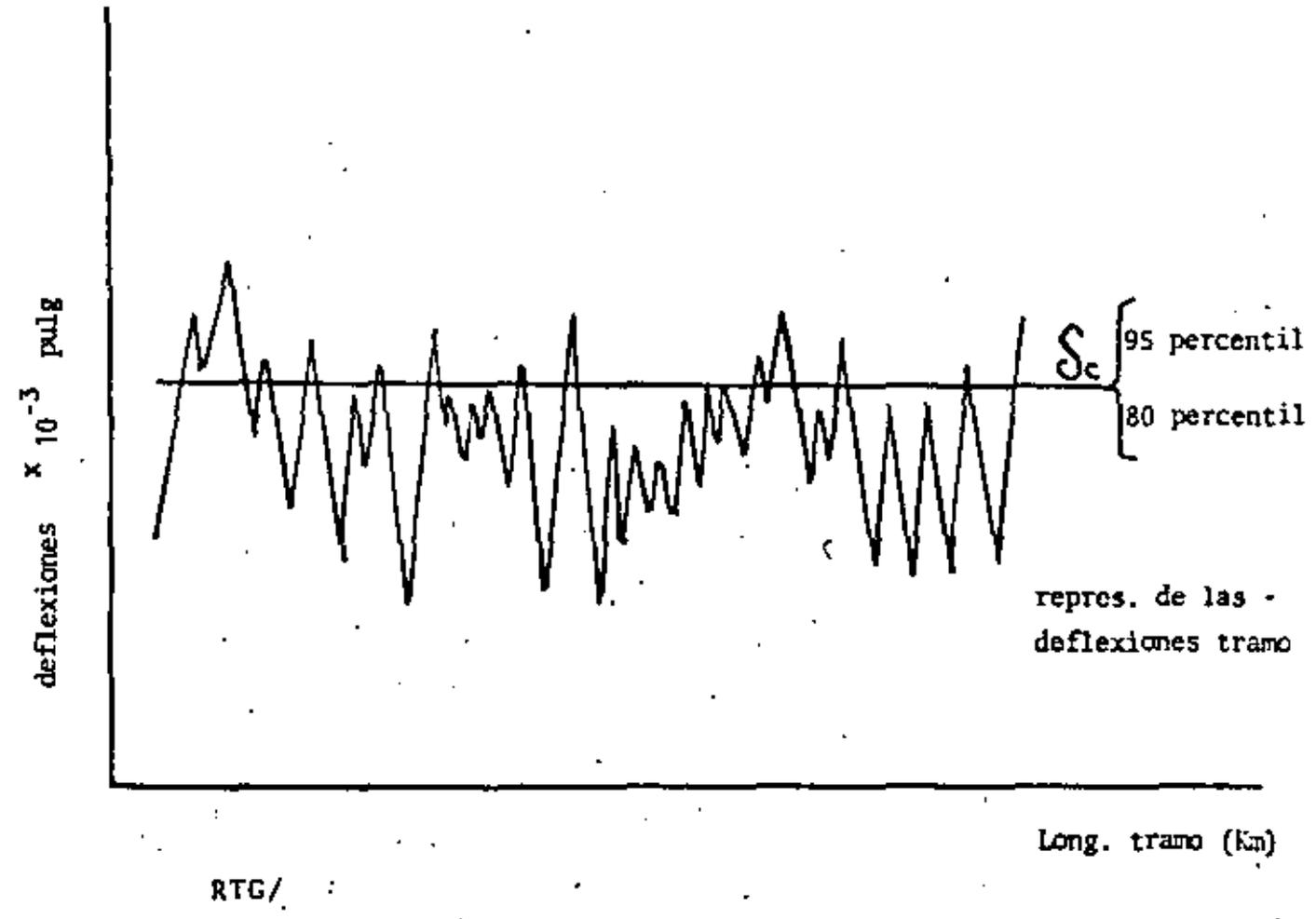
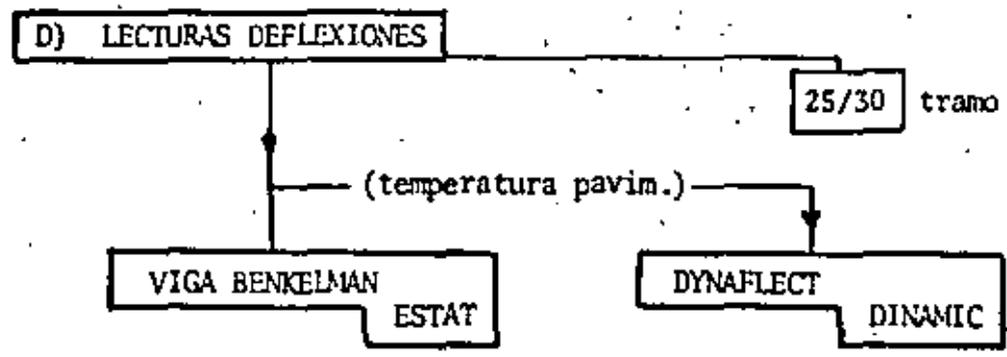


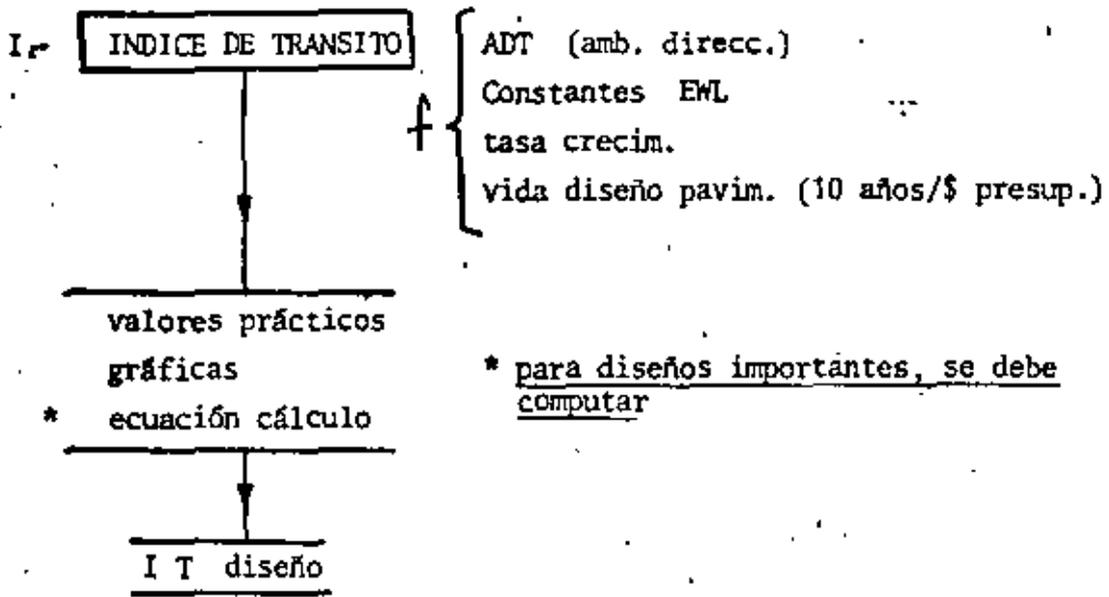
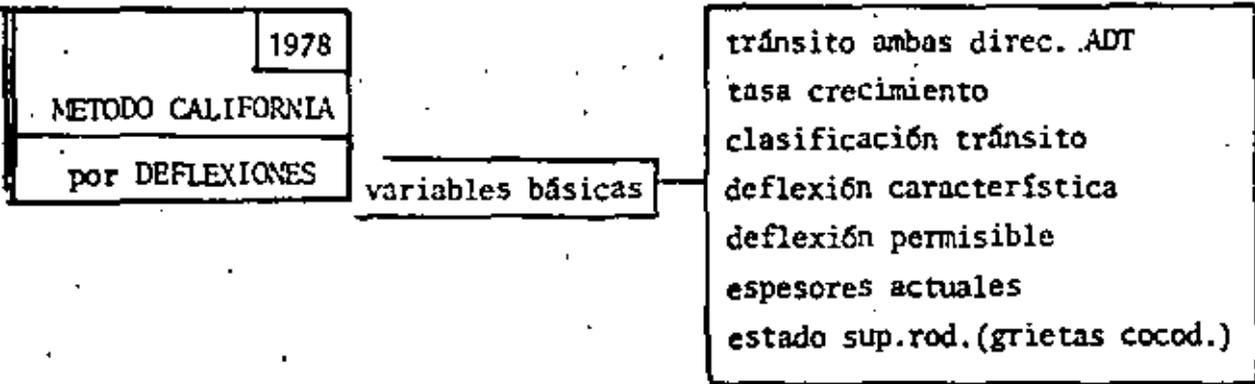
II) REFUERZO Ó REHABILITACION (en base a DEFLEXIONES)

- Métodos exist.
- CALIFORNIA (más usual revis. 78)
 - INST. ASFALTO
 - INST. INGENIERIA
 - SOP
 - CANADA
 - COMPUTACION * (tema separado)

Observ: Independientemente del método de diseño por utilizar, es básico el siguiente análisis para la evaluación y diseño de refuerzos o rehabilitación para pavimentos flexibles.







* para diseños importantes, se debe computar

valores prácticos	I.T.
Calles secundarias	4.0
" residenc.	4.5
avenidas "	5.0
carreteras rurales	6.0
" secund.	8.0
" primarias o avenidas/pesado	9.0 (+)

→ A) $TEF = \frac{1 + 1.6}{2}$ media expansión (6% anual x 10 años = 60% = 1.6)

(5
(21)

→ B) CONSTANTES *EWL* CALIFORNIA

	Tipo vehículo	Carret. Principales	Carr. Secundarias
camión	2 ejes	280	200
	3 ejes	930	690
	4 ejes	1320	1070
	5 ejes	3190	1700
	6 ejes	1950	1050

→ C) CALCULO EWL ANUAL

- i) $ADT_{actual} \times TEF = ADT_{EXPANDIDO}$
- ii) $ADT_E \times EWL_{CTES} = EWL_{ANUAL}$
- iii) $\sum EWL_{ANUAL} \times \text{No. años diseño} = \underline{\underline{TOTAL EWL}}$

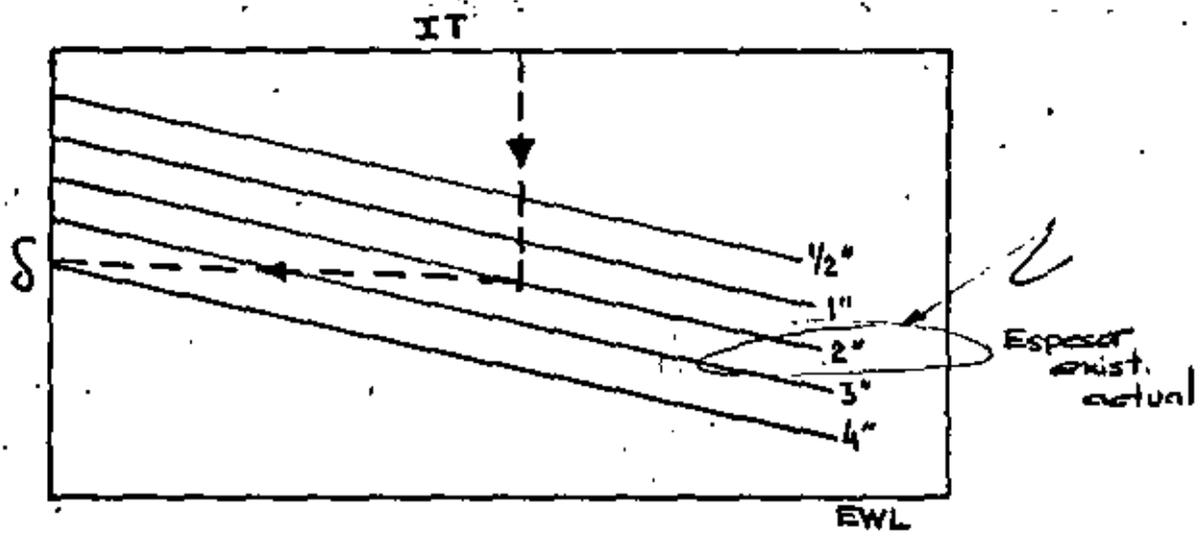
→ D) ECUACION IT

$$I T_D = 6.7 \left[\frac{TOTAL EWL}{10^6} \right]^{0.119}$$

II. CALCULO δ PERMISIBLE

f { δ_c, IT_D }

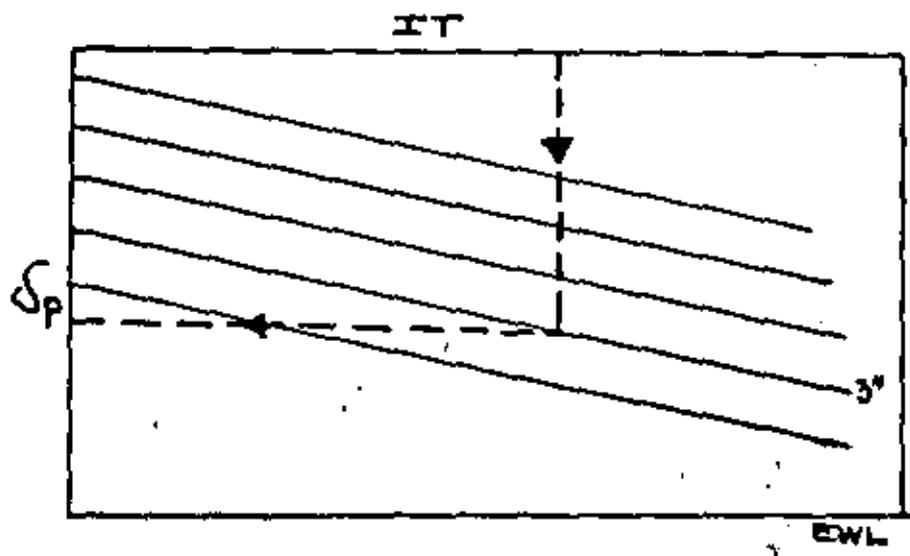
si $\delta_c > \delta_p \Rightarrow$ REFUERZO ES REQUERIDO



III. DISEÑO REFUERZO

tanteos i) suposiciones de refuerzo ó S.C. en base a criterio visual carpeta p.e. agrietada cocod. \rightarrow 3" C.A.

ii) suposic. de 3" C.A.; cálculo de δ permisible para ese espesor

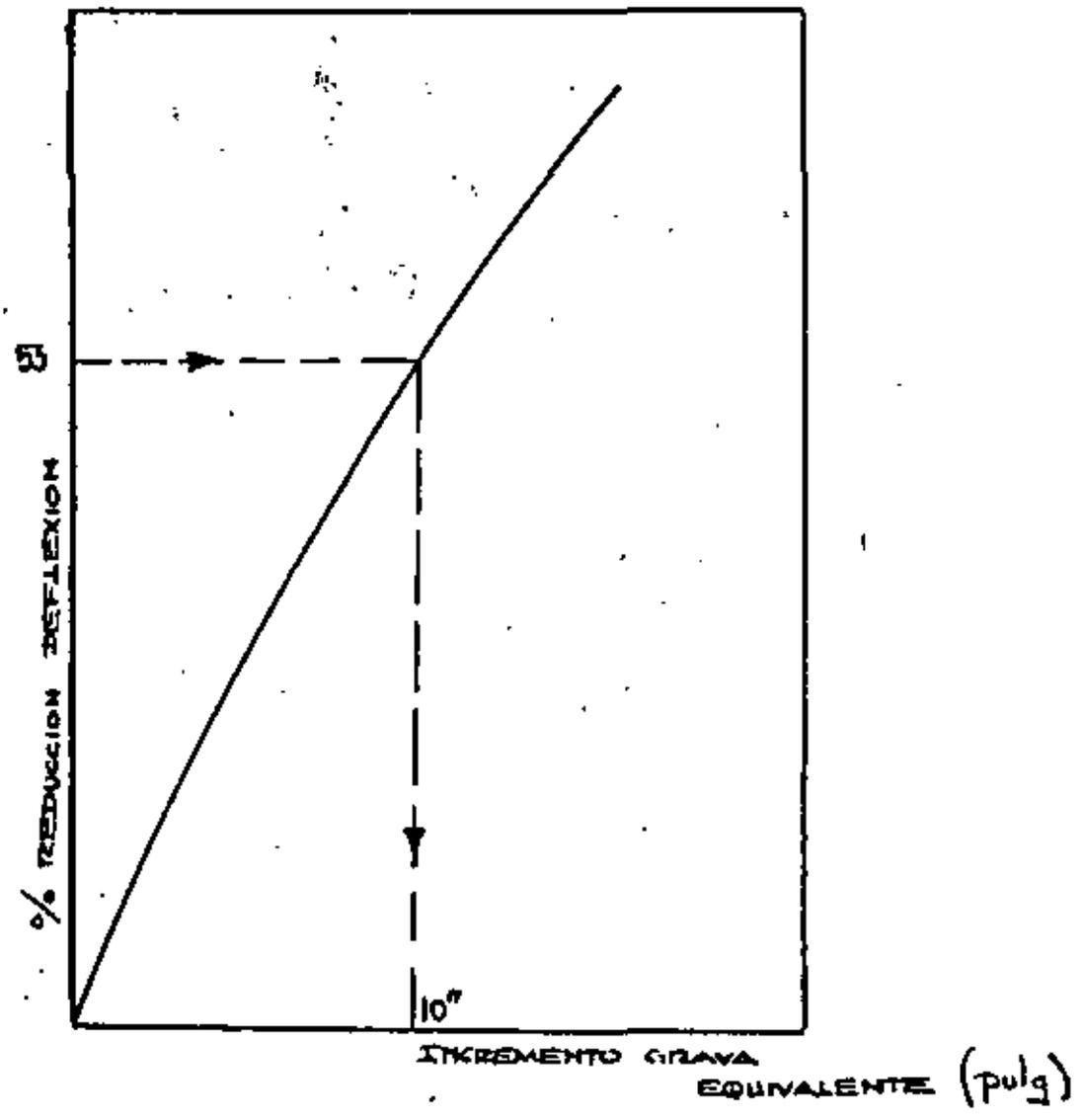


(7
23)

iii) cálculo * REDUCCION DEFLEXION. $= \frac{\delta_c - \delta_F}{\delta_c} \times 100$

iv) cálculo incremento GRAVA EQUIVALENTE (gráfica)

v) criterio definir refuerzo final



EJEMPLO

datos:

$$\delta_c = 64 \times 10^{-3} \text{ pulg}$$

$$IT = 6.5$$

$$e_{act} = 2''$$

1) $\delta_p = 0.040$ para $e = 2''$, $IT = 6.5$
 como $\delta_c > \delta_p \rightarrow$ se requiere refuerzo;

2) supoc. 3" de C.A, dado que hay cocodrilo generalizadas.

para 3" $\delta_p = 0.030$

$$\% \text{ R.D} = \frac{.064 - .030}{.064} \times 100 = 53 \%$$

3) gráfica increm. GE :

para 53 % \rightarrow 10" G.E.

$$1'' \text{ C.A} = 1.9 \text{ GRAVA}$$

$$3.0 \times 1.9 = 5.7''$$

$$10.0 - 5.7 = 4.3$$

refuerzo final

3" C.A.
4" GE base

nota: si no hubiera grietas, se supone un refuerzo menor, que resultará mas costeable:

4.- sup. 2" C.A.

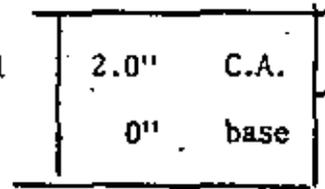
$$S_p = 0.040$$

$$\% R.D. = \frac{0.064 - 0.040}{0.064} \times 100 = 37.5$$

increm. GE para 37.5 = 4"

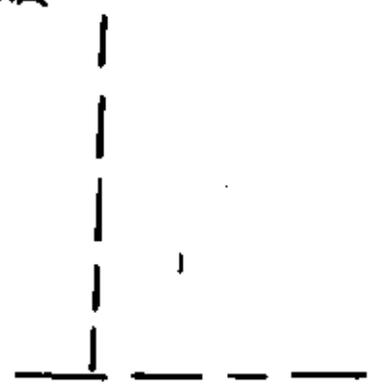
$$\therefore 2 \times 1.9 = 3.8 \rightarrow 4.0 - 3.8 = 0.2 \text{ grava.}$$

refuerzo final



colocadas sobre estructura existente.

5.- sup 11\" C.A.



CRITERIO SELECCION FINAL

Análisis result. deflexiones

§ R. DEFLEXION { 100%, muy caro
 1/2" riego sello
 ESPESORES RESULTANTES PROP.
 § Presupuesto

(VS)

VRS subrasante

Compl. con estudio estructural
espesores.

e.g. Inst. Ingeniería

criterio/experiencia

TABLA FINAL DE RESULTADOS
EVALUACION PAVIMENTOS

(27)

APENDICE "A"

**DEFLEAIONES
DYNAFLEX
SAHOP**

Hoja N° 1 de 32
Horo 12:30
Km. 58+000

OBRA: Límite Edos. Mor. / Gro. - Taxco

FECHA: 16-Julio

OPERADOR: RTG / EZ

CAMINO, CALLE, AEROPISTA: Km. 58+000 al 58+500

TEMP. AMBIENTE: 35°C ESTADO DEL TIEMPO: Caluroso, claro

B=22.30 D=2.73

Lectura N°	Km.	Temp. °C Carpea.	Hora	SENSOR 1			SENSOR 2			SENSOR 3			SENSOR 4			SENSOR 5			Equivalente Bk.	
				Lect.	Mult.	Deflex.	V. Bx10 ³	Deflex.												
1	58+000	40°C	12:30	3.2	0.3	0.96	2.3	0.3	0.69	1.2	0.3	0.36	1.6	0.1	0.16	2.1	0.03	0.063		18.7
2	" +020	"	"	3.0	0.3	0.90	1.4	0.3	0.42	3.2	0.1	0.32	2.3	0.1	0.23	1.4	0.1	0.14		18.0
3	" +040	"	"	2.8	0.3	0.84	1.3	0.1	0.13	3.6	0.1	0.36	2.2	0.1	0.22	1.2	0.1	0.12		16.0
4	" +060	"	"	3.4	0.3	1.02	2.2	0.1	0.22	3.2	0.1	0.32	1.6	0.1	0.16	1.9	0.03	0.057		20.0
5	" +080	"	"	1.5	0.3	0.45	1.8	0.3	0.54	1.2	0.1	0.12	3.0	0.1	0.30	1.8	0.1	0.18		8.0
6	" +100	"	"	2.5	1.0	2.50	4.0	0.3	1.20	3.3	0.3	0.99	2.2	0.3	0.66	1.3	0.3	0.39		53.0
7	" +120	"	"	1.4	1.0	1.40	1.5	0.3	0.45	1.4	0.3	0.42	2.0	0.1	0.20	2.5	0.03	0.075		28.5
8	" +140	"	"	3.0	0.3	0.90	3.4	0.03	1.02	2.0	0.1	0.20	2.8	0.03	0.84	1.4	0.03	0.42		18.0
9	" +160	"	"	1.8	0.3	0.54	1.8	0.01	0.018	1.2	0.03	0.036	1.0	0.01	0.010	1.0	0.01	0.010		10.0
10	" +180	"	"	2.8	0.1	0.28	1.2	0.03	0.036	4.4	0.03	0.122	2.8	0.03	0.084	1.8	0.03	0.054		4.0
11	" +200	"	"	3.5	0.3	1.05	1.2	0.3	0.36	2.7	0.1	0.27	1.2	0.1	0.12	1.3	0.03	0.039		22.0
12	" +220	"	"	3.2	0.3	0.96	2.2	0.1	0.22	2.4	0.1	0.24	2.8	0.03	0.084	1.6	0.03	0.048		19.0
13	" +240	"	"	4.0	0.3	1.20	1.8	0.3	0.54	3.3	0.1	0.33	1.6	0.1	0.16	2.2	0.03	0.066		24.0
14	" +260	"	"	3.6	0.3	1.08	1.6	0.3	0.48	4.4	0.1	0.44	2.4	0.1	0.24	1.2	0.1	0.12		22.0
15	" +280	"	"	1.6	1.0	1.60	1.8	0.3	0.54	2.3	0.1	0.23	1.6	0.1	0.16	1.8	0.03	0.054		32.0

n°26

CALIFICACION DEL TRAMO Y OBSERVACIONES:

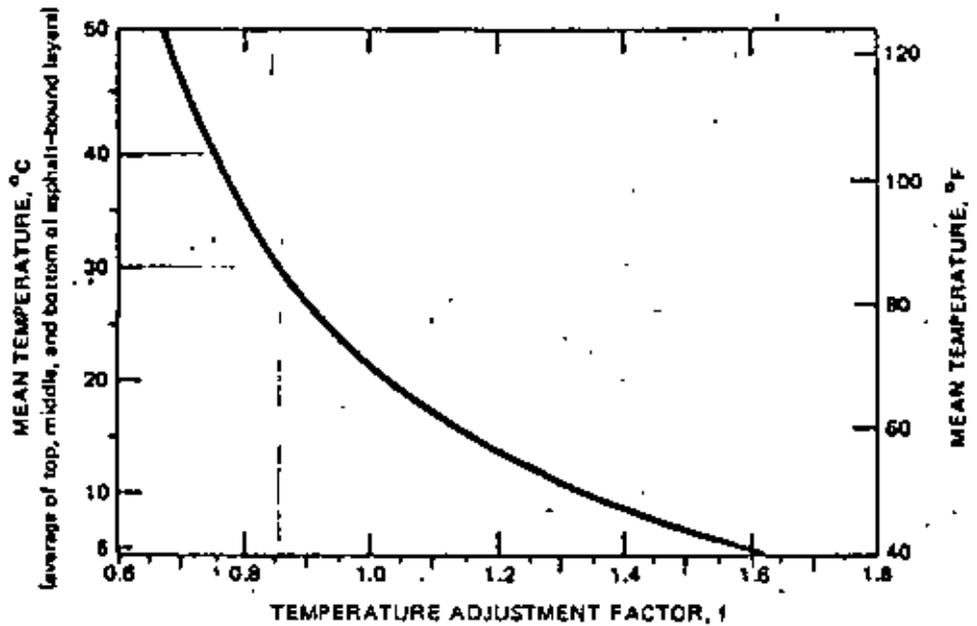
(28)

Método del Instituto del Asfalto

$$S_c = (\bar{x} + 2s) f \cdot c$$

$$s = \sqrt{\frac{n(\sum x^2) - (\sum x)^2}{n(n-1)}}$$

\bar{x} = media
 s = desviación std. (95)
 f = fact. ajuste temp.
 c = fact. periodo crit. (i)



Para poblaciones de 10 o menos :

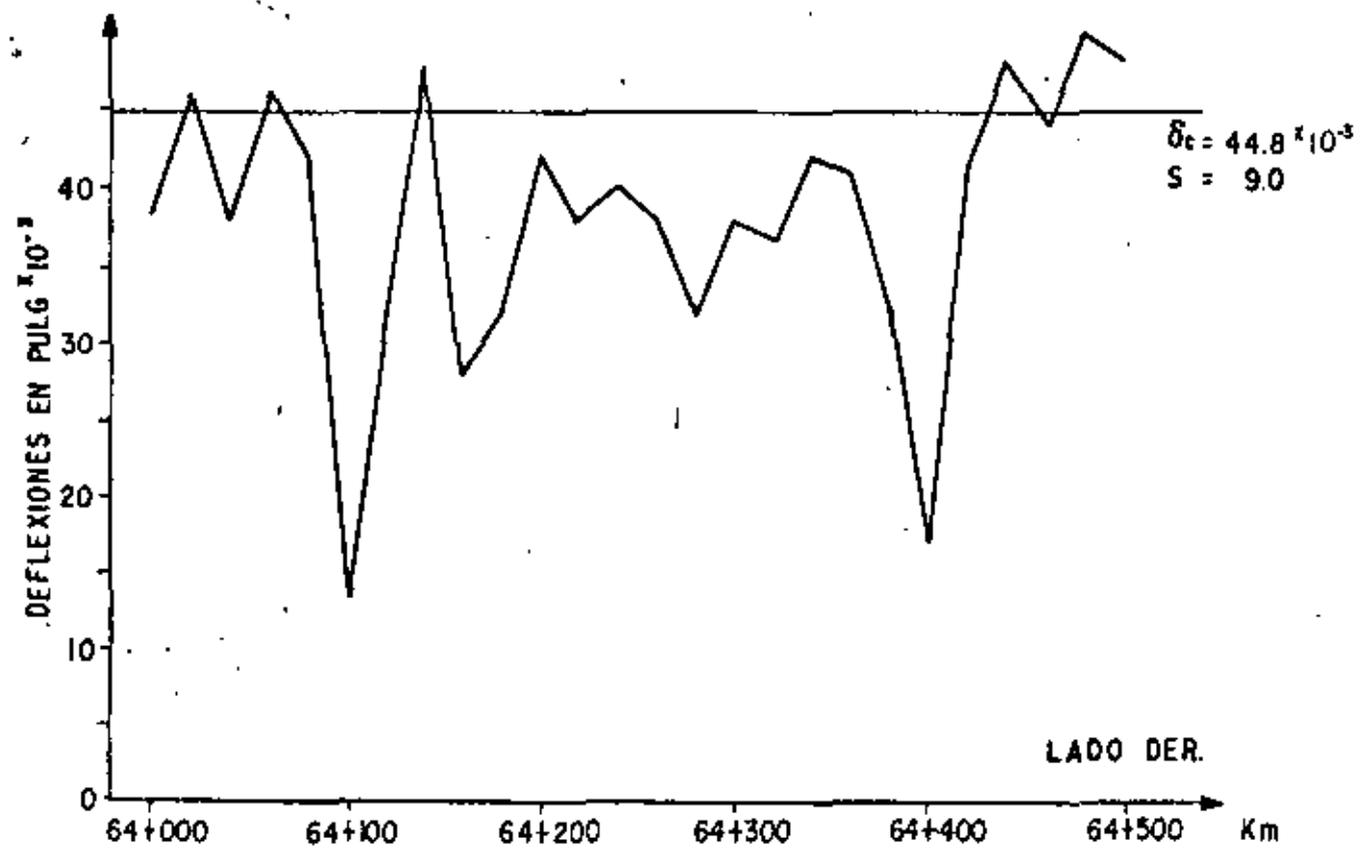
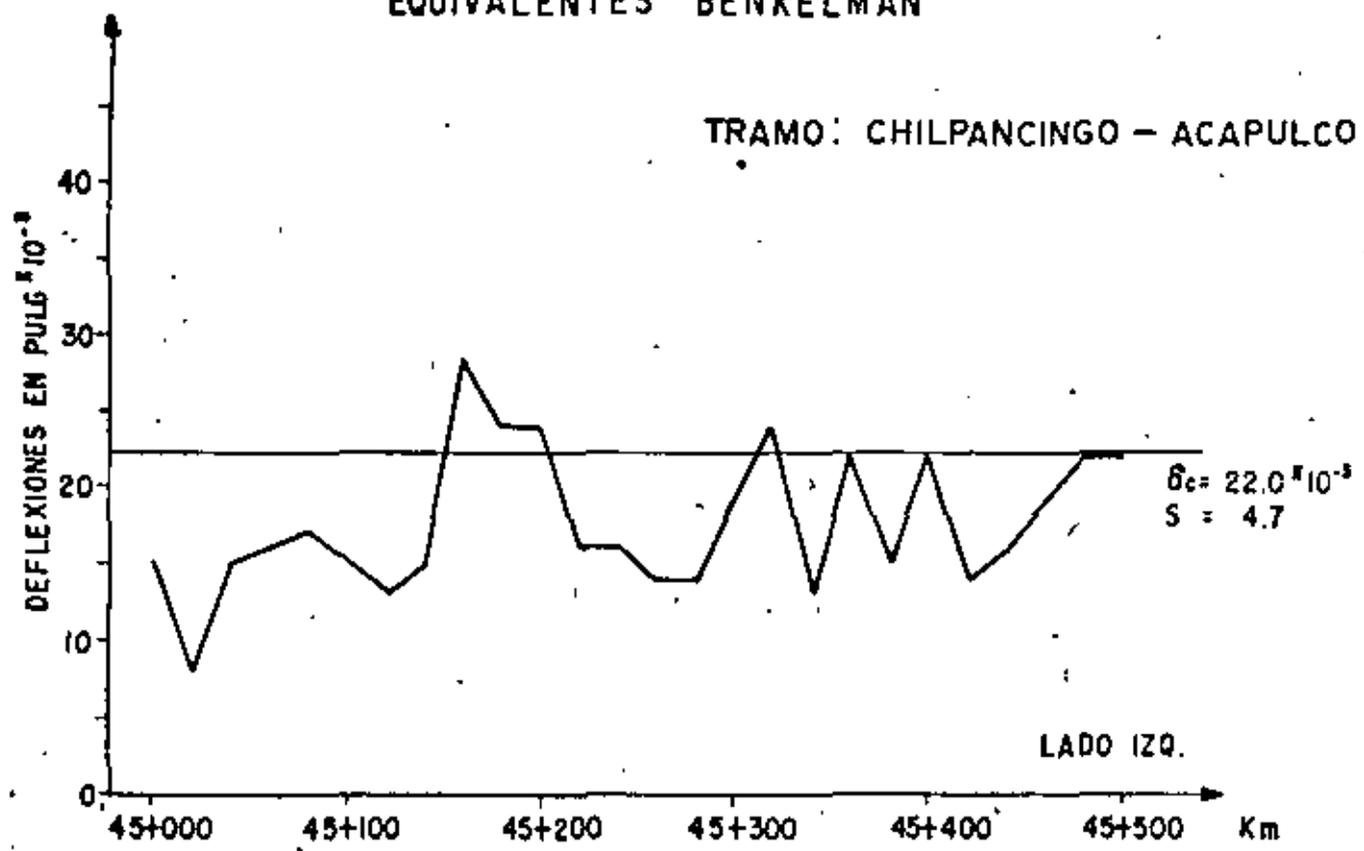
donde R es la dif. entre el valor mayor y el menor

$$s = \frac{R}{d} \quad \text{ó} \quad s = R m$$

n	d	m
2	1.1284	0.8862
3	1.6926	0.5908
4	2.0588	0.4857
5	2.3259	0.4299
6	2.5344	0.3946
7	2.7044	0.3698
8	2.8472	0.3512
9	2.9700	0.3369
10	3.0775	0.3249

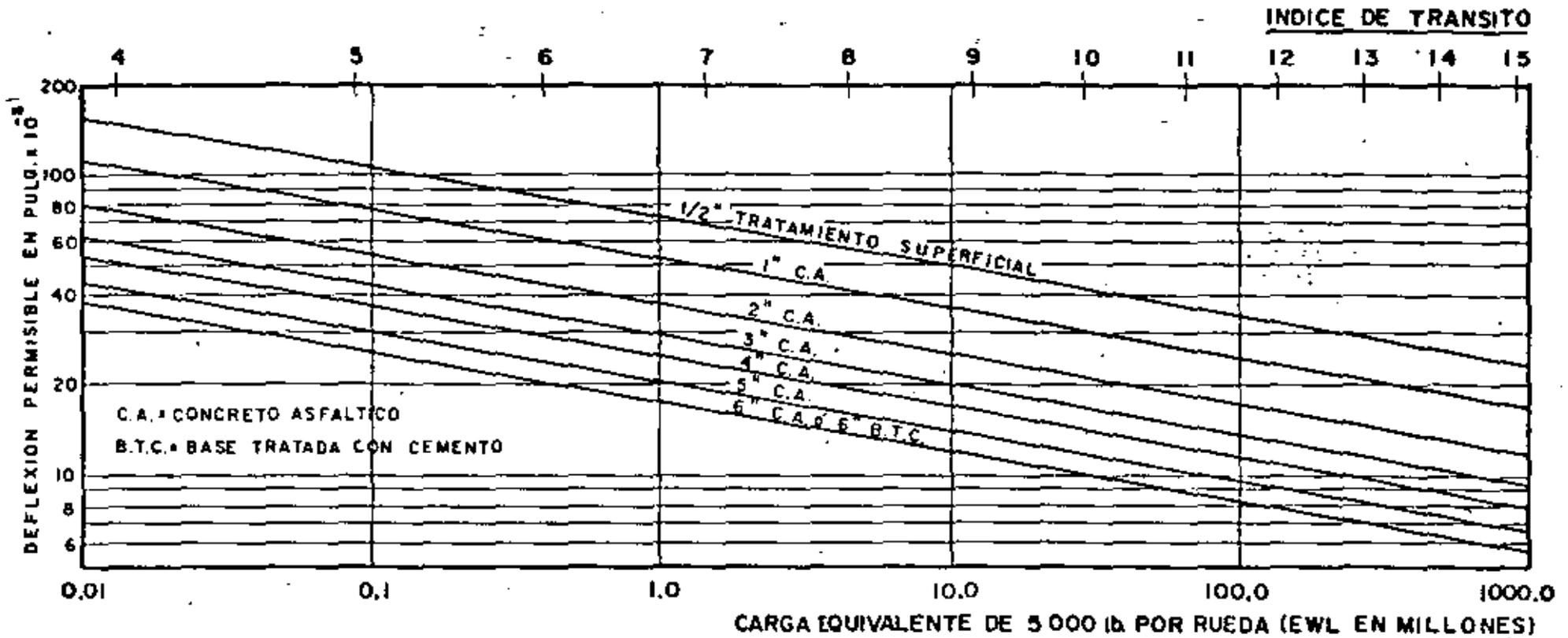
DEFLEXIONES MEDIDAS CON EQUIPO DYNAFLECT
EQUIVALENTES BENKELMAN

TRAMO: CHILPANCINGO - ACAPULCO

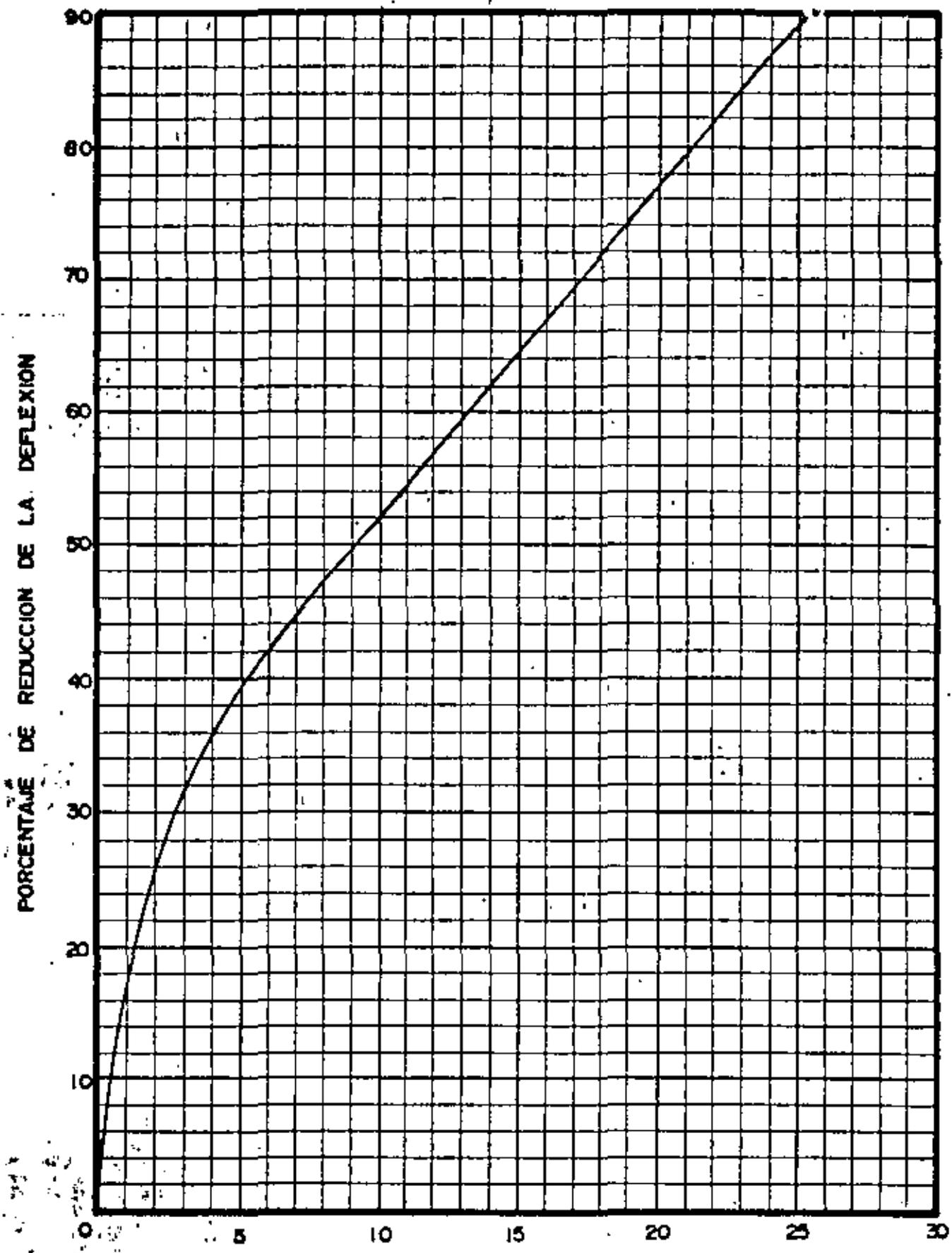


CARRETERA FEDERAL MEXICO - ACAPULCO
EVALUACION PAVIMENTO

METODO CALIFORNIA DE LA VIGA BENKELMAN



VALOR DE LA DEFLEXION PERMISIBLE (δ_p) BASADO EN LA FATIGA DE C.A.



INCREMENTO DE ESPESOR EN GRAVA EQUIVALENTE (Pulg)

REFUERZO DEL PAVIMENTO EN TERMINOS DE GRAVA EQUIVALENTE PARA REDUCIR LA DEFLEXION.

(METODO DE CALIFORNIA)

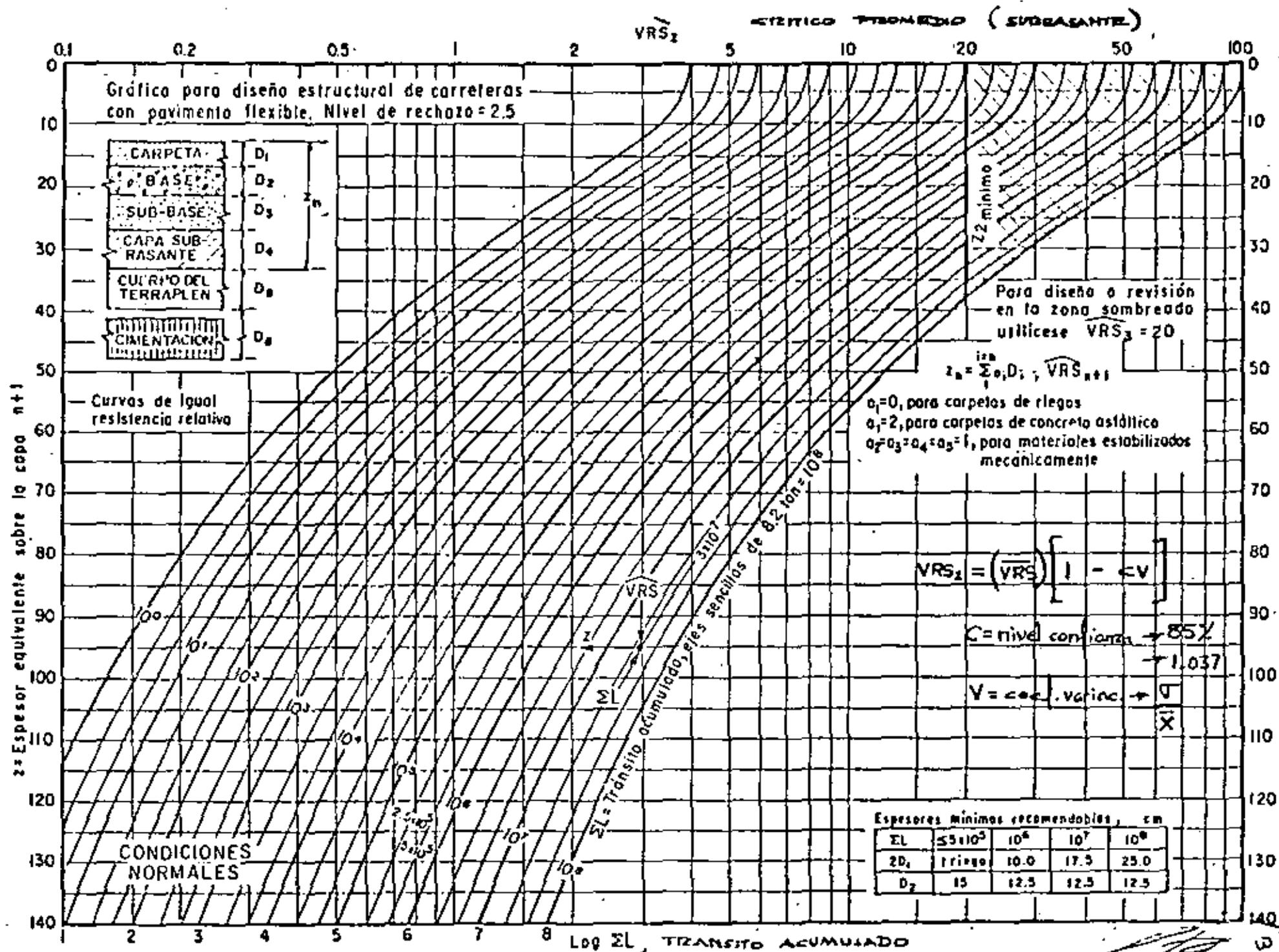


FIG. 5.

TABLA DE RESULTADOS EVALUACION PAVIMENTO LIMITE DE ESTADOS MORELOS - QUERREJO A ACAPULCO.

	Tramo km	"e" carpeta actual, cm.	V R S Subrasante :	Sc Deflexión característica Pulg.	Sp Deflexión permisible Pulg.	I Reducción deflexión	REFERENCIA NOMINATA				
							Deflexiones Pulg.	cm.	Total cm.	Estructural cm.	Final cm.
TALCO IGUAL I.T. = 8.5	58+000 al 58+500	11.0	22	23.7 x 10 ⁻³	18 x 10 ⁻³	7.2 0	C.A. 3.0 G.E. 0 2.0 0	7.5 0 5.0 0	7.5 5.0	70	RS
	75+000 al 75+500	11.5	29	20.4 x 10 ⁻³	17 x 10 ⁻³	0 0	C.A. 3.0 G.E. 0 2.0 0	7.5 0 5.0 0	7.5 5.0	14	RS
	83+500 al 84+000	11.0	91	29.3 x 10 ⁻³	18 x 10 ⁻³	25.0 7.8	C.A. 3.0 G.E. 0 2.0 0	7.5 0 5.0 0	7.5 5.0	0	RS
	92+000 al 92+500	9.0	38	22.7 x 10 ⁻³	20 x 10 ⁻³	0 0	C.A. 3.0 G.E. 0 2.0 0	7.5 0 5.0 0	7.5 5.0	10	RS
IGUAL - CHILPANCIIGO I.T. = 9.5	7+000 al 7+500	29.0	13	16.2 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻³	49.0	C.A. 0 G.E. 0	0 0	0	42	5.0 s.c.
	21+000 al 21+500	17.0	10	33.8 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻³	47.0 29.0	C.A. 3.0 G.E. 2.3 2.0 0	7.5 6.0 5.0 0	13.5 5.0	50	5.0 s.c.
	38+000 al 38+600	12.0	22	34.7 x 10 ⁻³	15 x 10 ⁻³	48.0 31.0	C.A. 3.0 G.E. 2.4 2.0 0	7.5 7.0 5.0 0	14.5 5.0	30	5.0 s.c.
	59+000 al 59+200	8.0	47	10.5 x 10 ⁻³	19 x 10 ⁻³	6.2 0	C.A. 0 G.E. 0	0 0	0	4	5.0 s.c.
	85+000 al 85+500	10.0	77	19.2 x 10 ⁻³	17 x 10 ⁻³	6.2 0	C.A. 3.0 G.E. 0 2.0 0	7.5 0 5.0 0	7.5 5.0	0	5.0 s.c.
CHILPANCIIGO-ACAPULCO I.T. = 9.6	1+000 al 3+500	14.5	7	18.6 x 10 ⁻³	12 x 10 ⁻³	3.2 0	C.A. 3.0 G.E. 0 2.0 0	7.5 0 5.0 0	7.5 5.0	60	7.5 s.c.
	12+000 al 12+500	14.5	8	30.2 x 10 ⁻³	12 x 10 ⁻³	40.0 20.0	C.A. 3.0 G.E. 2.0 2.0 0	7.5 5.0 5.0 0	12.5 5.0	58	7.5 s.c.
	45+000 al 45+500	29.5	12	22.0 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻³	18.0 0	C.A. 3.0 G.E. 0 2.0 0	7.5 0 5.0 0	7.5 5.0	45	7.5 s.c.
	64+000 al 64+500	10.0	21	44.8 x 10 ⁻³	16 x 10 ⁻³	60.0 46.0 26.0	C.A. 3.0 G.E. 7.3 2.0 3.7 1.0 0.1	7.5 18.5 5.0 9.4 2.5 0.3	26.0 14.4 3.0	32	20 base 7.5 C.A.
	83+500 al 84+000	13.0	23	41.6 x 10 ⁻³	14 x 10 ⁻³	57.0 42.0 21.0	C.A. 3.0 G.E. 5.3 2.0 2.2 1.0 0	7.5 16.0 5.0 6.0 2.5 0	23.5 11.0 2.5	28	20 base 7.5 C.A.
	107+000 al 107+500	26.0	77	21.3 x 10 ⁻³	5 x 10 ⁻³	23.0 0	C.A. 3.0 G.E. 0 2.0 0	7.5 0 5.0 0	7.5 5.0	2	5 C.A.
	127+000 al 127+500	20.0	127	15.2 x 10 ⁻³	6 x 10 ⁻³	57.0 49.0 26.0	C.A. 3.0 G.E. 6.2 2.0 4.7 1.0 0.1	7.5 16.0 5.0 12.0 2.5 0.3	23.5 17.0 3.0	0	20 base 7.5 C.A.

FJRY'RTG/vsa.

Simbolos: e = espesor
sc = sobre carpeta
RS = riesgo de selló
CA = carpeta asfáltica
GE = grava equivalente
I.T. = índice de tránsito

D. G. S. T.
DEPARTAMENTO DE CIENCIA
OFICINA TIPOGRAFICAS Y DISEÑOS.



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

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

**CRITERIOS DE SELECCION
ENTRE PAVIMENTOS RIGIDOS Y FLEXIBLES
PARA AEROPUERTOS**

M. EN C. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ

SEPTIEMBRE, 1983

CRITERIOS DE SELECCION ENTRE PAVIMENTOS
RIGIDOS Y FLEXIBLES

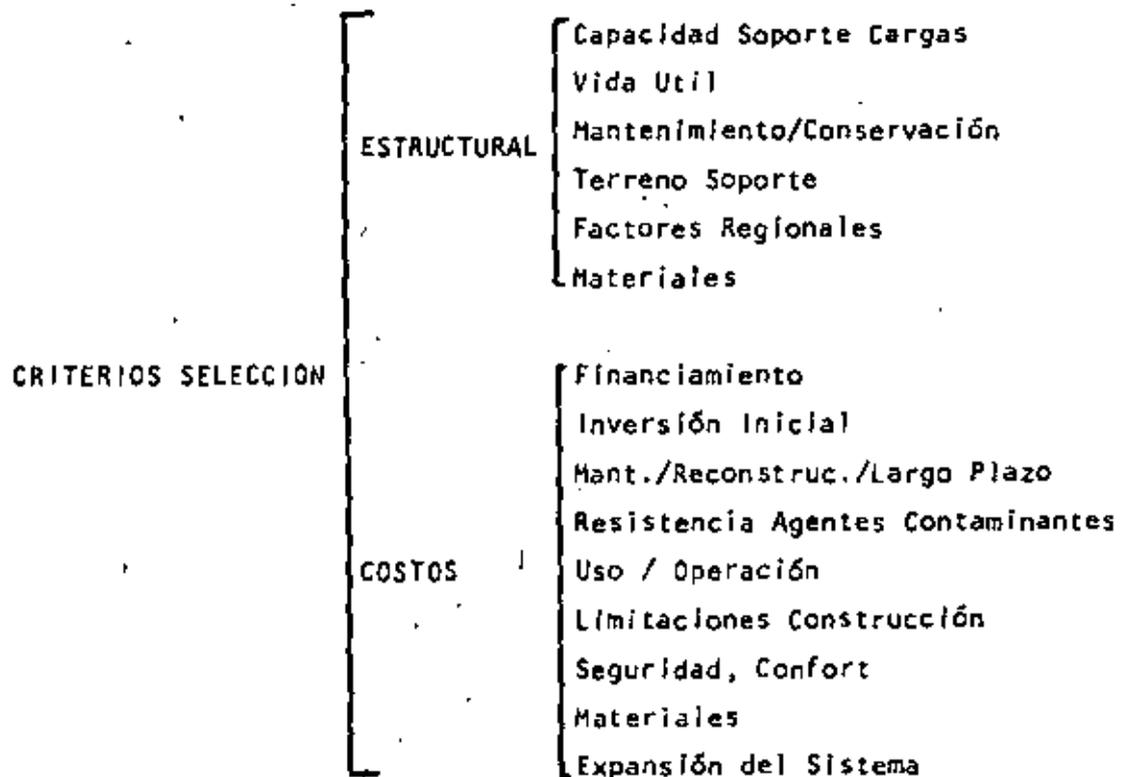
M. en C. Ing. Rodolfo Téllez G.

La infraestructura aeroportuaria es fundamental para el desarrollo de un país por los beneficios socio-económicos que genera. Se vé claramente la importancia de su correcta planeación, diseño y construcción por la magnitud de la inversión que representa, por el tiempo que deben mantenerse prestando un servicio adecuado, etc.

Si se toma en cuenta la clasificación de grupos de pavimentos para aeropuertos, flexibles de varias capas o integrales de una sola, rígidos de concreto hidráulico simple sin refuerzo o con refuerzo en las juntas, rígidos de concreto con refuerzo continuo, de concreto presforzado o combinados vertical u horizontalmente, el ingeniero proyectista se enfrenta con varias opciones dentro de las cuales seleccionará la alternativa óptima en función de múltiples factores o criterios de selección.

La diferencia principal entre estos pavimentos, es la forma en la cual distribuyen las cargas sobre el terreno de soporte. Los rígidos, a causa de su módulo de elasticidad alto y su rigidez tienden a distribuir la carga sobre un área del suelo significativa, por lo que gran parte de la capacidad estructural del pavimento es proporcionada por la losa de concreto en sí misma. Por esta razón, variaciones menores en la resistencia del terreno soporte tienen poca influencia en la capacidad estructural del pavimento rígido. Por otro lado, los pavimentos flexibles funcionan con el principio del sistema de capas para obtener la capacidad estructural de soporte de cargas de los mismos, debiendo tener la capa más resistente y de más alta calidad en la superficie.

Los pavimentos de plataformas, rodajes y pistas de un aeropuerto requieren de diseños óptimos que involucren estudios complejos de suelos y materiales, su comportamiento bajo cargas y su habilidad para soportar el tráfico a lo largo de su vida útil en todas las condiciones climatológicas. Como fase importante del diseño intervienen los criterios de selección entre pavimentos rígidos y flexibles, por su gran trascendencia en costos y capacidad estructural entre otros, - por lo que se definen dos grandes criterios que sintetizan la selección, el "estructural" y el de "costos" que agrupan los factores siguientes:



Es importante hacer notar que los factores para decisión listados, pueden influir terminantemente con un sólo (mandatorio por condiciones especiales) o normar el criterio por el conjunto de varios de ellos. También debe tomarse en cuenta la interacción que pudiera existir entre varios factores o entre grupos para un proyecto específico.

El criterio actual en el Sistema Aeroportuario Mexicano ha sido hasta la fecha en general el gobernado por factores de costos y con base a ello se tomaron decisiones de selección de pavimentos combinados, esto es, rígidos para plataformas de aviación comercial, flexibles para rodajes, pistas y plataformas de aviación general y en algunos casos se ha optado por la combinación o mixtos en pistas (rígidos en la franja de tránsito canalizado) como por ejemplo Villahermosa. En otros casos aislados, por condiciones del terreno natural de soporte el criterio de selección estructural fue el mandatorio, como el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México.

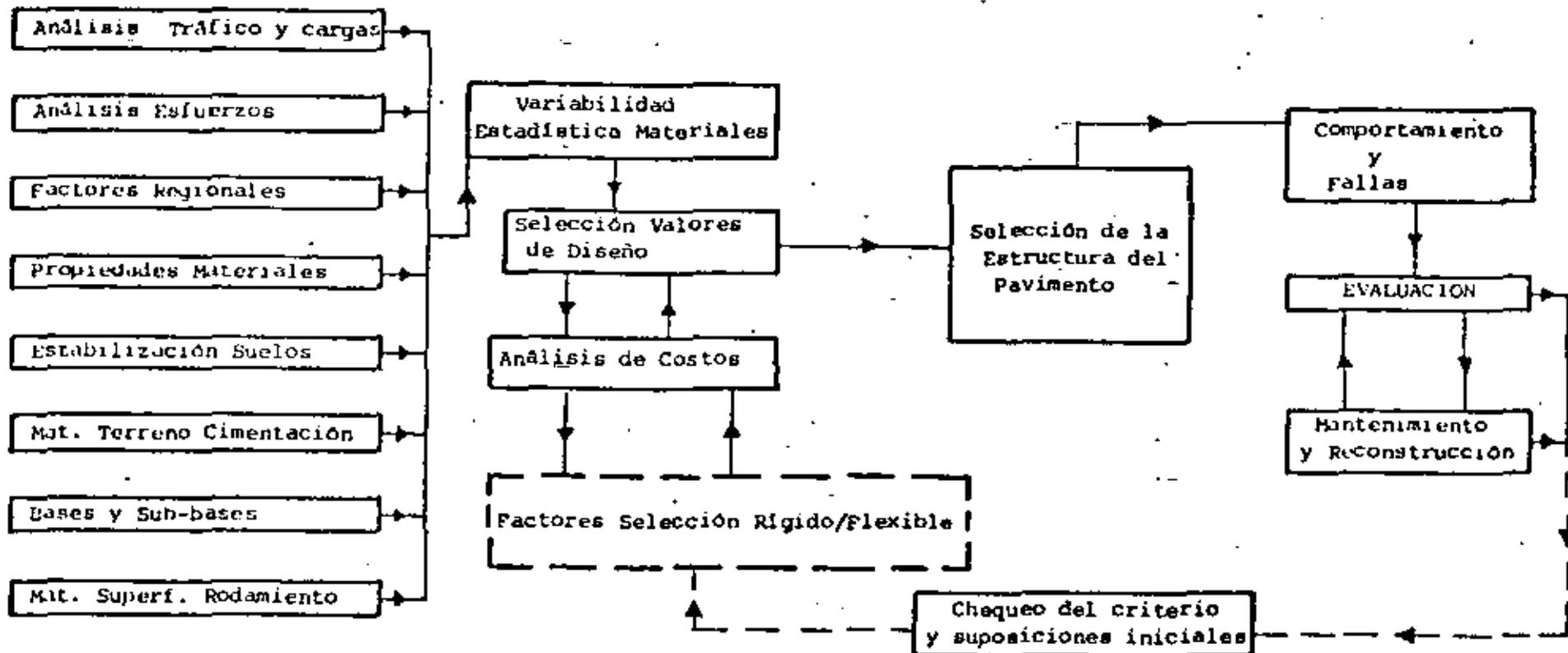
En las dos tablas anexas se resume el listado de factores para la decisión en función de conceptos fundamentales y su grado de prioridad y cómo estos factores intervienen en el "Análisis del Sistema" general del diseño de los pavimentos.

FACTORES DE DECISION PARA LA SELECCION EN EL DISEÑO DE UN PAVIMENTO RIGIDO O FLEXIBLE EN AEROPUERTOS

FACTOR	FUNCION	PRIORIDAD ESTIMADA
CAPACIDAD ESTRUCTURAL PAVIMENTO	Clasificación Demanda Pronósticos Canalización Cargas	1
FINANCIAMIENTO	Externo, Interno Monto, Intereses	2
COSTOS	Inversión Inicial Mediano y Largo Plazo	3
VIDA UTIL	Índice de Servicio Proyecto	4
MANTENIMIENTO / CONSERVACION	Pronóstico Operaciones Presupuestos Disponibles Tipo Mantenimiento (0,-,+)	5
TERRENO NATURAL SOPORTE	Tipo Resistencia Características/Propiedades Drenaje	6
MATERIALES	Estudio Clasificación Características Envejecimiento	7
FACTORES REGIONALES	Climáticos Suceptibilidad Temperaturas	8
AGENTES CONTAMINANTES	Derrame Combustibles Efecto de Chorro Vegetación	9
USO / OPERACION	Comercial Militar General Rural (Alimentadores)	10
LIMITACIONES DE CONSTRUCCION	Bancos Materiales Plantas Aprovisionamiento Maquinaria y Refacciones	11
SEGURIDAD	Especificaciones Inter/Locales	12
CONFORT	Vibraciones Juntas Asentamientos Losas	13
EXPANSION DEL SISTEMA	Plan Maestro Demanda Avión Crítico Ampliaciones Cambio Categoría	14

ANALISIS DEL SISTEMA

FACTORES INVOLUCRADOS EN EL PROCESO DEL DISEÑO



VARIABLES DE ENTRADA

PROCESO DE DECISION

DISEÑO

SERVICIO

CAPACIDAD ESTRUCTURAL DEL PAVIMENTO / TERRENO NATURAL SOPORTE.-

En la experiencia mexicana sobre la red aeroportuaria existente, que alcanza a la fecha cincuenta aeropuertos del tipo mediano y largo alcance para operaciones de aviación comercial de aeronaves tipo DC-9, DC-8, B-727, DC-10 y 747, se ha comprobado que tanto el factor capacidad estructural de un pavimento ligado directamente al terreno natural de soporte y su comportamiento, son factores determinantes en forma aislada para la decisión en la selección del diseño de pavimentos rígidos o flexibles.

Las aeronaves, por su tipo de operación repetitiva y sus cargas transmitidas al pavimento sobre pistas, rodajes y plataformas, traducidas en esfuerzos estáticos y dinámicos, obligan dependiendo su magnitud a seleccionar un pavimento rígido contra uno flexible, y así solucionar la "canalización de tránsito" sobre los pavimentos en cuestión.

Sin embargo, para el cálculo de la capacidad estructural del pavimento en función de lo anteriormente mencionado, se requiere de un conocimiento detallado del tipo de resistencia, propiedades características y drenaje natural del terreno de soporte, llegando a encontrarse en algunos casos factores irónicos o contrapunteados. Caso específico es el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México donde se tienen estos extremos. El número de operaciones actuales y futuras del aeropuerto en cuestión, así como el incremento de las cargas rodantes que soportan los pavimentos de ese aeropuerto, llegando hasta 800 operaciones diarias, esto es, un aeronave entra ó sale cada minuto y medio durante las 24 horas, requieren forzosamente y en forma prioritaria de un pavimento especial como pudiera ser el CRCP, del tipo rígido de concreto hidráulico reforzado, sin juntas y espesores considerables.

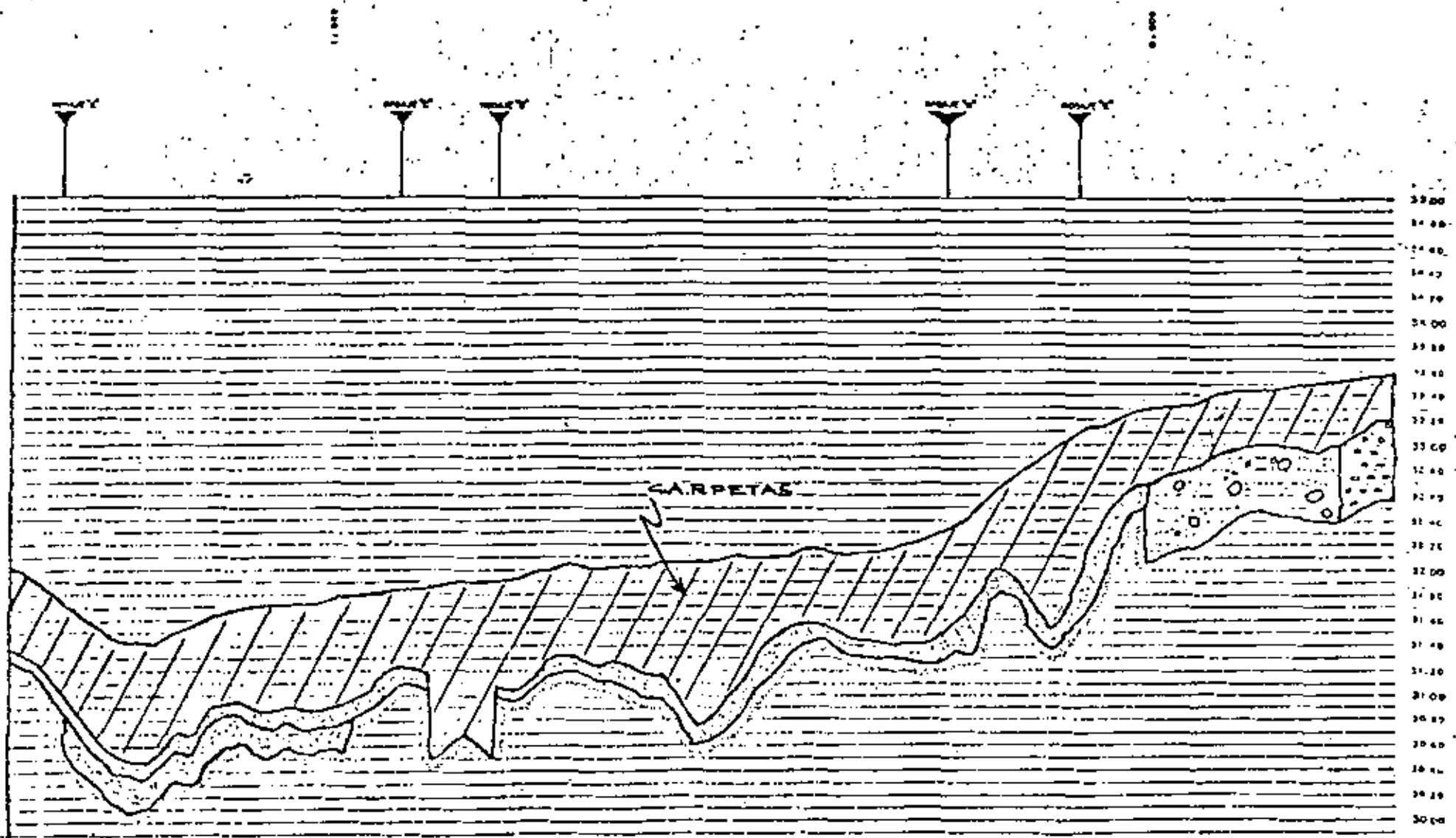
Sin embargo y aquí está la ironía, el actual aeropuerto se encuentra localizado sobre un terreno cuyas propiedades, comportamiento y capacidad estructural son muy pobres (V.R.S. 0-3)

Cuando se construyó el pavimento original de las pistas en el AICM - en los años 50's con técnicas de esa época, su comportamiento fue adecuado en general para las cargas y tráfico de ese entonces. Sin embargo, el incremento acelerado en las cargas y en número de las operaciones provocaron asentamientos diferenciales muy pronunciados - (ver croquis anexo perfiles hasta 1981) requiriéndose frecuentemente renivelar con sobrecarpetas la superficie de rodamiento, por lo que el peso muerto del pavimento por sí sólo hacía que se hundiera rápidamente y en forma no uniforme. El espesor total de la estructura llegó a ser de 2.10 metros (1.50 de carpeta).

Este tipo de suelo ha demostrado que no deben alterarse sus condiciones naturales. Por ello, se ha optado y ha funcionado el pavimento compensado del tipo flexible (ver croquis anexo).

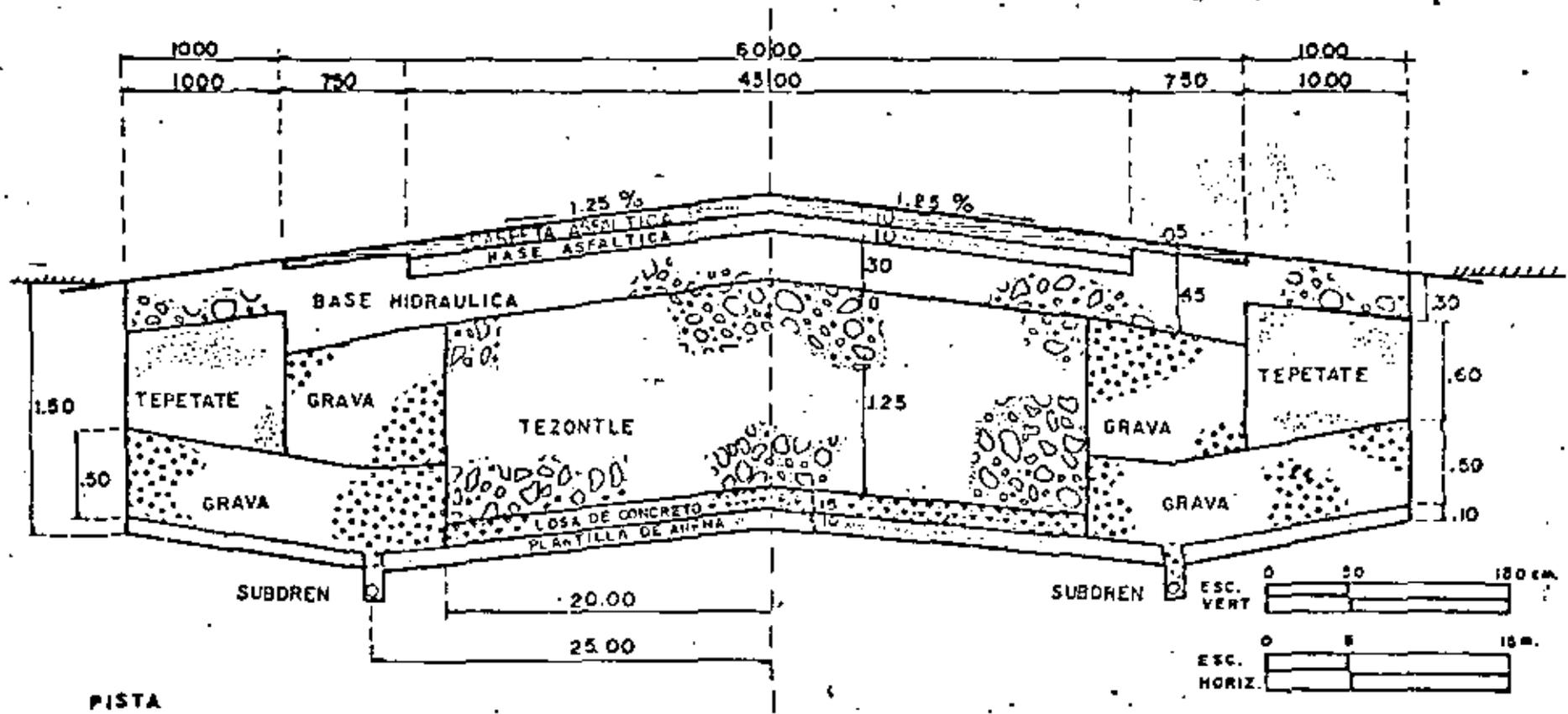
Resultados de las ampliaciones de los pavimentos en las pistas, nuevos rodajes, al conocimiento y experiencia de este tipo de suelo y su reacción cuando el ingeniero lo altera, han comprobado que para soportar las cargas actuales, el número de operaciones existentes, controlar los asentamientos diferenciales, drenaje y al tipo de mantenimiento menor y mayor, definitivamente la decisión de construir con pavimento flexible es la adecuada en el Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México, por lo que se vé claramente cómo un sólo factor influye prioritariamente en la decisión de proyectar un pavimento rígido o flexible.

Si sobre un terreno natural con capacidad de soporte pobre y cuyos componentes son materiales altamente reactivos (por ejemplo arcillas expansivas) se coloca una losa de concreto rígida muy resistente, el comportamiento del suelo al modificarse sus condiciones naturales, puede llegar a deteriorar el pavimento aceleradamente, como es el caso de la pista en el Aeropuerto de Guadalajara, Jal. Este último caso así como el del AICM, también demuestran que en ciertos casos es mejor adaptarse al terreno natural con un pavimento flexible que dependiendo su comportamiento podría controlarse con una construcción y mantenimiento por etapas o fases.



1981 Perfiles de la Estructura del Pavimento de la pista 05I-23D del
Aeropuerto Internacional de la Ciudad de México

SECCION COMPENSADA A.I.C.M.



FINANCIAMIENTO.-

En el caso de financiar la obra por ejecutar con fondos gubernamentales que provienen de ingresos directos del gobierno redistribuidos según necesidades, la dependencia encargada de la obra estimará y -- definirá el tipo de pavimento adecuado a proyectar y construir, no -- siendo determinante este factor de financiamiento.

En el caso de ser un financiamiento externo (por ejemplo Banco Mundial, BID, etc.) la agencia proveedora del dinero en todos los casos dicta normas y medidas a seguir, chequeando detalladamente la obra que se pretende realizar y en algunos casos pudieran ser determinantes -- sus sugerencias o indicaciones a seguir en el proyecto.

Esto pudiera influir en el criterio de decisión de pavimentos rígidos, flexibles o combinados. Tal sería el caso de un financiamiento externo en el que se aprobara originalmente un diseño de pavimento rígido aunado a costos iniciales mayores; dependiendo las tasas de interés del préstamo otorgado, el factor de decisión "financiamiento" puede influir en los costos a largo plazo y determinar que fuera más conveniente el erogar una inversión inicial menor como lo es el pavimento flexible.

COSTOS.-

En nuestro país el criterio de selección en función del costo ha obedecido generalmente al presupuesto inicial disponible de la entidad -- federativa, estatal o inversionista particular, y debido a los escasos recursos de que se dispone para estas obras de infraestructura, -- los pavimentos de aeropuertos usualmente fueron diseñados y construídos con concreto asfáltico.

considerando que el pavimento de tipo flexible requiere de un mantenimiento mayor y más frecuente como son los sellos, las sobrecarpetas

y en ciertos casos su rehabilitación ó reconstrucción parcial/total, es tiempo de cambiar radicalmente el criterio y pensar que lo "barato" resulta caro a largo plazo. Sin embargo este criterio no debiera ser mandatorio en ciertas regiones de nuestro país debido a los tipos de suelo, pues hay otros factores que en forma aislada o en interacción con otros pudieran hacer que el factor de decisión "costo" no sea el mandatorio.

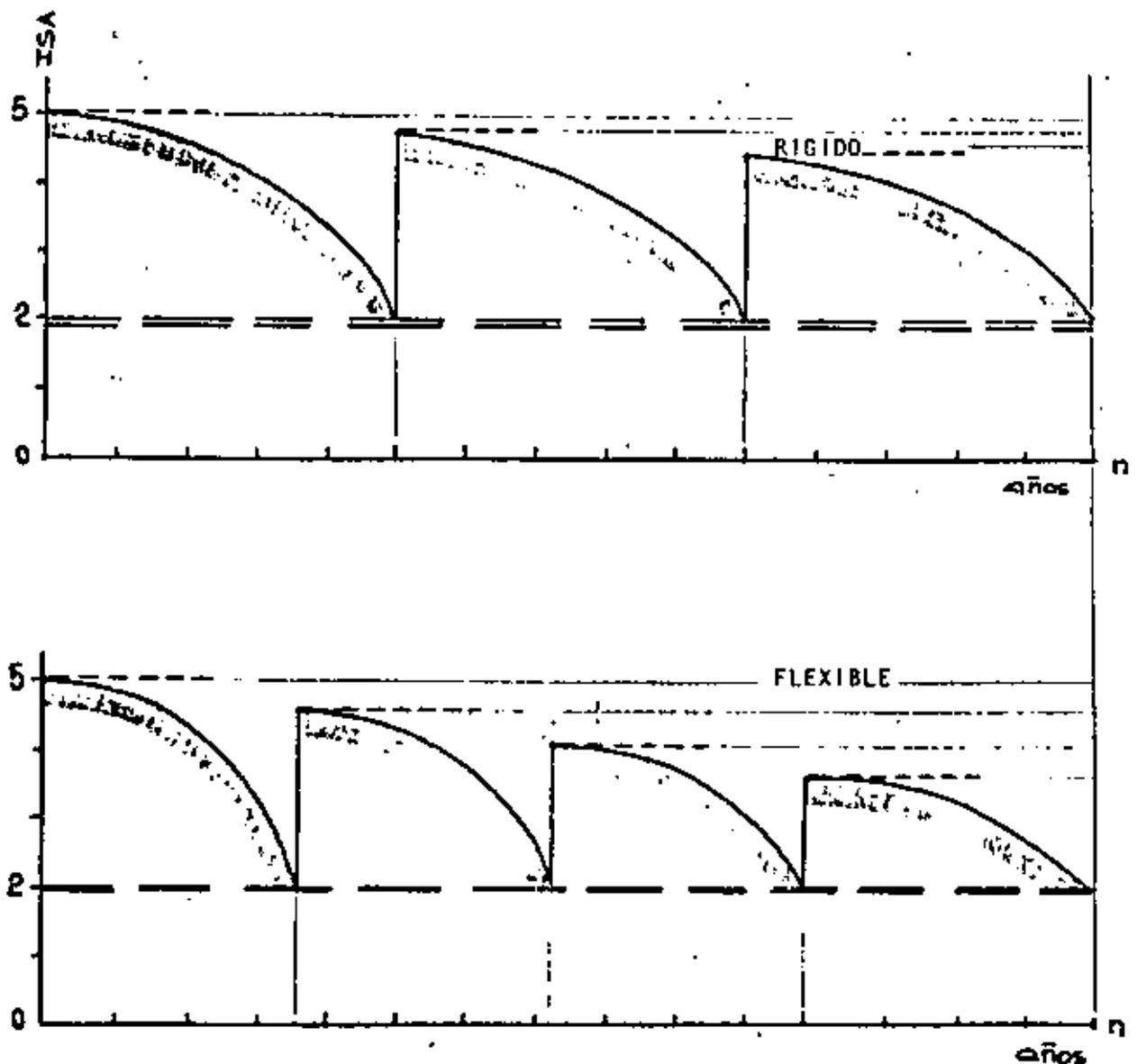
No siempre resulta costeable a largo plazo lo que aparente ó inicialmente es más económico. Con la ayuda de la Ingeniería de Sistemas y los diversos programas para computadoras existentes para el diseño de pavimentos rígidos, flexibles, revestidos o de terracerías para aeropuertos, existen programas que demuestran claramente que los pavimentos con superficie revestida o de terracerías son más costosos que los de pavimento flexible, considerando los mismos datos de entrada al programa y por supuesto los mismos valores numéricos de las variables significantes.

El ahorro en costo a largo plazo al construir con concreto asfáltico es del orden del 13% para dos capas y del 6% para una capa, por lo que claramente se ve que para esas condiciones iniciales de proyecto, resulta más económico construir desde un principio el pavimento flexible en vez de un revestido.

La misma idea descrita en los párrafos anteriores pudiera aplicarse entre los pavimentos rígidos de concreto hidráulico y los pavimentos flexibles, puesto que a lo largo de la vida útil del pavimento (por ejemplo 20 años) y debido al mantenimiento más frecuente y al alto costo en esta época, aunque el rígido fuera más caro inicialmente, a largo plazo resultaría más económico.

VIDA ÚTIL.-

El factor de vida útil para la decisión de un pavimento rígido o flexible teóricamente no debiera ser determinante puesto que un pavimento rígido o flexible bien diseñado, bien construido y cumpliendo especificaciones totalmente, no debiera presentar problemas ni reducciones a lo largo de su servicio en vida útil. Sin embargo, se ha observado en algunos casos que aunque el proyecto fue adecuado, su índice de servicio actual y terminal es menor en el caso de pavimentos flexibles que en el caso de pavimentos rígidos.



MANTENIMIENTO / CONSERVACION.-

El factor de mantenimiento es de vital importancia en los factores de selección. Estrictamente todo pavimento cualesquiera que sea su clase o categoría requiere forzosamente de mantenimientos preventivos y correctivos con el objeto de alcanzar su vida útil proporcionando un servicio adecuado y seguro. En el caso de aeropuertos, los pavimentos siempre deberán estar en condiciones excelentes para garantizar la segura operación de las aeronaves que soportan.

En los pavimentos rígidos o flexibles, cuando es llevado a cabo el mantenimiento preventivo o menor en los períodos prefijados desde el proyecto y en base a evaluaciones del pavimento rutinarias, se ayudará a evitar mantenimientos mayores como son rehabilitaciones o reconstrucciones.

En base a los tipos de mantenimiento menores y mayores existentes en nuestro medio para pavimentos de aeropuertos en pistas, rodajes y plataformas, se estima que el mantenimiento de un pavimento rígido a lo largo de su vida útil es menor y resulta menos costoso que el de un pavimento flexible, por lo que este factor refuerza lo analizado en costos y pudiera ser determinante en la preferencia de un pavimento rígido contra un pavimento del tipo flexible.

Por otro lado según se observa en tablas anexas a esta ponencia, el mantenimiento de un pavimento flexible es mayor y consta de 18 conceptos fundamentales a realizar en contra de 12 para rígidos.

Cabe mencionar que existen pavimentos de concreto hidráulico reforzado continuo (sin juntas) CRCP, cuyos diseñadores garantizan como pavimentos óptimos y cero ("0") mantenimiento a lo largo de su vida útil, excepto mantenimiento menor como pudiera ser la pintura y señalización. Es obvio que este tipo de pavimento no requerirá de inversiones adicionales a través del tiempo por conceptos de conservación; sin embargo resulta ideal el diseñarlo y construirlo siempre que se contara con los fondos presupuestales suficientes o por la importancia, magnitud y operaciones del aeropuerto que así lo requirieran.



CONSERVACION DE PAVIMENTOS
RIGIDOS

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
- Desintegración del concreto.	- Materiales poco durables - Condiciones severas del clima - Ciclos de hielo - deshielo - Escaso o nulo aire incluido	- Demoler y reponer el pavimento defectuoso
Superficies con escamas o costros.	- Colocación del concreto con exceso de agua. - Acabados excesivos de la superficie. - Impurezas en los agregados. - Utilización de productos químicos en la superficie.	- Parchar con mortero de cemento y resinas epóxicas u otro adhesivo. - Parchar con mezcla asfáltica. - Si no hay agujeros profundos, aplicar una o más capas de mortero asfáltico
Astillamientos o desconchamientos cercanos a las juntas	- Infiltración de materiales no compresibles en la junta - Impedimento de movimiento del posejuntas. - Concreto poco resistente. - Manejo inadecuado de las vigas durante la construcción.	- Eliminar previamente la causa. - Hacer cajón y reponer el concreto; utilizar resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado. - Sellar la junta. - Solución alterna: parchar con concreto asfáltico. - Solución alterna: parchar con insertos prefabricados fijados con adhesivo epóxico.
Defectos en la superficie: - Surcos - Lavaderos - Ranuras - Ondulaciones - Baños de pájaros.	Control pobre durante la colocación del concreto.	Para defectos muy localizados parchar individualmente con mortero de cemento y resinas epóxicas, o con mezcla asfáltica. - Para áreas defectuosas muy extensas, repavimentar.
Grietas longitudinales y transversales.	- Contracción por cambios de temperatura. - Contracción de fraguado. - Alabeos - Movimiento en la cimentación - Falla de estructura.	- Sellar la grieta con material flexible. - O soldar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros eliminando previamente la causa del problema. - Demoler y sustituir la grieta por una junta.
Grietas en esquinas y en diagonal.	- Falla estructural debida a las cargas sobre esquinas cargadas de apoyo.	Si la grieta forma un pequeño triángulo en la esquina de la losa: - Remover el material dañado y parchar con concreto asfáltico. Sellar la junta. - O remover el material dañado y parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado, si se ha eliminado la causa del problema. Si la grieta está mas al centro de la losa: - Sellar la grieta con material flexible para evitar infiltraciones. - Soldar la grieta con adhesivo a base de resinas epóxicas o polímeros, eliminando previamente la causa del problema.



R E S U M E N

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES.
Hundimientos diferenciales. Arietamientos con hundimientos.	<ul style="list-style-type: none"> - Ineficiencia de la subbase y subrasante. - Inadecuada transferencia de cargas entre losas. - "Bombeo" de los materiales de cimentación. - Subdrenaje defectuoso. - Progresión de otras fallas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Levantar las losas hundidas mediante la inyección de asfalto con arena o de mortero de cemento. Sellar previamente las juntas o grietas hasta la mitad. - Nivelar el pavimento aplicando una capa de concreto hidráulico y resinas epóxicas, o aplicando concreto asfáltico. - Si los hundimientos van acompañados de arietamientos considerables, demoler las losas, hacer caja y parchar con concreto hidráulico. Utilizar fierro de refuerzo y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado. - Si el res fallida es muy extensa repavimentar utilizando el pavimento viejo como base.
Losas que se "bolan"	<ul style="list-style-type: none"> - Excesiva expansión de las losas. - Material no compresible en las juntas, que impide que las losas se expandan. 	<ul style="list-style-type: none"> - Remover la parte dañada. - Parchar con concreto hidráulico y resinas epóxicas u otro adhesivo adecuado, o parchar con concreto asfáltico. - Proveer una junta de expansión. - Sellar la junta.
Cortes en el pavimento.	Necesidad de tender una tubería, una obra de drenaje, ductos eléctricos, o alguna otra instalación.	<ul style="list-style-type: none"> - Cortar la losa al menos 15 cm mas allá de la orilla de la zanja. - Excavar la zanja con cuidado. - Rellenar en capas perfectamente compactadas. - Parchar con concreto hidráulico en el espesor de la losa mas 5 cm, hacia abajo. - Utilizar fierro de refuerzo y adhesivo a base de resinas epóxicas u otro producto adecuado.
Juntas o grietas sin sellar.	<ul style="list-style-type: none"> - Falta de limpieza de las caras de las juntas al sellarlas originalmente. - Temperatura indebida al aplicar el sello. - Calidad inadecuada del material de sellado. - Aparición de nuevas grietas. 	<ul style="list-style-type: none"> - Quitar el material de sello defectuoso. - Limpiar las juntas y sellar debidamente. - Si allora material sellante cuando la temperatura ambiente no es muy alta, eliminar el excedente.
Acumulación de caucho en la superficie que origina o reduce el coeficiente de rozamiento.	- Número considerable de operaciones de aterrizaje en la pista.	<ul style="list-style-type: none"> - Proceder al ranurado transversal y/o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado. - Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción. - Solución alternativa: eliminar el caucho con productos químicos y/o agua a presión (no muy recomendable).
Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones en los aviones	<ul style="list-style-type: none"> - Poco control durante la construcción. - Equipo inadecuado para el colado. - Fallas del pavimento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado. - Controlar los trabajos por medio de perfilógrafo. - Solución alternativa: Tender sobrecarpeta (generalmente es una solución mas costosa).
<p>NOTA: Se recomienda que en todos los casos, los procedimientos de construcción, utilización y elaboración de materiales, se sujeten a las Especificaciones Generales de Construcción de la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas.</p>		



CONSERVACION DE PAVIMENTOS
FLEXIBLES

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES.
Erosión del Pavimento.	<ul style="list-style-type: none">- El chorro de las turbinas;- El peso de las ruedas de los aviones a gran velocidad; y/o- Pobre adherencia entre el material pétreo y el asfalto, causada por:<ul style="list-style-type: none">- elaboración defectuosa del concreto asfáltico;- agregados pétreos hidrófilos o de poca afinidad con el asfalto.- efectos circunstanciales (p. ej. derrame de combustibles y lubricantes)	<ul style="list-style-type: none">- Si la erosión está en la etapa inicial, aplicar un riego de mortero asfáltico; evitar el uso de riegos de sello.- Si la erosión se ha profundizado mucho, darle tratamiento similar al de un bache.- Cuando se presenten derrames de combustibles, lavar inmediatamente el área afectada de manera de diluir y eliminar el líquido disolvente (mantenimiento preventivo)
Disgregación o desmoronamiento.	<ul style="list-style-type: none">- Insuficiente compactación durante la construcción.- Colocación de la carpeta en tiempo muy húmedo o frío.- Utilización de agregados sucios, desintegrables o de poca afinidad con el asfalto.- Falta de asfalto en la mezcla; y/o- Sobrecalentamiento de la mezcla asfáltica.	<ul style="list-style-type: none">- Si la falla se encuentra en sus inicios, aplicar un riego de mortero asfáltico.- Si la falla se encuentra muy avanzada y la superficie es muy extensa, seancarpetar
Agujeros	<ul style="list-style-type: none">- Poca resistencia de la carpeta en la zona, debida a:<ul style="list-style-type: none">- Falta de asfalto en la mezcla- Falta de espesor de carpeta- Exceso o carencia de fibra en la mezcla, y/o- Drenaje deficiente.	<ul style="list-style-type: none">- Reparación temporal: Limpiar el agujero y rellenarlo con mezcla asfáltica; compactar.- Reparación permanente: Efectuar cortes formando un rectángulo con sus paredes verticales; imprimir las paredes y rellenar la cavidad con mezcla asfáltica; compactar
Sangrado o Alboramiento de Asfalto.	<ul style="list-style-type: none">- Exceso de asfalto en la mezcla asfáltica.- Construcción inadecuada del sello- Riego de liga o de impregnación - excesivos.- Solventes que sacreen el asfalto a la superficie.- El peso de los cuerpos del tráfico pesado puede acelerar el sangrado.	<ul style="list-style-type: none">- Remover o raspar el exceso de asfalto aflorado y aplicar un tratamiento superficial (Mortero asfáltico)
Oxidación del Asfalto	<ul style="list-style-type: none">- Excesivo intemperismo del asfalto por agentes meteorológicos y/o por el escape de las turbinas a altas velocidades y temperaturas.	<ul style="list-style-type: none">- Aplicar un tratamiento superficial (mortero asfáltico) para proteger la estructura de concreto asfáltico.- O aplicar un producto rejuvenecedor ("Reclaimite")
Corrimientos de la Carpeta	<ul style="list-style-type: none">- Falta de adherencia entre la carpeta y la base, debida a:<ul style="list-style-type: none">- Impurezas situadas entre las dos capas (Polvo, aceite, caucho, - agua)- Falta de riego de liga durante la construcción del pavimento.- Exceso del contenido de arena en la mezcla.- Inadecuada compactación durante la construcción.	<ul style="list-style-type: none">- Remover la carpeta afectada y por lo menos 30 cm de la carpeta circundante en buen estado; efectuar cortes rectangulares con sus paredes verticales.- Limpiar con cepillo y aire a presión.- Aplicar riego de liga ligero.- Colocar la mezcla asfáltica; extender con cuidada para evitar segregación.- Compactar adecuadamente con placa vibratoria o rodillo metálico.



RESUMEN

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Corrimientos Circulares.	<ul style="list-style-type: none"> - Giro de los aviones muy cerrado. - Poca capacidad del pavimento, para resistir esfuerzos de tensión. 	<ul style="list-style-type: none"> - Sellar la grieta si no es muy profunda. - Abrir caja y reponer el material si la falla se prolonga hasta las capas inferiores del pavimento.
Corrugaciones	<ul style="list-style-type: none"> - Cargas del tráfico y - Concreto asfáltico de poca estabilidad debido a: <ul style="list-style-type: none"> - exceso de asfalto en la mezcla. - exceso de agregados finos. - agregados pétreos demasiado redondeados o lisos. - cemento asfáltico demasiado blando. - humedad excesiva - contaminación por derrame de aceites. - falta de aireación al colocar la mezcla asfáltica (cuando se emplean asfaltos rebaldados) 	<ul style="list-style-type: none"> - Si las corrugaciones son pocas, reconar las irregularidades sobresalientes y aplicar a da superficie un mortero asfáltico. - Si las corrugaciones son excesivas, remover la zona afectada y colocar concreto asfáltico bien proporcionado - Si hay subdrenaje defectuoso, este debe ser corregido previamente.
Hundimientos o Depresiones	<ul style="list-style-type: none"> - Operaciones de cargas superiores a las de diseño del pavimento. - Falta de compactación de las capas inferiores del pavimento. - Asentamientos del terreno de cimentación - Flujo del suelo de cimentación hacia los lados de la placa (en algunos suelos arcillosos). 	<ul style="list-style-type: none"> - Para hundimientos debidos a compactación del terreno de cimentación o de las capas del pavimento, efectuar una nivelación. - Para hundimientos causados por fallas de tuberías o alcantarillas, repararlas previamente, lo que requerirá la remoción del pavimento. - Para hundimientos acompañados de grietas, efectuar estudios para determinar la causa de la falla y suprimirla.
Canalizaciones.	<ul style="list-style-type: none"> - Consolidación o movimiento lateral de una o varias de las capas subyacentes provocada (o) por el tráfico. - Carpetas nuevas mal compactadas. - Baja estabilidad del concreto. 	<ul style="list-style-type: none"> - Revivir las depresiones y - Colocar una sobrecarpeta
Grietas longitudinales de orilla y de junta.	<ul style="list-style-type: none"> - falta de soporte lateral o - Asentamientos del material cercano a la grieta, debidos a: <ul style="list-style-type: none"> - Drenaje defectuoso - Acción de las heladas. - Contracciones por secado del suelo de cimentación. - Vegetación cercana a la orilla del pavimento. - Débil unión entre dos franjas de construcción de la carpeta. 	<ul style="list-style-type: none"> - Corregir el drenaje si está defectuoso. - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. - Si existen además asentamientos; picar la superficie afectada, limpiarla, aplicar un riego de liga, colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria.
Grietas Transversales	<ul style="list-style-type: none"> - Asentamientos aislados de la superficie, base o subbase (p.e.), cuando el pavimento es cruzado por tuberías o ductos. - Movimientos mas generales y mas amplios del suelo de cimentación (p. e.), grietas por secado de suelos arcillosos; grietas por movimientos telúricos; grietas por fallas geológicas activas) 	<ul style="list-style-type: none"> - Limpiar las grietas con cepillo y aire a presión; sellarlas. - Si existen además asentamientos; picar la superficie afectada; limpiarla; aplicar un riego de liga; colocar mezcla asfáltica y compactarla con rodillo o placa vibratoria. - Si una tubería mal sellada ocasionó la falla por el arrastre de materiales, abrir caja y corregir el defecto; rellenar la excavación en capas, compactando adecuadamente. - Si la falla es debida a movimientos generales del suelo, se puede intentar reducir sus efectos colocando una sobrecarpeta provista de una malla de acero de refuerzo sobre la zona afectada.



RESUMEN

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Grietas de Contracción.	<ul style="list-style-type: none">- Cambios de volumen en la mezcla asfáltica o en las capas inferiores.- Cambios de volumen del agregado fino de las mezclas asfálticas, que tienen un alto contenido de asfalto de baja penetración.- La falta de tráfico apresura la falla.- Diferentes colores de la superficie del pavimento (p.ej. marcas de pintura) que provocan diferentes absorciones térmicas de los rayos del sol.	<ul style="list-style-type: none">- Limpiar la zona afectada con cepillos y aire a presión; rellenar las grietas con producto asfáltico o emulsión asfáltica y aplicar un tratamiento superficial a base de mortero asfáltico.- Si existe pintura, raspar previamente.
Grietas de Reflexión.	<ul style="list-style-type: none">- Movimientos verticales u horizontales en el pavimento que se encuentra debajo de una sobrecarpeta.- Movimientos ocasionados por cambios de temperatura o humedad y que provocan expansiones y contracciones.- El peso del tráfico.- Movimientos de tierra.- Pérdida de humedad en subrasante con alto contenido de arcillas.	<ul style="list-style-type: none">- Rellenar las grietas.
- Agrietamientos tipo plato de cocodrilo. - Agrietamientos tipo mapa.	<ul style="list-style-type: none">- Deflexiones excesivas de la carpeta, debidas a una subrasante, sub-base y/o base inestables o resistentes.	<ul style="list-style-type: none">- Remover la carpeta y la base hasta la profundidad necesaria para obtener un apoyo firme; efectuar cortes rectangulares o cuadrados con sus paredes verticales;- Instalar sub-drenaje si la causa de la falla fué el agua;- Aplicar un riego de impregnación a las paredes;- Rellenar con mezcla asfáltica;- Compactar adecuadamente con rodillo o placa vibratoria (compactar en capas si la excavación tiene mas de 15 cm. de profundidad);- Reparación temporal de emergencia: aplicar un mortero asfáltico. En caso de haber hundimientos; rellenar las grietas y ranvelar con mezcla asfáltica.
Crecimiento de yerba y afloramiento de agua.	<ul style="list-style-type: none">- Textura de la carpeta demasiado abierta.- Capa base saturada de agua.- Agua atrapada en la carpeta durante la construcción.	<ul style="list-style-type: none">- Corregir el sub-drenaje y/o el drenaje si estos fueron la causa de la falla.- Reponer el pavimento alterado.- Aplicar un tratamiento superficial a la base de mortero asfáltico a la zona de carpeta de textura muy abierta.



RESUMEN

CONCEPTO	CAUSAS PROBABLES DEL PROBLEMA	RECOMENDACIONES
Acumulación de caucho en la superficie.	- Numero considerable de operaciones de aterrizaje en la pista.	- Proceder al renurado transversal y/o rebajado de la superficie por medio de equipo adecuado. - Llevar control de la evolución del coeficiente de rozamiento por medio de un medidor de fricción.
Irregularidades en la superficie del pavimento que provocan vibraciones a los aviones.	- Poco control durante la construcción. - Equipo inadecuado para el tendido. - Fallas del pavimento	- Proceder al rebajado longitudinal por medio de equipo adecuado. - Contratar los trabajos por medio de perfilógrafo - Solución alternativa: Tender sobrecarpeta (generalmente es una solución mas costosa).

FACTORES REGIONALES.-

El factor regional del lugar donde se pretende construir un aeropuerto puede influir aisladamente o en conjunto con otros para la decisión en la selección. En México generalmente no se tiene mucho problema con climas extremos o lugares que estén sujetos a fuertes variaciones naturales. Dependiendo de las temperaturas existentes en la región, agentes naturales como pudieran ser precipitaciones pluviales, nevadas, temperaturas muy altas o muy bajas, es muy conveniente analizar en los estudios preliminares la susceptibilidad que podrían tener los dos tipos comunes de pavimentos para así determinar la factibilidad y conveniencia de emplear unos u otros materiales, lo que repercutiría favorablemente en la selección final de un pavimento rígido o flexible.

Existen regiones en el país con poca variabilidad en agentes climáticos y en temperaturas por lo que resulta indistinto el decidir entre pavimento rígido o flexible, de esta manera no interviniendo en forma prioritaria este factor en la selección final.

AGENTES CONTAMINANTES.-

Este factor influye determinadamente en casos donde se prevea que -- existirá algún tipo de contaminación o agente directo sobre la superficie de rodamiento. En el caso de aeropuertos, se ha comprobado que el derrame de combustibles producido en las diversas posiciones de las -- plataformas de operación por las aeronaves en carga o descarga, deterioran aceleradamente cualquier pavimento, presentando mucha mayor resistencia a este agente contaminante el pavimento de concreto hidráulico.

Por otro lado se ha observado en la época actual de aeronaves propulsadas con turbina a reacción, que el efecto del chorro del jet por la fuerza y combustión a alta presión de las turbinas en el momento del

despegue cuando el avión inicia su ascenso, deteriora considerablemente el pavimento flexible, por el calentamiento del componente asfáltico de la mezcla de la carpeta. En el caso de prever un alto número de operaciones con este tipo de equipo de vuelo, resulta conveniente inclinarse por un pavimento del tipo rígido en la franja central de tránsito canalizado de la pista, combinado con franjas laterales de pavimento flexible.

Este factor y efecto sobre el pavimento es de mayor relevancia en las aeronaves de guerra cuyo centro de gravedad es muy bajo.

Finalmente, es común detectar erosión en el pavimento por la vegetación en los acotamientos de la pista, rodaje y plataformas de operación. Esto es debido a una mala conservación y en donde la vegetación adyacente materialmente carcome el pavimento flexible. En otras palabras, pudiera pensarse que el asfalto y los agregados que componen un pavimento actúan como fertilizantes de los pastizales y vegetación adyacente, no observándose ese tipo de efecto en pavimentos hidráulicos.

USO / OPERACION.-

El uso que pretenda darse al aeropuerto en estudio influirá de manera determinante en la decisión para seleccionar los pavimentos del tipo rígido o flexible. Esto está ligado directamente con las aeronaves esperadas, sus cargas, diseño del tren de aterrizaje, etc. y también con el tipo de operación prevista.

En nuestro país debido a la interacción de varios factores y particularmente al factor en estudio, se ha optado por utilizar pistas revestidas o de terracerías para pequeños aeropuertos rurales. Para aviación general de peso ligero, dependiendo del número de operaciones se han proyectado y construido pavimentos flexibles de diseño simple, en muchos casos sólo tendiendo un sello sobre la carpeta de base o car-

petas asfálticas de pequeños espesores. Para la aviación comercial - en general, se ha optado por el tipo flexible en los pavimentos de pistas, rodajes y plataformas, llegándose a combinar el rígido con el flexible en ciertos casos en donde por el número de operaciones y el peso de las aeronaves conviene utilizar pavimento rígido en la franja de tránsito canalizado y flexible en las laterales, lo cual ha probado ser una solución aceptada y funcional para ciertos aeropuertos mexicanos.

Generalmente en aeropuertos militares se prefiere el concreto hidráulico, dada la mayor resistencia que tiene éste en cuanto a aeronaves pesadas, transportes de equipo pesado o aeronaves tipo jet cuyas presiones de inflado en las llantas sobre la superficie del pavimento - llegan a ser hasta de 400 Lb/Pulg.², función de soporte que cumple más adecuadamente la losa de concreto hidráulico rígido contra fuertes espesores y múltiples capas que requeriría un pavimento flexible en esas condiciones. El efecto de chorro de las turbinas de los cazas de guerra dado lo bajo de los centros de gravedad de las aeronaves al momento del despegue e inicio del ascenso, es mucho mayor así como su efecto sobre el pavimento que las aeronaves comerciales.

LIMITACIONES DE CONSTRUCCION.-

Las limitaciones que se determinen durante los estudios tendientes al proyecto final del aeropuerto y en especial de sus pavimentos, son determinantes en algunos casos y en otros al conjugarse con otros factores en la selección de un pavimento rígido o flexible.

Dentro de las limitantes más comunes se pueden mencionar la carencia o existencia de bancos de ciertos materiales que componen las estructuras de un pavimento rígido o flexible. Dependiendo del tipo de material a utilizar y las distancias de acarreo junto con su disponibilidad, se afectan directamente los costos globales. La disponibilidad de maquinaria y de refacciones para las plantas de aprovisionamiento,

Influirán también aunque sea en forma secundaria en los criterios de decisión. Sin embargo se recomienda el considerar este factor en cuestión para la selección final del diseño.

SEGURIDAD.-

El factor seguridad para la decisión en la selección es de vital importancia en las operaciones aeroportuarias, por lo que existen organismos internacionales que emiten especificaciones sumamente estrictas en cuanto a diseños y construcción de los aeropuertos. Esto incluye normas y recomendaciones adicionales para los pavimentos, en cuyo caso al cumplir y apearse estrictamente a las especificaciones en cuestión, en ocasiones este factor "seguridad" podrá actuar aisladamente o en interacción con otros factores para tomar la decisión final.

CONFORT.-

El factor de confort para decisión en la selección de un pavimento se considera como secundario en cuanto a prioridad. Ondulaciones o deformaciones en los pavimentos flexibles o los casos de pavimentos mal conservados, por ejemplo en las juntas elásticas de un pavimento rígido, provocarían el acceso de agua superficial hacia las capas inferiores, erosionando o socavando el material de la base, produciendo oquedades que redundarían en una falta de soporte uniforme de la losa provocando asentamientos diferenciales entre losas o fracturas en las esquinas, que repercuten en vibraciones excesivas del avión en sus operaciones de despegue o aterrizaje, llegándose a dar en ciertos casos fatiga estructural en el metal, vibraciones en los instrumentos del panel de control y definitivamente discomfort en los pasajeros de las aeronaves comerciales.

Analizando este factor de decisión pudieran sugerirse para pistas y rodajes el empleo de pavimentos flexibles o de concreto reforzado continuo sin juntas.

EXPANSION DEL SISTEMA.-

Los planes maestros que se elaboran para un aeropuerto frecuentemente consideran diversas etapas de construcción con expansiones del sistema a corto, mediano y largo plazo. Dentro de las consideraciones y objetivos del plan maestro se analizan en detalle las demandas pasadas, actuales y futuras, que influirán directamente y en forma determinante en los factores de decisión para la selección inicial de los pavimentos en un aeropuerto nuevo.

En algunos casos debido a la demanda e incremento en las cargas de aeronaves en uso o por llegar, se considerará un cambio de categoría del aeropuerto actual, obligando ésto a utilizar diferentes aviones críticos para el diseño de los pavimentos, lo que repercutiría en los factores de decisión que en forma aislada o en combinación con las funciones de otros factores, influirán en los criterios de selección finales.

Es conveniente que al realizar el plan maestro de un nuevo aeropuerto o de ampliaciones en los existentes, se determine cuidadosamente la utilización de un pavimento rígido o flexible, pues de lo contrario se llegaría a cambios radicales de convertir un pavimento rígido en un flexible y viceversa, lo que se conoce por pavimentos mixtos en el sentido vertical.

MATERIALES.-

El factor de decisión "materiales" es similar y está condicionado a las funciones descritas en el factor limitaciones de construcción, pudiéndose agregar que dependiendo también de los estudios iniciales sobre los materiales existentes, su clasificación y sus características particulares de cada uno de ellos, influyen en mayor o menor escala en la decisión para la selección de un pavimento rígido o flexible en aeropuertos.

También debe considerarse el "envejecimiento" de los materiales componentes del pavimento, en especial los de la superficie de rodamiento y en ciertos casos la contaminación de los materiales en bases y sub-bases.

El pavimento flexible usualmente está más expuesto al envejecimiento que el rígido y los efectos de repeticiones de cargas en el flexible deterioran con el tiempo más aceleradamente los materiales componentes.

* * * *

CONCLUSIONES.-

Definitivamente se debe de cambiar la mentalidad del ingeniero diseñador actual, en cuanto a fases previas a la realización del proyecto.

El análisis detallado de los factores tratados en esta ponencia, repercutirá en diseños óptimos, que a mediano y largo plazo redundan en economía de los costos y en extensión de la vida útil del pavimento, proporcionando un servicio y seguridad máximos.

La decisión entre un pavimento flexible, un rígido o un mixto, generalmente ha funcionado adecuadamente en la mayoría de los aeropuertos

mexicanos. Sin embargo, se enfatiza la necesidad de establecer estos criterios como parte fundamental del Análisis del Sistema de Pavimentos y en su momento oportuno para la continuidad óptima del flujo en el Sistema.

Se reconoce la decisión de un sólo factor como mandatorio en ciertos casos, sugiriéndose la revisión adicional de los otros y sus prioridades así como su posible interacción entre ellos, para así evaluar en forma objetiva el sistema más funcional.

Analizando el conjunto de factores para la decisión entre los dos tipos de pavimentos, se observa en general para los aeropuertos una mayor conveniencia en utilizar los del tipo rígido. Sin embargo habrá casos donde el mixto sea el óptimo y por último situaciones especiales donde el flexible sea el adecuado.

*



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

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

LA INGENIERIA DE SISTEMAS EN EL DISEÑO Y
CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS

M. EN C. RODOLFO TELLEZ GUTIERREZ

SEPTIEMBRE, 1983

Dentro de las ramas de la Ingeniería civil, pueden considerarse a las vías terrestres como fundamentales para el desarrollo de un país. Por los beneficios socioeconómicos que generan, la magnitud de la inversión que representan, el tiempo que deben mantenerse prestando un servicio adecuado, etc., es claramente palpable la importancia de su correcta planeación, diseño y construcción.

El diseño de pavimentos para carreteras y aeropistas involucra estudios complejos de suelos y materiales, su comportamiento bajo cargas y su habilidad para soportar el tránsito durante todas las condiciones climatológicas a lo largo de su vida de diseño útil.

El campo de diseño de los pavimentos debe ser dinámico conforme a la tecnología cambiante día con día y por los requerimientos impuestos por el creciente tráfico aéreo y carretero y las sobrecargas involucradas. En el pasado, la "regla del dedo" basada en experiencias previas gobernaba y tipificaba los diseños. Durante el período de 1920 a 1940, los Ingenieros se concentraron en evaluar propiedades estructurales de los suelos, por lo que fué posible conseguir gran cantidad de información y datos que permitieron desarrollar teorías y modelos realísticos en el diseño de pavimentos.

Experimentos masivos a gran escala, como BATES, WASHO y AASHO, definieron los derroteros a seguir por muchos años resultando en mé-

todos usuales hasta la fecha. Sin embargo, esos métodos actuales de diseño no son considerados del todo adecuados. Son empíricos por naturaleza o no han sido implementados para usos generales. Debe recordarse aquí la complejidad del sistema de pavimentos. Concientes de ello, la investigación ha seguido su formato dinámico hasta llegar a las computadoras.

La ingeniería de sistemas está siendo aplicada a la solución de problemas e implementación de los actuales métodos de diseño y construcción. Los programas resultantes que han sido creados para estos fines permiten al ingeniero de diseño realizar un sistema de análisis detallado y preciso de la vida y comportamiento de un pavimento sobre cualquier período de diseño.

Obras de gran envergadura como carreteras y aeropuertos, no permiten reglas de dedo, recetas de proyectos tipos o soluciones al azar, dada la enorme inversión y beneficios que representan en todos conceptos. Si también se toma en cuenta la necesidad prioritaria de mantener y conservar la red carretera nacional existente con presupuestos limitados, la rehabilitación y conservación refuerzan la urgencia de "diseños efectivos". Las computadoras definitivamente son al presente, herramientas muy útiles para la correcta planeación, diseño y construcción de estas obras civiles.

Existen programas de computadora muy versátiles para pavimentos de caminos y aeropistas. Constantemente son experimentados y actualizados para cumplir con sus objetivos eficientemente. Los hay para sistemas múltiples de capas que sirven para estudiar con detalle esfuerzos, deformaciones y deflexiones en pavimentos flexibles y rígidos. Estos programas permiten analizar cada capa componente de la estructura y también la consideración de cargas múltiples repetidas en el diseño. Predicciones de fatiga son analizadas con precisión.

El ingeniero de diseño debe tomar en cuenta los costos (iniciales de construcción, de mantenimiento, intereses, amortización, etc. etc.), para integrar un sistema de aproximadamente 50 variables básicas de entrada al programa. Entonces, con el auxilio de la computadora se obtendrán múltiples alternativas de diseño de entre las que se seleccionarán aquellas óptimas basadas en el costo mínimo.

No debe olvidarse la importancia del criterio y experiencia del ingeniero especialista al llevar a cabo los pasos previos al proceso de computación, contemplados en la "metodología mecanística" del sistema de pavimentos:

I) INVESTIGACION DE CAMPO

{ pruebas no destructivas
medición de deflexiones
inventario de condiciones existentes
muestreo de materiales

II) DETERMINACION EN
LABORATORIO

{ propiedades elásticas de mats.
obtenidos

III) ANALISIS DE LA CAPACIDAD DE CARGA DEL PAVIM. EXISTENTE

IV) EVALUACION DE LAS ESTRATEGIAS A SEGUIR PARA ALTERNATIVAS
DE REHABILITACION Y REFUERZO.

Al finalizar este proceso, se estará en posibilidad de integrar valores adecuados para las múltiples variables que requiere la computadora para ejecutar el programa.

Antes de entrar al desarrollo general de los programas de computadora, su funcionamiento y puntos negativos, es conveniente mencionar una comparación subjetiva entre métodos de diseño empíricos y métodos de ingeniería de sistemas.

Me refiero a los métodos de diseño MS-11 y MS-11-A del Instituto del Asfalto de los EE.UU. El primero es un método empírico tradicional que no está del todo actualizado principalmente en cuanto a tipo y peso de aeronaves muy recientes (ej. Concorde). Por otro lado, está sujeto a errores de cálculo y apreciación por el número y complejidad de sus diagramas, aunado al tiempo excesivo de cálculo para obtener diseños.

El Instituto del Asfalto reconoció estas limitaciones y diseñó recientemente el programa de computadora MS-11-A para el diseño de pavimentos flexibles en aeropistas, que estando actualizado para todo tipo de aeronaves, cargas y operaciones, permiten al ingeniero obtener diferentes alternativas de diseño estructural, costos, rehabilitación programada, etc. en un tiempo mínimo de aprox. 30 segundos de ejecución del programa. Esto representa una ventaja adicional al poderse modificar valores numéricos y restrictivos para analizar diferentes condiciones de análisis y así obtener el diseño óptimo a un costo mínimo.

Ahora bien, debemos recordar que la computadora siendo una herramienta de mucha utilidad, a final de cuentas es una máquina compleja que estará sujeta al criterio y arbitrio del ingeniero diseñador por lo que se refiere a programación.

La programación requiere de reglas básicas a seguir y lenguajes sofisticados, por lo que el ingeniero debería conocerlas para no cometer errores que por ejemplo, le lleven a un loop sin término, (infinite-loop), ó la no ejecución del programa por usar valores fuera de límite, ó a consumir un tiempo excesivo en la ejecución del programa (p.e. 300 segundos). Es primordial la investigación cuidadosa de datos básicos para las variables de entrada al programa y el mantener actualizados los programas de computadora para diseño, conforme a la dinámica cambiante en esta tecnología y conforme a las necesidades particula-

res de cada obra.

Usualmente los programas de computadora para el diseño de pavimentos son ejecutados con una rutina principal y 8 subrutinas que realizan 5 funciones básicas:

- 1.- Lectura de datos básicos de entrada
- 2.- Solución de valores admisibles (p.e. tránsito)
- 3.- Solución de valores predecibles
- 4.- Determinación de espesores de diseño (alternativas)
- 5.- Determinación de requisitos para refuerzo o rehabilitación.

Existe primeramente una "interacción" lógica de datos básicos de entrada:

- a) Variables de cargas
- b) Variables climatológicas
- c) Variables de caracterización materiales
- d) Variables de construcción
- e) Variables de diseño estructural
- f) Variables de mantenimiento, etc.

Estas variables y su interacción lógica serán procesadas a través de un modelo estructural del pavimento que considerará respuestas primarias (deflexiones, deformaciones, esfuerzos, deterioro, etc) y respues

tas limitativas (ruptura, distorsión; desintegración, etc.)

Entre los procesos de respuestas primarias y limitativas, se analizan las propiedades de la sup. rodante a deslizamiento, rugosidad, tracción, etc. En el caso de aeropistas, a la altura de este nivel se procesan las variables restrictivas de ruido, polución y congestión.

Del modelo estructural básico o primario, se desprende otro submodelo que analiza criterios de decisión en base a la disponibilidad de — fondos, seguridad de operación, confort, costos de mantenimiento y de usuarios, que serán evaluados y sopesados para cada alternativa y junto con el resultado del primer modelo mecánico, se integrará para nuevo análisis y selección de alternativas, cuya combinación y selección serán impresas finalmente para su revisión y decisión.

Como ejemplo de aplicación práctico, se menciona el programa de computadora LVR (Low Volume Roads) para diseño de caminos revestidos y pavimentados de bajo costo y bajo volumen, que en su última versión maneja eficientemente 50 variables, que al ser procesadas durante la ejecución del programa en aprox. 22 segundos, se obtienen 40 alternativas de diseño basadas en costo mínimo, incluyendo costos finales y periodicidad y tipo de rehabilitación o refuerzo para cumplir perfectamente con la vida útil de diseño especificada.

Existen a la fecha un gran número de programas de computadora disponibles para el ingeniero de diseño en pavimentos rígidos o flexibles, para aeropuertos o caminos. Sin embargo, se tratarán aquí solo los más usuales y actualizados. Estos programas han sido experimentados con magníficos resultados en diferentes obras de gran envergadura como son los aeropuertos internacionales de O'Hare, en Chicago, USA, Dallas-Ft Worth, en Texas, Washington, D.C. y sistemas interestatales de los Estados Unidos y Brazil.

A continuación, se da un listado de programas disponibles y posteriormente se explica en términos generales sus aplicaciones y funcionamiento.

LISTADO DE PROGRAMAS DISPONIBLES

DETERMINACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
FPS-2	FLEXIBLE PAVEMENT SYSTEM	Diseñar sistemas de Pavimentos Flexibles	123 U.S. Dept. of Transp. CFHR, Univ. of Texas Austin Texas A&M Univ. Texas Highway Dept.
LVR 1-11	LOW VOLUME ROADS	Diseño caminos revestidos y pavimentados flexibles para bajo volumen, de bajo costo.	60 U.S. Forest Service Dept. of Agriculture U. Texas at Austin C.A.T.S.
MS-11-A	COMPUTER PROGRAM FOR ASPHALT PAVEMENTS FOR AIR CARRIER AIRPORTS	Diseño de pavimentos flexibles para aeropuertos	The Asphalt Institute U.S.A.
RPS-2	RIGID PAVEMENT SYSTEM 2	Diseño de pavimentos rígidos de concreto hidráulico	123-21, Texas Transportation Institute Texas A&M Univ. Univ. of Texas at Austin Texas Highway Department
TMA	TRAFFIC MIX ANALYSIS	Predicción de tráfico - aéreo para el diseño - de aeropistas y cargas equivalentes.	The Asphalt Institute, U. S. A.
MODLAS 1-10	MODULUS OF ELASTICITY	Caracterización de materiales, analizando - propiedades elásticas.	Center for Highway Research. Council for Advanced Transportation Studies
CRCP-1 CRCP-2	CONTINUOUSLY REINFORCED CONCRETE PAVEMENT	Diseño de pavimentos rígidos de concreto - reforzado o armado - continuo sin juntas, para aeropistas y carreteras.	177.- Center for Highway Research Austin Research Engs. Texas Highway Dept. FHWA

DENOMINACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
PLOT-2	DEFLECTION PROFILE	Análisis, recolección e impresión del contorno de deflexiones medidas continuas. Registro de condiciones existentes sobre la superficie de rodamiento.	Federal Highway Procedure "Design Procedure"
TVAL-2	STATISTICAL ANALYSIS	Análisis Estadístico de cualquier índole para estudio de datos iniciales, p.e. deflexiones medidas e inventario - carreteras.	Statistical Analysis of Design Sections, FHWA " Design Procedure"
RPOD-1	RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN	Diseño de refuerzos o sobrecarpetas para pavimentos rígidos.	77-66,67 FHWA, U.S.A.
RPOD-2	RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN, UP-DATED	Diseño de refuerzos en pavimentos rígidos, considerando criterios por deflexiones, fatiga y grietas (predicción).	177-13 FHWA, U.S.A. Center for Highway Research Texas Highway Depart.
RFLCR-1	REFLECTION CRACKING PROGRAM	Procedimiento Racional de evaluación grietas y grietas reflejadas en sobrecarpetas.	177-13-1 Center for Highway Research.
SLAB-30 SLAB-49	SLAB ANALYSIS SLAB ANALYSIS	Programas de diseño y análisis, empleando teoría elástica para múltiples capas de pavimentos para carreteras y aeropistas	Transportation Facilities Branch, Department of the Army, U.S.A.
ELSYM-5	ELASTIC SYSTEM ANALYSIS LAYERED	Criterios de falla, esfuerzos-deformación y predicciones son procesadas aquí.	Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California U.S.A.
SHELL BISTRO	MULTI LAYERED ELASTIC SYSTEM ANALYSIS MLESA		Shell Oil Company, U.S.A.

DENOMINACION	NOMBRE	FUNCION	PROYECTO/INSTITUCION
ACAP-1 ACAP-2	Airport Capacity Analysis Airport Capacity Analysis	Analisis y Diseño Capacidad en base al tráfico aéreo de aero- puertos	University of Texas at Austin CFHR CATS
GEOPRO SIMPRO TEXAS MODEL	A Geometric Processor Simulator Process Texas Model	Tráfico y su análisis para intersecciones de carreteras y ur- banas .	Texas Highway Dept. F A A FHWA
PDILB	Computer Program for Airport Pavement Design	Programa de computadora para calcular la resis- tencia de pavimentos de Aeropuertos	Portland Cement Assn. R.G. Packard, Illinois, U.S.A.
* ACN-PCN	Aircraft Class.Number- Pavement Class. "	Programa iniciado por la Boeing y perfeccionado por Cuerpo de Ingenieros USA. Metodo CBR de calculo de pavimentos flexibles, Actualizado por Douglas para obtener ACN.	S-77-1 USAEWES

(*) OACI Enmienda al ANEXO 14 del Método para Notificar la Resistencia de los pavimentos (1980).

DIS/PAV	Diseño de Pavimentos	Programa que obtiene alternativas de diseño de pavimentos flexibles para carreteras	Instituto de Ingenieros Universidad Nacional Autónoma de México U.N.A.M. Nov. 1981
DISPA	Diseño de Pavimentos II Actualizado	Idem. DIS/PAV, operable con teletipos	Instituto de Ingenieros U.N.A.M. Mexico 1982

Es importante hacer notar el tipo de computadora que puede ejecutar los programas a continuación enlistados; esto es,

C D C	6000		
C D C	6400		
C D C	6600		
I B M	360		
I B M	370		
UNIVAC	1108	I B M	3031

Usualmente cada programa es diseñado en un específico lenguaje — (p.e. Fortran V) y para un tipo o modelo de computadora (p.e. CDC-6600). Por supuesto haciendo las modificaciones necesarias se puede convertir el sistema para procesarse en diferente computadora, — pero existe el inconveniente de incremento o reducción del tiempo — para ejecución del programa. Caso específico: el programa LVR-11 está diseñado para procesarse en computadora CDC-6600;

Al ejecutarse los cambios a IBM-360, el mismo programa tarda de 4 a 5 veces más su tiempo de ejecución, — lo que deberá considerarse para fines de "costo/tiempo/ejecución".

FPS 2 FLEXIBLE PAVEMENT SYSTEM 2

El programa de computadora para sistemas de pavimentos flexibles - No. 2, auxilia a los ingenieros de diseño para entender los efectos de las diferentes variables que intervienen en el diseño de un pavimento del tipo flexible de una manera más eficiente.

Está basado en el criterio de diseño por deflexiones, las cuales son obtenidas en el campo a través de empleo de equipos de evaluación tales como Dynaflect y Viga Benkelman.

Los valores obtenidos de deflexiones en los diferentes tramos seleccionados junto con datos de tránsito para ejes equivalentes, factores de clima, resistencia de los materiales por emplear, etc. esto es, variables de diseño, de limitaciones, junto con variables de costos, totalizan 45 diferentes tipos de datos básicos de entrada para resolver el programa y obtener de una manera eficiente, rápida y precisa diferentes alternativas de diseño de la estructura total del pavimento flexible y sus costos respectivos.

Se obtienen además, dentro del período de diseño de vida útil del pavimento, el número y tiempo a efectuar de refuerzos necesarios para asegurar metas de duración de la estructura.

Listado:

Proyecto Investigación

123

U.S. DOT

Texas Highway Department

Texas A&M (TTI)

University of Texas at Austin

(CFHR)

LVR, LVR 11 LOW VOLUME ROADS

El diseño de pavimentos de bajo costo y para bajos volúmenes de — tránsito es un procedimiento complejo que involucra numerosas variables. La complejidad de interacción entre ellas se ha ido solucionando gracias a mejores informaciones de campo y a programas de computadora tales como el "LVR" "Caminos de bajo volumen".

Desde su creación en 1974 se ha ido mejorando y modificando, hasta llegar a la versión "LVR-11", de enero 1979, considerada como uno de los programas óptimos para diseño de carreteras económicas.

En términos generales, este programa de computadora puede ser utilizado para calcular los diseños más económicos y favorables para pavimentos con carpeta asfáltica.

Pero además, este programa está diseñado para resolver caminos revestidos con grava que cumplen con ciertos requerimientos especificados por el ingeniero diseñador. Como ejemplo de estos requisitos pudieramos mencionar la vida de diseño deseada, restricciones referentes a costo inicial de construcción, frecuencia de las rehabilitaciones, etc.

El costo total obtenido incluye los costos inicial, de rehabilitaciones mayores, riegos de sello para carpetas asfálticas, mantenimiento menor y costos por retraso para usuarios. Además el programa calculará el costo de operación de vehículos si así se especificara cuando se realiza la programación inicial.

El programa LVR-10 de computadora actualmente maneja 50 variables a la vez. Podemos mencionar algunas de las más importantes para este tipo de diseño de pavimentos: ejes equivalentes, valor relativo de soporte en la cimentación, factores regionales climáticos, espesores de sobrecarpeta supuestos, valor de recuperación de la inversión, tiempo entre rehabilitaciones, índice de servicio, interés, propiedades de materiales, etc.

Otra innovación importante del programa es el conocimiento del "modelo de falla" que controla el diseño y su ejecución. En el LVR se analizan los modelos de AASHO, el de pérdida de agregados y el de deformación permanente bajo la rodada (rutting).

El tiempo de ejecución total del programa variará dependiendo los valores específicos asignados a variables, pero para dar una idea, varía de medio segundo a 30 segundos en condiciones normales, (corriendo el programa en CDC-6600).

Es importante hacer notar que dentro de los resultados obtenidos — cuando se usa este programa, se tienen 40 diferentes diseños óptimos para las condiciones especificadas desde el inicio, en orden progresivo, desde el "diseño óptimo estructural con el mínimo costo" hasta la alternativa 40, lo que permite al ingeniero diseñador — elegir una o varias alternativas que sean totalmente compatibles a sus necesidades y presupuesto, que a final de cuentas regirán la — decisión final.

Listado =

Proyecto No. 60

U.S. Forest Service

Depto. Agricultura

Council for Advanced

Transport. Studies

University of Texas at

Austin.

MS - 11 - A ASPHALT PAVEMENTS FOR AIRPORTS

El programa de computadora MS-11-A es la última versión del Instituto del Asfalto Norteamericano para el diseño de pavimentos flexibles asfálticos para aeropuertos; La versión sigue básicamente la secuencia de diseño y cálculo establecida para la versión manual de cálculo dada en su publicación MS-11. Por supuesto modificada para proceso en computadora y actualizada para todos y cada uno de los nuevos tipos de aeronaves, incluyendo el "Concorde".

Si alguno de los presentes ha realizado el diseño manual usando MS-11, se dará cuenta del tiempo a invertir y de las posibilidades de error continuas. Por ello este programa de computadora es sumamente útil en cuanto a ahorro de tiempo invertido, variables de entrada de diseño totalmente revisadas y actualizadas y la variedad de resultados y alternativas obtenidas para el proyecto total de las pistas de aterrizaje, de taxeo, cabeceras y plataformas.

Además proporciona el diseño de refuerzos o sobrecarpetas requeridas para alargar vida útil al pavimento.

El programa está hecho para lenguaje FORTRAN V en computadora tipo UNIVAC 1108 con un control EXEC 2 modificado de ejecución.

Con algunas modificaciones a seguir se puede operar el programa en computadoras IBM-360, 370 o CDC-6000 series.

Básicamente el programa sigue los pasos enumerados a continuación:

- 1 rutina principal
- 8 subrutinas que desarrollan 5 funciones:
 - a) leer datos de entrada
 - b) solucionar valores admisibles de tráfico
 - c) solucionar valores predicibles de tráfico
 - d) determinar espesores de diseño
 - e) determinar requisitos de sobrecarpeta o rehabilitación

Listado: MS-11-A

Computer Program for Full-
Depth Asphalt Pavements for
Air Carrier Airports
The Asphalt Institute, U.S.A.

RPS 2 RIGID PAVEMENT SYSTEM 2

El programa de computadora para sistemas de diseño de pavimentos rígidos RPS-2, es una versión moderna del FSP-2 que básicamente funciona de manera semejante, pero con variables adicionales y algunas restricciones diferentes para superficies de rodamiento hechas con cemento portland.

Este programa fue actualizado conjuntamente por varios organismos de Investigación (tales como U.T., Texas A&M, CFHR) para el Departamento de Carreteras del Estado de Texas.

Este tipo de programa permite al ingeniero de diseño realizar un sistema de análisis de la vida y comportamiento del pavimento rígido sobre cualquier período de vida útil deseado.

Con el manejo de aproximadamente 50 variables y factores de entrada, el ingeniero puede seleccionar una solución óptima basada en el costo mínimo.

El programa contempla el diseño de pavimentos rígidos construídos con juntas transversales, y sin refuerzo.

El sistema empleado por este programa está basado en métodos empíricos del Cuerpo de Ingenieros para pavimentos de aeropistas, en especial cuando se analizan los refuerzos por sobrecarpetas.

Listado:

Reporte No. 123-21,

T T I

T A & M

U T

T H Department

T M A THE ASPHALT INSTITUTE COMPUTER PROGRAM
FOR TRAFFIC MIX ANALYSIS

Al mismo tiempo que se creó el programa MS-11-A para pavimentos de aeropuertos, fue desarrollado este programa de computadora para análisis de tráfico aéreo, el TMA, el cual predice las repeticiones de deformación equivalentes de una aeronave estandar, producidas por una mezcla de tránsito aéreo proyectada al futuro.

Específicamente determina las repeticiones de deformaciones sobre diferentes espesores de concreto asfáltico asumidos para cada modo de falla. Considera varias condiciones básicas tales como: peso total de la aeronave al despegar (es variable) y como aeronaves prototipo al DC-8-63F y B-727-200.

El número de operaciones en todos los sentidos de orientación para la pista de despegue y aterrizaje es uno de los factores básicos en el programa para determinar daños producto de la fatiga y para estimar periodos de refuerzo al pavimento.

Para realizar el diseño y análisis de las sobrecarpetas y rehabilitación de las pistas para el aeropuerto nacional de Washington, D.C. fué utilizado este programa de computadora por el Dr. Witczak, lo

cual ejemplifica la efectividad de este programa de computadora.

Listado:

Traffic Mix Analysis, Computer Program

The Asphalt Institute U.S.A.

C R C P - 1 CONTINUOUSLY REINFORCED

C R C P - 2 CONCRETE PAVEMENT

Dentro de los pavimentos existentes a la fecha, tanto para carreteras como para aeropistas, el pavimento de concreto reforzado sin juntas es considerado como el óptimo, el más caro inicialmente pero el más barato y el mejor a largo plazo. Algunos técnicos lo llaman "zero maintenance", o sea cero mantenimiento mayor a lo largo de la vida útil del pavimento.

El programa de computadora CRCP-1 y el actualizado CRCP-2 diseñan este pavimento premium; — con base a variables de entrada tales como factores regionales de ambiente, temperaturas, tráfico, costos, resistencias de materiales, etc., el programa analiza diferentes alternativas estructurales y costos, resultando en las más idóneas.

En la versión actualizada CRCP-2, el programa de computadora analiza detalladamente el diseño de pavimentos reforzados de concreto continuos basados en contracciones de los materiales y caídas de la temperatura ambiental.

Ejemplo: Pista de despegue y aterrizaje en el aeropuerto
Internacional de O'Hare, Chicago, U.S.A.

Listado: CRCP - 1
CRCP - 2

Proyectos 3-8 -177 CFHR

177-9 A R E

T H Dept.

FHWA

PLOT 2 DEFLECTION PROFILE PROGRAM

Para el correcto diseño de un pavimento o su rehabilitación, se requieren datos, pruebas, información y mediciones de campo que serán parámetros básicos.

Con tal información obtenida, el programa PLOT 2 calculará y dibujará el contorno o espectro de las deflexiones medidas, que junto con las observaciones en el campo de la condición existente del pavimento (sup. de rodamiento), permitirán conocer de antemano tres puntos fundamentales:

- 1) pavimento c /vida remanente potencial
- 2) pavimento severamente agrietado que no pueda tener vida remanente
- 3) pavimento que falle totalmente aún antes de reforzado.

Cuando se tienen evaluaciones por realizar en pavimentos de longitud considerable, este programa demuestra obviamente los beneficios al ahorrar muchísimo tiempo en el proceso de obtener el espectro total de las deflexiones obtenidas p.e. Dynaflect o Viga Benkelman.

Listado:

PLOT 2 Computer Program

of FHWA "Design Procedure"

DOT, U.S.A.

TVAL 2 STATISTICAL ANALYSIS PROGRAM

Junto con el programa PLOT 2 antes mencionado, el programa TVAL 2 constituye una herramienta valiosa para el diseño y evaluación de pavimentos.

Este programa analiza estadísticamente las secciones de diseño por evaluar. Determina estadísticamente si estas secciones seleccionadas, son diferentes significativamente entre sí.

También obtiene medias y desviaciones standard de la información de deflexiones de diseño características de los tramos, que serán representativas de toda la longitud de camino en estudio.

Este programa de computadora forma parte también del procedimiento general de diseños de la FHWA.

Listado: TVAL 2

Statistical Analysis of Design Sections

Computer Program of FHWA Design Procedure

D O T, U.S.A.

RPOD 1 . RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN

El programa de computadora para diseño de sobrecarpetas en pavimentos rígidos fue desarrollado por ARE, Inc. para la Administración Federal de Carreteras de los EE.UU.

Este programa de computadora es básicamente un método de diseño para evaluar y diseñar los espesores requeridos de las sobrecarpetas en pavimentos rígidos, basado en valores estructurales del pavimento existente y su vida restante o remanente. La evaluación de las capas está basada en criterios de falla por fatiga.

El ingeniero diseñador deberá especificar módulos de elasticidad, espesores de capas existentes, relación o módulo de Poisson, deflexión característica permisible, tráfico, etc. El número de variables que intervienen varía pero no excede de 17. Como resultado, se obtendrá al final del proceso de computación, el espesor requerido de la sobrecarpeta o refuerzo para soportar el tráfico proyectado durante el periodo de vida útil por diseñar.

Listado: RPOD - 1
Rigid Pavement Overlay Design
Computer Program

Proyecto: FHWA-RD-77

RPOD 2 RIGID PAVEMENT OVERLAY DESIGN, UP-DATED

Después de experimentar con el programa RPOD-1 extensamente para la FHWA, el estado de Texas decidió implementar tal programa - para hacerlo más compatible con su equipo y necesidades. El resultado fué la versión moderna RPOD-2, que fué modificado para incluir el diseño de sobrecarpetas asfálticas en pavimentos sin vida remanente. Además se añadieron valores límites para módulos elásticos en subbases clases 3 y 4 de pavimentos rígidos totalmente fallados y se consideran producto de carga producida con equipos - Dynaflect.

Este programa de computadora analiza las grietas producto de fatiga, caracterizando el material de cimentación usando deflexión de diseño y datos de laboratorio.

En resumen, obtiene los espesores del refuerzo para la vida útil especificada empleando criterios de fatiga (miner's).

Listado: RPOD-2

FHWA

CFHR

Report No. 177-13

Texas Highway Department

RFLCR - 1 REFLECTION CRACKING PROGRAM

El programa de computadora sobre grietas reflejadas está diseñado principalmente para proporcionar un procedimiento racional de evaluación de susceptibilidad a las grietas reflejadas en la sobrecarpeta.

Trabaja esencialmente en sobrecarpetas de concreto asfáltico para pavimentos rígidos, pero se adapta también para otros tipos de refuerzo. El proceso calcula deformaciones horizontales (térmicamente inducidas), esfuerzos de tensión, cargas verticales y deformaciones producto de esfuerzos cortantes debido a deflexiones diferenciales en discontinuidades del pavimento existente.

El método sugiere que las deformaciones calculadas sean comparadas con las máximas permitidas.

Información adicional básica es necesaria tal como:

- espaciamiento entre grietas
- espaciamiento entre juntas
- movimiento horizontal de la losa a diferentes temperaturas
- deflexiones diferenciales verticales

Junto con los programas de computadora PLOT-2, TVAL-2, RPOD 2,

el RFLCR-1, completa el procedimiento actual de diseño de pavimentos de la FHWA y ahora usado también por el SDHPT Texas,

Listado:

1978 Versión

CFHR

Report No. 177-13

PROGRAMAS VARIOS REFERENTES A DISEÑO DE PAVIMENTOS EMPLEANDO TEORIA ELASTICA LINEAL PARA MULTIPLES CAPAS.

Existen en la actualidad, diferentes y sumamente valiosos programas de computadora, como herramienta fundamental para el ingeniero de diseño, en donde se utilizan básicamente teorías elásticas para múltiples capas en diseño de pavimentos carreteros y aeroportuarios.

El criterio de falla, con diferentes hipótesis reconocidas, ha sido introducido en estos modelos o programas junto con teorías elásticas de esfuerzo - deformación y predicción de esfuerzos.

Programas como ELSYM-5, SLAB-30, SLAB-49 son muy útiles para diseños normales, pero tienen limitaciones en cuanto al número de capas componentes. En cambio, los programas CHEVRON y SHELL BISTRO pueden aceptar un sinnúmero de capas componentes de la estructura total.

En el diseño de pistas del aeropuerto Internacional de Dallas - Ft Worth, fueron empleados los programas de CHEVRON y SHELL BISTRO obteniéndose magníficos resultados.

Listado:

SLAB 30	Computer program	Transportation Facilities Branch,
SLAB 49	Computer program	Department of the Army U.S.A.
ELSYM-5	Computer program	Institute of Transportation and Traffic Engineering, University of California
SHELL BISTRO	Computer program	SHELL OIL Company, U.S.A.

* * *

RTG

A P E N D I C E

"B"

(34²)

PROB 14 SENSITIVITY ANALYSIS FOR ICP, LVR, VALUES OF VARIABLES • ALL AVERAGES

THE CONSTRUCTION MATERIALS UNDER CONSIDERATION ARE							
LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	15.00	.30	1.00	18.00	50.0	2.00
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	1.00
3	C THIRD LAYER	7.00	.10	3.00	15.00	50.0	1.00
	SURGRADE	0.20	0.02	0.00	0.00	0.0	0.20

THIS IS AN ICP ROAD.

TOTAL NUMBER OF INPUT MATERIALS, EXCLUDING SURGRADE	3
NO. OF LAYERS OF MATERIAL WHICH HAS PREVIOUSLY CONSTRUCTED	0
LENGTH OF THE ANALYSIS PERIOD (YEARS)	20.0
WIDTH OF EACH LANE (FEET)	12.0
ROAD WIDTH OF THE BASE (FEET)	20.0
SLOPE OF THE BASE IN RELATION TO 1.0	2.0
INTEREST RATE OR TIME VALUE OF MONEY (PERCENT)	0.0
REGIONAL FACTOR	1.0

SERVICEABILITY INDEX OF THE INITIAL STRUCTURE	4.2
SERVICEABILITY INDEX P1 AFTER AN OVERLAY	4.2
MINIMUM SERVICEABILITY INDEX P2	2.0
SWELLING CLAY PARAMETERS -- P2 PRIME	1.50
BI	0.20

MAX FUNDS AVAILABLE FOR INITIAL DESIGN (DOLLARS PER MILE)	15000.00
MAXIMUM ALLOWED THICKNESS OF INITIAL CONSTRUCTION (INCHES)	25.0
MINIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	1.0
ACCUMULATED MAXIMUM DEPTH OF ALL OVERLAYS (INCHES)	12.0
MAXIMUM OVERLAY THICKNESS (INCHES)	4.0

C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE O.D. (MILES)	.50
C.L. DISTANCE OVER WHICH TRAFFIC IS SLOWED IN THE N.O.D. (MILES)	.50
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.D. (PERCENT)	5.0
PROPORTION OF VEHICLES STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN N.O.D. (PERCENT)	5.0
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN O.D. (HOURS)	.100
AVERAGE TIME STOPPED BY ROAD EQUIPMENT IN N.O.D. (HOURS)	.100

AVERAGE APPROACH SPEED TO THE OVERLAY ZONE (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN O.D. (MPH)	20.0
AVERAGE SPEED THROUGH OVERLAY ZONE IN N.O.D. (MPH)	30.0
AVERAGE SPEED OF THE GRADER OR S.C. TRUCK (MPH)	12.0
TRAFFIC MODEL USED IN THE ANALYSIS	2
NUMBER OF LANES OF THE ROAD	2

OPERATING COST FOR GOM-TRUCKS (DOLLARS/MILE)	.30
OPERATING COST FOR TRUCKS (DOLLARS/MILE)	1.50

TIME BETWEEN SEAL COAT (YEARS)	5.0
VALUES FOR THE MINIMUM TIME BETWEEN REHABILITATIONS (YEARS)	

2.0

PROB LA SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES & ALL AVERAGES

FOR THE 1 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	TOP LAYER	35.00	.30	1.75	10.00	50.0	2.75
	SUBGRADE	7.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00

1 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--

FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 7.75 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.25 YEARS

THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCH(ES) (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.25 YEARS.

TOTAL LIFE = 23.90 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

(1) 5.25 YEARS

(2) 12.25 YEARS

(3) 17.25 YEARS

THE TOTAL COST, IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER 50.00,	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	7,515	126484.50
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.301	4241.40
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1.135	15974.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.001	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.000	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.280	4085.74
SALVAGE VALUE	-0.913	-12849.45
TOTAL OVERALL COST	8,343	117470.65
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	16,493	110109.01
OPERATING COST FOR TRUCKS	16,493	110109.01

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 10

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

FOR THE 2 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	35.00	.30	1.00	18.00	50.0	2.20
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	2.60
	SUBGRADE	0.00	0.00	6.00	4.00	0.0	0.20

2 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--

FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 4.00 INCHES
 SECOND LAYER 7.50 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.25 YEARS

THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCHES) (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.25 YEARS.

TOTAL LIFE = 23.90 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

- (1) 5.00 YEARS
- (2) 12.25 YEARS
- (3) 17.25 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER 30 YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	6,727	94722.22
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.301	4241.48
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1,135	15974.67
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.091	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.800	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.284	4005.74
SALVAGE VALUE	-1,026	-11629.74
TOTAL OVERALL COST	7,023	107327.34
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	16,493	110149.41
OPERATING COST FOR TRUCKS	16,493	110109.41

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 260

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

FOR THE 3 LAYER DESIGN WITH THE FOLLOWING MATERIALS--

LAYER CODE	MATERIALS NAME	COST PER CY	LAYER COEFF.	MIN. DEPTH	MAX. DEPTH	SALVAGE PCT.	SS VALUE
1	A TOP LAYER	15.00	.30	1.00	10.00	50.0	0.00
2	B SECOND LAYER	12.00	.15	3.00	15.00	50.0	0.00
3	C THIRD LAYER	7.00	.10	3.00	15.00	50.0	0.00
	SUBGRADE	0.00	0.00	0.00	0.00	0.0	0.00

3 THE OPTIMAL DESIGN FOR THE MATERIALS UNDER CONSIDERATION--

FOR INITIAL CONSTRUCTION THE DEPTHS SHOULD BE

TOP LAYER 4.00 INCHES

SECOND LAYER 3.75 INCHES

THIRD LAYER 5.50 INCHES

THE LIFE OF THE INITIAL STRUCTURE = 7.03 YEARS

THE OVERLAY SCHEDULE IS

2.00 INCHES (INCLUDING 1 INCH LEVEL-UP) AFTER 7.03 YEARS,

TOTAL LIFE = 21.00 YEARS

SEAL COAT SCHEDULE

(1) 5.00 YEARS

(2) 12.00 YEARS

(3) 17.00 YEARS

THE TOTAL COST IN DOLLARS FOR THESE CONSIDERATIONS ARE :

	PER SQ. YD.	PER MILE
INITIAL CONSTRUCTION COST	0,559	92300.00
TOTAL ROUTINE MAINTENANCE COST	.301	4291.00
TOTAL OVERLAY CONSTRUCTION COST	1,135.	15070.00
TOTAL DELAY COST DURING OVERLAY CONSTRUCTION	.001	12.22
TOTAL DELAY COST DURING SEAL COAT	.000	.75
TOTAL SEAL COAT COST	.207	4430.00
SALVAGE VALUE	-0.000	-11370.00
TOTAL OVERALL COST	7,070	105230.00
OPERATING COST FOR NON-TRUCKS	10,000	116100.00
OPERATING COST FOR TRUCKS	10,000	116100.00

NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS EXAMINED FOR THIS SET -- 503

AT THE OPTIMAL SOLUTION, THE FOLLOWING BOUNDARY RESTRICTIONS ARE ACTIVE--

NONE

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES = ALL AVERAGES

4 SUMMARY OF THE BEST DESIGN FOR EACH COMBINATION OF MATERIALS, IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST (DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 12.0 FT.

DESIGN NUMBER	TOTAL COST
3	105230.00
2	107327.00
1	117070.00

ALL MATERIAL COMBINATIONS HAVE AT LEAST ONE FEASIBLE DESIGN.

PROB 1A SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LVR, VALUES OF VARIABLES & ALL AVERAGES

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 12.0 FT.

	1	2	3	4	5
MATERIAL ARRANGEMENT	ABC	ABC	ABC	ABC	ABC
INIT. CONST. COST	92345.	92335.	93109.	93185.	93173.
OVERLAY CONST. COST	15975.	15975.	15975.	15975.	15975.
DELAY COST OVERLAY	12.	12.	12.	12.	12.
DELAY COST SEAL COAT	1.	1.	1.	1.	1.
SEAL COAT COST	4030.	4068.	4031.	4031.	4031.
ROUTINE MAINT. COST	4241.	4241.	4241.	4241.	4241.
SALVAGE VALUE	-11375.	-11374.	-11457.	-11461.	-11463.
TOTAL COST	105210.	105259.	105912.	105944.	105969.
NON-TRUCK OPER. COST	116149.	116149.	116149.	116149.	116149.
TRUCK OPERATING COST	116149.	116149.	116149.	116149.	116149.
NUMBER OF LAYERS	3	3	3	3	3
LAYER DEPTH (INCHES)					
D(1)	4.20	4.20	3.75	3.75	3.75
D(2)	3.75	4.50	4.00	5.25	4.50
D(3)	5.50	4.25	3.34	4.25	5.50
NO. OF PERF. PERIODS	2	2	2	2	2
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	7.0	6.0	7.1	7.1	7.1
T(2)	21.9	20.1	23.2	24.2	25.3
OVERLAY STRAT. (INCHES) (INCLUDING LEVEL-UP)					
O(1)	2.0	2.0	2.0	2.0	2.0
NUMBER OF SEAL COATS	3	3	3	3	3
SEAL COAT SCHEDULE (YEARS)					
SC(1)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
SC(2)	12.0	11.0	12.1	12.1	12.1
SC(3)	17.0	16.0	17.1	17.1	17.1

PROB 14 SENSITIVITY ANALYSIS FOR ACP, LYH, VALUES OF VARIABLES & ALL AVERAGES

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
 (IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
 (DOLLARS PER MILE))

LANE WIDTH = 12.0 FT.

	36	37	38	39	40
MATERIAL ARRANGEMENT	AB	ABC	ABC	ABC	ABC
INIT. CONST. COST	95498.	99149.	99159.	99170.	98390.
OVERLAY CONST. COST	15975.	13696.	13696.	13696.	13696.
DELAY COST OVERLAY	12.	10.	10.	10.	10.
DELAY COST SEAL COAT	1.	1.	1.	1.	1.
SEAL COAT COST	4831.	3929.	3961.	3966.	3753.
ROUTINE MAINT. COST	4241.	4241.	4241.	4241.	4241.
SALVAGE VALUE	-11713.	-12149.	-12149.	-12149.	-12024.
TOTAL COST	100845.	100056.	100162.	100266.	100105.
NON-TRUCK OPER. COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
TRUCK OPERATING COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
NUMBER OF LAYERS	2	3	3	3	3
LAYER DEPTH (INCHES)					
O(1)	3.75	4.50	4.50	4.50	4.75
O(2)	4.25	3.75	5.25	4.50	3.00
O(3)		5.50	3.00	4.25	5.50
NO. OF PERF. PERIODS	2	2	2	2	2
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	7.1	9.4	9.8	9.2	4.4
T(2)	25.4	25.6	25.8	25.8	25.8
OVERLAY STRAT. (INCHES) (INCLUDING LEVEL-UP)					
O(1)	2.4	2.8	2.0	2.4	2.9
NUMBER OF SEAL COATS	3	2	2	2	3
SEAL COAT SCHEDULE (YEARS)					
SC(1)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0
SC(2)	12.1	10.0	10.0	10.2	13.4
SC(3)	17.1				16.8

THE TOTAL NUMBER OF FEASIBLE DESIGNS CONSIDERED WAS 845

PROB 4G14 SENSITIVITY ANALYSIS FOR AGGREGATE SURFACED ROADS AVERAGE LEVEL

SUMMARY OF THE BEST DESIGN STRATEGIES
IN ORDER OF INCREASING TOTAL COST
(DOLLARS PER MILE)

LANE WIDTH = 14.0 FT.

	1	2	3	4	5
MATERIAL ARRANGEMENT	AB	A	AB	A	AB
INIT. CONST. COST	78310.	78690.	82796.	83846.	89347.
AGGREGATE ADD. COST	49924.	52814.	49612.	47743.	4215.
DELAY COST AGG. ADD.	127.	133.	113.	121.	147.
DELAY COST GRADING	50.	49.	50.	50.	50.
GRADING COST	7840.	7678.	7776.	7815.	7786.
ROUTINE MAINT. COST	2121.	2121.	2121.	2121.	2121.
SALVAGE VALUE	-12973.	-14148.	-12258.	-12980.	-12082.
TOTAL COST	123399.	125127.	125217.	127915.	129482.
NON-TRUCK OPER. COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
TRUCK OPERATING COST	116109.	116109.	116109.	116109.	116109.
NUMBER OF LAYERS	2	1	2	1	2
LAYER DEPTH (INCHES)					
O(1)	8.20	13.00	9.20	14.00	18.00
O(2)	8.00		8.00		8.00
NO. OF PERP. PERIODS	6	7	6	6	6
PERF. TIME (YEARS)					
T(1)	2.8	2.8	2.7	2.5	3.4
T(2)	4.9	4.6	4.7	5.5	6.4
T(3)	8.1	7.7	10.2	8.8	11.1
T(4)	11.3	11.8	13.5	12.1	14.6
T(5)	15.5	15.3	16.9	16.3	17.9
T(6)	20.8	18.7	25.0	25.0	25.4
T(7)		25.0			
AGGREGATE ADD. STRAT. (INCHES)					
AA(1)	3.8	3.8	4.0	3.8	3.8
AA(2)	3.8	3.8	3.8	3.4	4.0
AA(3)	3.8	4.4	3.4	3.0	3.4
AA(4)	4.8	3.0	3.3	4.0	3.3
AA(5)	4.8	3.8	3.8	4.0	3.0
AA(6)		3.8			
NUMBER OF GRADINGS	77	76	77	77	77
A GRADING IS TO BE DONE EVERY .3 YEARS					

APPENDICE "C" (412)

SENSITIVITY ANALYSIS

VARIABLE NAME NO. VALUE	REGIONAL FACTOR			SWELLING CLAY P.			PSI			SLOPE OF THE CASE			OWIN			SEAL COAT COST			up to 49 VARIABLES	RUNS		
	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H	L	A	H				
A MEDIUM	▲				△			△			△			△			△			△		1
			▲		△			△			△			△			△			△		2
		△		▲				△			△			△			△			△		...
		△				▲		△			△			△			△			△		n
B LOW		▲		△			△			△			△			△			△			1
			▲	△			△			△			△			△			△			2
	△				▲		△			△			△			△			△			...
	△					▲	△			△			△			△			△			n
C HIGH	▲					△			△			△			△			△			△	1
		▲				△			△			△			△			△			△	2
			△	▲					△			△			△			△			△	...
			△		▲				△			△			△			△			△	n
																			RUNS			
																			up to 540			

RET

TABLE 1. LIST OF VARIABLES AND RANGES

Variable Name	Low	Average	High
<u>Miscellaneous Inputs</u>			
Total number of materials available without subgrade	3	3	3
*Total number of materials available without subgrade	2	2	2
Width of each lane (feet)	12	12	12
*Width of each lane (feet)	14	14	14
Number of lanes	2	2	2
Interest rate	12	8	6
<u>Performance Variables</u>			
Regional factor	0.5	1.0	3.0
Initial serviceability index (PSI)	4.5	4.2	3.8
Serviceability index after an overlay (PI)	4.5	4.2	3.8
Terminal serviceability Index (P2)	1.5	2.0	2.5
Non-traffic deterioration parameter (P2P)	3.0	1.5	0
Swelling clay parameter (b_1)	0	0.06	0.12
*Surface material less than 3/4, (X)	70	83	93

(Continued)

TABLE 2. PAVED ROADS. AVERAGE LEVEL, RANKING, EXECUTION TIME,
AND RESULTS OF VARIABLES HAVING THE MOST SIGNIFICANT
EFFECT ON COST.

Sensitivity Analysis	Condition: Average		Type: Paved Roads		
	Computer Execution Time Low & High (Secs)	Results Overall Cost (\$ per Mile)	Difference (\$ per Mile)	Ranking of Variable	
All Variables Fixed at Average Level	25.9	L 117,474.65	1 Layer Design		
		H 107,327.34	2 Layer Design		
		L 105,238.18	3 Layer Design		
Traffic ADT Logg Trucks ADT Non- Logg Trucks Cum 18 kip ESAL	26.7	216.5	L 82,266.71	88,232.49	1
			H 170,499.20		
			L 72,764.09		
			H 156,071.48		
			L 73,090.76		
			H 152,587.96		
Soil Support Subgrade	29.4	117.0	L 93,043.28	53,588.36	2
			H 146,631.64		
			L 87,434.17		
			H 133,137.15		
			L 88,948.36		
			H 131,822.21		
Regional Factor	22.0	44.7	L 105,359.66	30,751.23	3
			H 136,110.89		
			L 96,979.94		
			H 125,364.56		
			L 95,369.87		
			H 123,819.17		

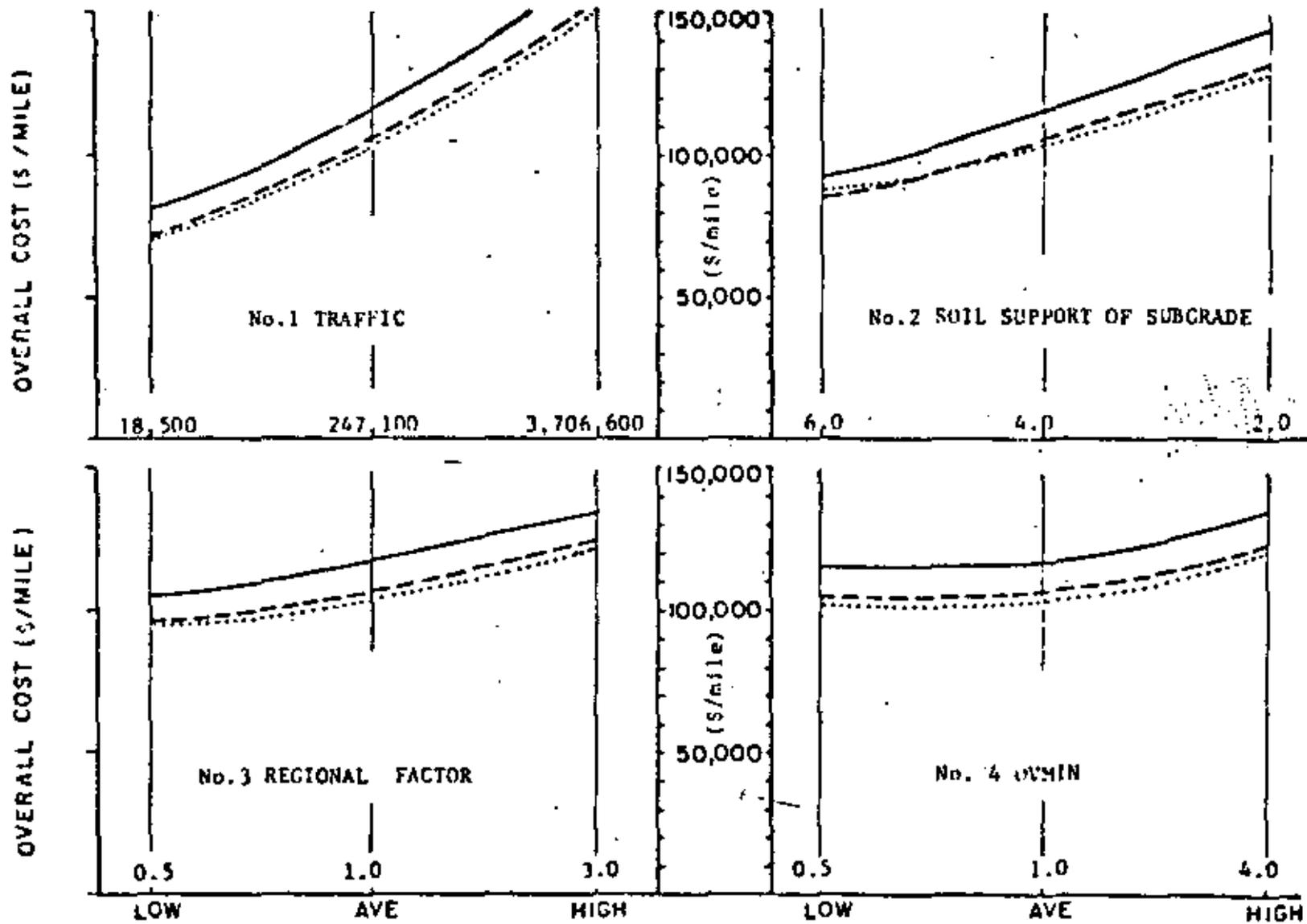
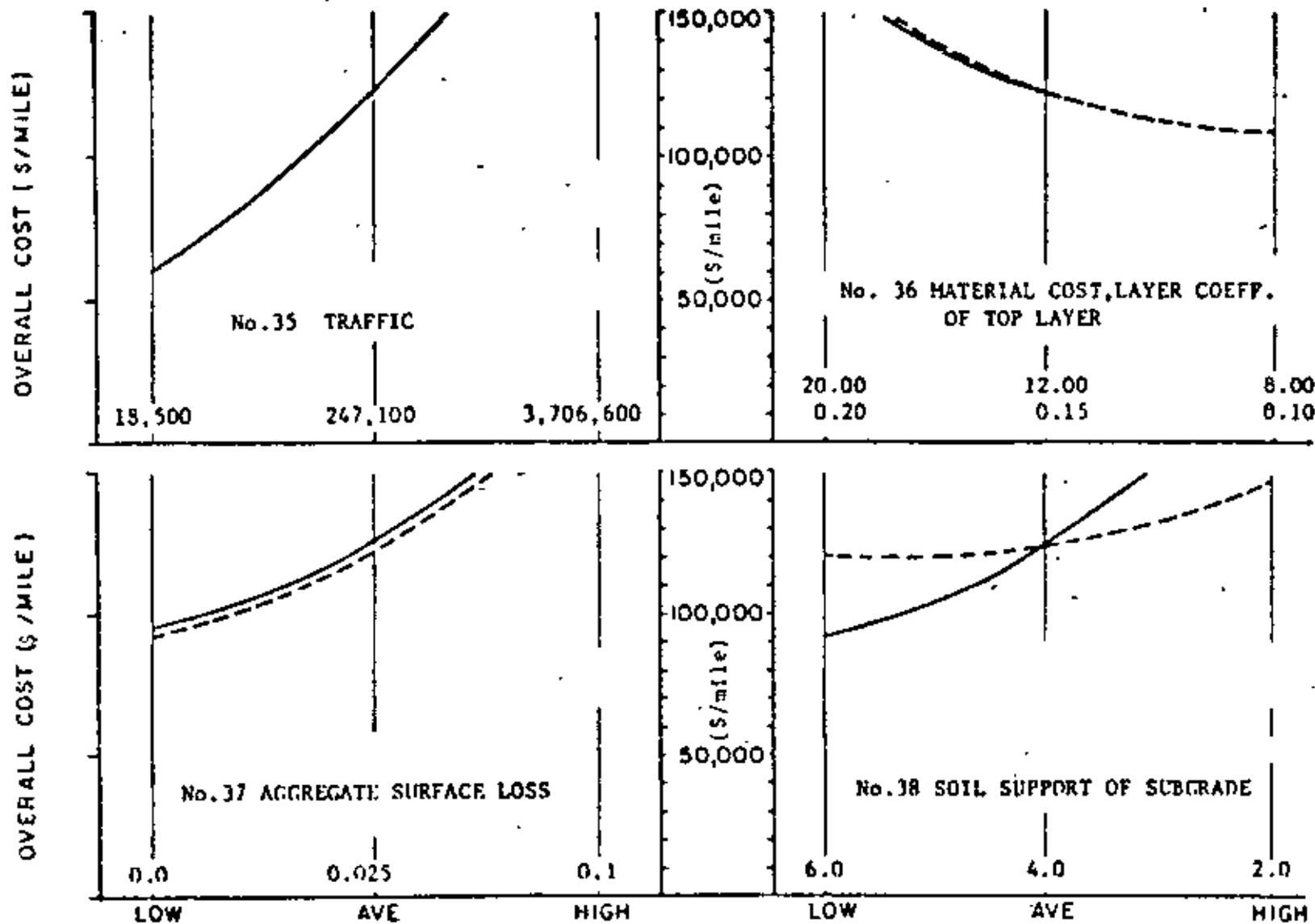


Fig 1-4 Effect of different variables at average level on total overall cost for paved roads.

————— one layer design
 - - - - - two layer design
 three layer design

TABLE 4. CONTINUED

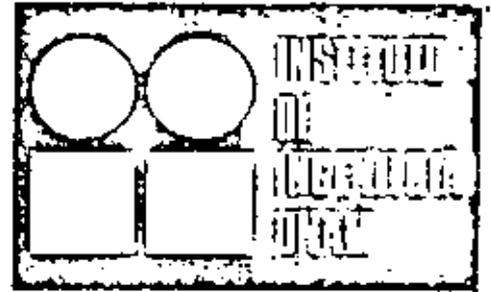
<u>Sensitivity Analysis</u>	Condition: <u>Average</u>		Type: <u>Aggregate Roads</u>		
Variable	Computer Execution Time Low & High (Secs)		Results Overall Cost (\$ per Mile)	Difference (\$ per Mile)	Ranking of Variables
Soil Support Value of Subgrade	32.2	17.7	L 91,348.81	25,519.93	4
			H *		
			L 121,786.56		
			H 147,288.49		
			* too restrictive		
Salvage Value of Top Layer	21.9	21.9	L 110,951.82	21,224.37	5
			H 132,176.19		
			L 110,210.06		
			H 129,698.56		
OVMIN	4.9	236.3	L 120,907.36	12,803.41	6
			H 133,710.77		
			L 119,810.25		
			H 131,427.21		
Grading Cost	21.9	21.9	L 121,275.55	11,479.52	7
			H 132,755.07		
			L 119,298.39		
			H 131,010.39		
Regional Factor	24.1	18.4	L 114,611.91	9,309.54	8
			H *		
			L 121,768.56		
			H 130,978.10		
			* too restrictive		



Figs 35-38 Effect of different variables at average level on total overall cost for aggregate surfaced roads.

RESULTADOS DEL ANALISIS DE SENSIBILIDAD

<u>CLASE</u>	<u>NIVEL</u>	<u>No. DE VARIABLES</u>	<u>E F E C T O</u>
Pavimentados	Medio	20/49 15/20 88,000 → 3,400 22 → 33 34 → 49	Significante El más significativo Diferencias Pequeño Sin efecto
Pavimentados	Bajo	14/49 7/14 63,000 → 3,600 15 → 49	Significante El más significativo Diferencias Sin efecto
Pavimentados	Alto	Ver conclusiones y observaciones	
Revestidos	Medio	24/47 16/24 >66,000 → 3,200 25 → 32 33 → 47	Significante El más significativo Diferencias Pequeño Sin efecto



**INSTRUCTIVO
PARA DISEÑO ESTRUCTURAL
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES
PARA CARRETERAS**

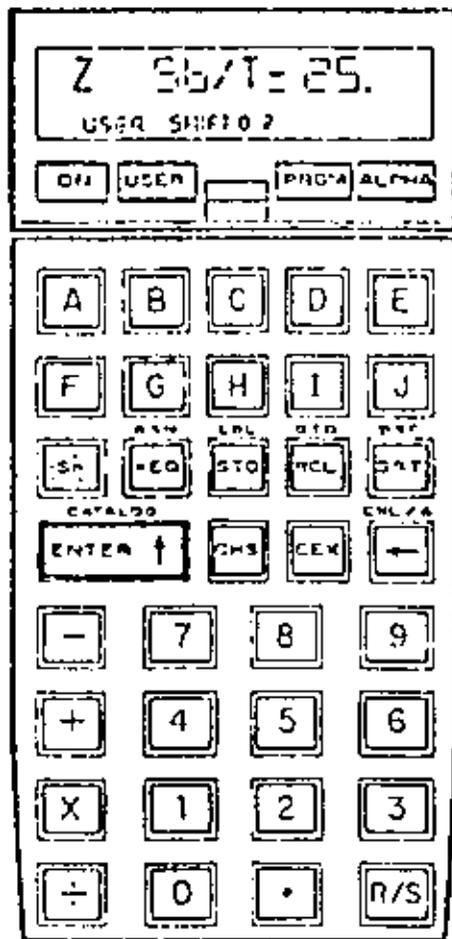
**SANTIAGO CORRO
ROBERTO MAGALLANES
GUILLERMO PRADO**

**ELABORADO PARA
SECRETARIA DE ASENTAMIENTOS
HUMANOS Y OBRAS PUBLICAS**

SERIES DEL INSTITUTO DE INGENIERIA

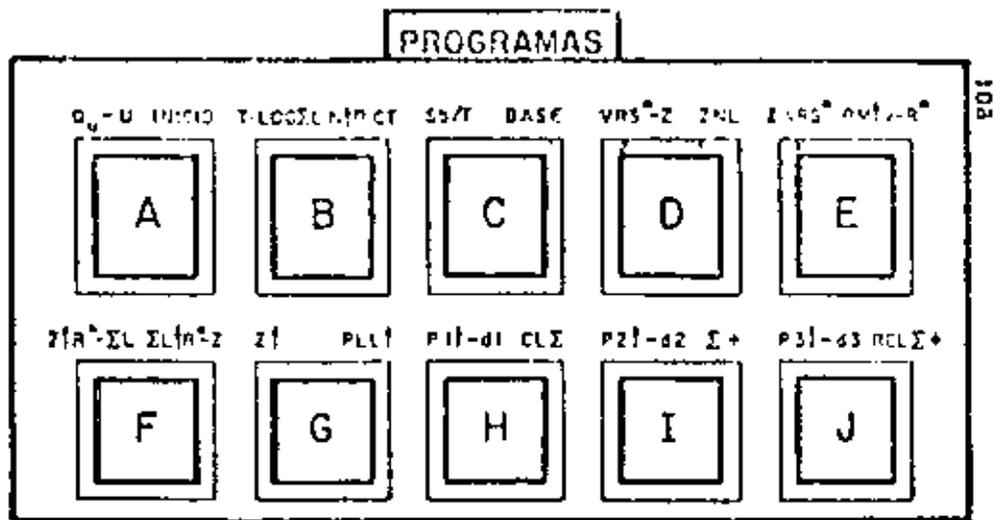
N.º 444

NOVIEMBRE 1961



NOTAS: Los programas están adaptados para el calculador HP 41C. Para la operación detallada debe consultarse el manual del usuario.

Las funciones localizadas a la derecha de cada tecla, se ejecutan apretando la tecla de cambio (SH = Shift) y luego la tecla correspondiente, en la modalidad "usuario".



15/54

MÉTODO DE DISEÑO.- CALCULADORA PROGRAMABLE.

DESCRIPCIÓN DE LOS PROGRAMAS.

LBL ^T INICIO	Prepara la calculadora para realizar los cálculos en lo que se refiere a espesores mínimos e intervalos de resistencia crítica.
LBL ^T QU-0	El programa verifica si el nivel de confianza QU está comprendido entre 0.5 y 1.0
LBL ^T N°R-CT	Se realiza cálculo de coeficiente de acumulación de tránsito (n, % crecl
LBL ^T LOGEL	Calcula el logaritmo del tránsito equivalente acumulado
LBL ^T BASE f	Calcula la ordenada al origen correspondiente a la ecuación de bases
LBL ^T Sb/1	Ejecuta el cálculo de la ordenada al origen corresp. a la ecuac. de sub-bases, terracerías.
LBL ^T ZN1	Coloca una señal para realizar cálculos de espesores sin limitación en lo que se refiere a valores relativos de soporte.
LBL ^T VRS-Z	Calcula el espesor Z en cm requerido de acuerdo con el VRS estimado.
LBL ^T RM-V-P	Calcula la resistencia crítica VRS en términos del VRS medio.
LBL ^T Z-VRS	Se obtiene el VRS requerido a esa profundidad.
LBL ^T ZLR-Z	Se obtiene el espesor equivalente en cm (Z)
LBL ^T Z/R-EL	Se obtiene el tránsito equivalente acumulado de acuerdo con el espesor y resistencia crítica,
LBL ^T PLL1	Coloca en registro la presión de llantas
LBL ^T Z	Coloca en registro profundidad a la que se requiere calc. coef. daño
LBL ^T CL1	Borra registros estadísticos
LBL ^T P1-d1	Calcula el coef. daño de un eje sencillo.
LBL ^T Σ+	Realiza suma de valores en registros X y Y
LBL ^T P2-d2	Calcula coef. daño de un eje tandem
LBL ^T RCLE+	Recupera el valor de sumas almacenadas en registro
LBL ^T P3-d3	Calcula coef. daño de un eje P3 de acuerdo con presión llant. y profund.
LBL ^T PZ1	Subrutina sin tecla en tablero. Calcula coeficiente de distribución de esfuerzos verticales para una placa circular de radio a y presión P

OBSERVACIONES :

- [-] Calculadora alfanumérica programable HEWLETT- PACKARD 41C
- [-] Se utilizan 17 registros para almacenar datos
- [-] Para correr la totalidad de los programas, se requiere contar con dos módulos de memoria adicionales.
- [-] Si la calculadora contiene otros programas es necesario borrarlos.
- [-] Para grabar los 21 programas se requieren 7 tarjetas magnéticas o escribirse desde el tablero.

LISTADO DE PROGRAMAS

Identificación DISEÑO DE PAVIMENTOS

Hoja

LBL T QU-U

Paso	Instrucción	Observaciones
01	LBL T QU-U	Calcula U para diferentes niveles de confianza QU
02	T QU/?	
03	FS? 00	Avisos entrada?
04	PROMPT	
05	STO 01	QU en RA=R01
06	1	
07	X<=Y?	1<=QU?
08	GTO 01	Subrutina de error, detiene el programa
09	RDN	+
10	.5	
11	X<=Y?	0.5<=QU?
12	GTO 02	Comprueba que 0.5<=QU y sigue a 02
13	LBL 01	Rutina de error, detiene el programa
14	0	
15	1/X	1/0=error
16	RTN	
17	LBL 02	Subrutina para calcular U=-Y
18	X<>Y	Intercambia X con Y
19	1	
20	-	$\frac{C_0 + C_1 t + C_2 t^2}{1 + d_1 t + d_2 t^2 + d_3 t^3}$
21	ENTER/	
22	A	$t = \frac{\sqrt{1 - QU}}{(1 - QU)^2}$
23	1/X	
24	LN	
25	SQRT	$U = -Y; error < 4.5 \times 10^{-4}$
26	STO 00	
27	.010328	$C_0 = 2.515517$
28	*	$C_1 = 0.802853$
29	.802853	$C_2 = 0.010328$
30	+	$d_1 = 1.432788$
31	RCL 00	$d_2 = 0.189269$
32	*	$d_3 = 0.001308$
33	2.515517	
34	+	
35	RCL 00	
36	.001308	
37	*	

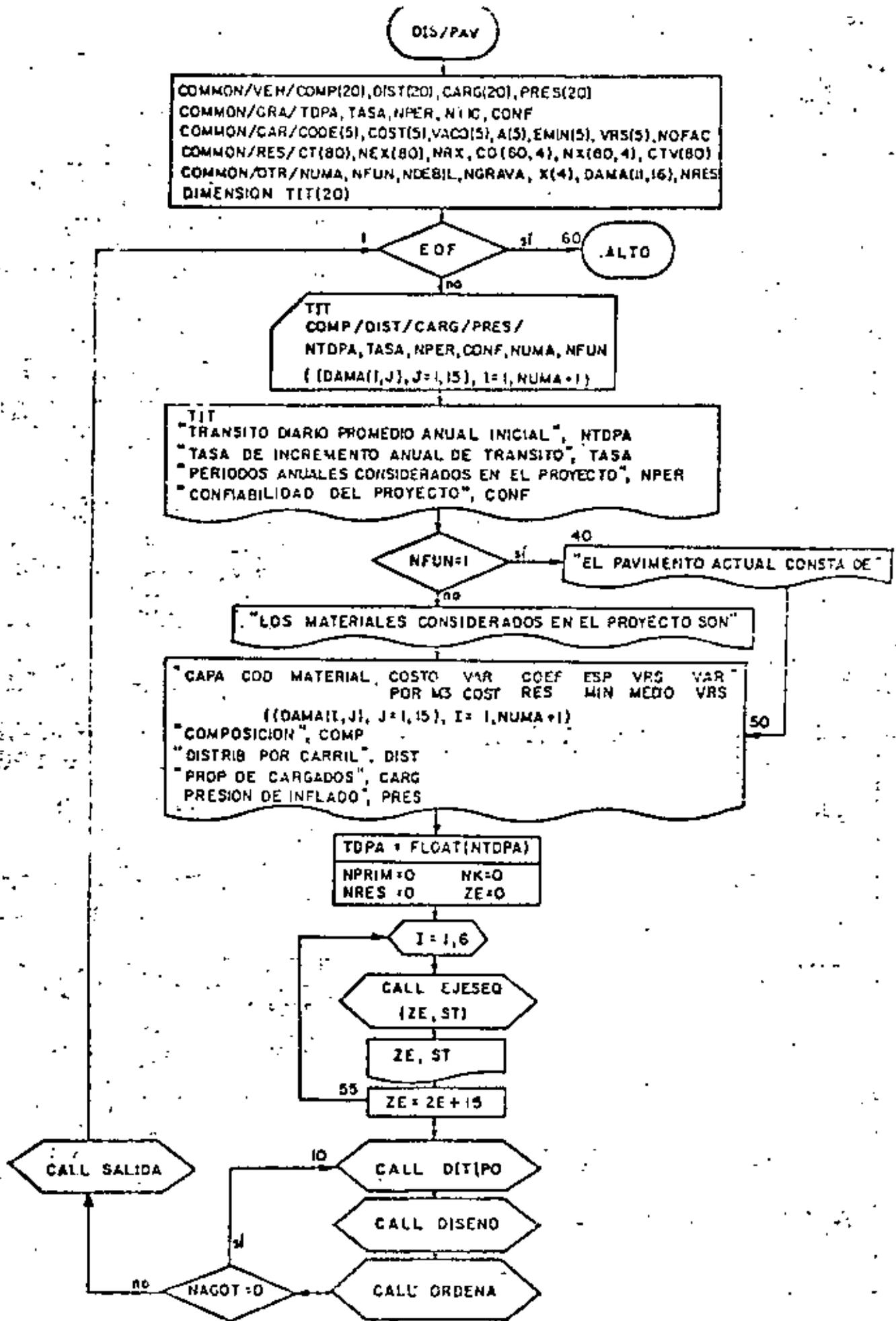


Diagrama de flujo del programa DIS/PAV

```

LIST
1000 COMMON/VEH/COMP(20),DIST(20),CARG(20),PRES(20)
2000 COMMON/CAD/MAT5(4),NN(4),NA,NFRIM,NCADA3,MATIP0,NACOT,NPOST,NC(11)
3000 COMMON/CAR/CONF(5),COST(5),VACO(5),A(5),EMIN(5),VRS(5),NOFAC
4000 COMMON/RES/CT(10),RCX(10),NRX,LD(10,4),NX(10,4),CTV(10)
5000 COMMON/DTR/MUMA,NFUN,NDICIL,NGRAVA,X(4),DAMA(11,15),NRES
6000 COMMON/GRA/TIPA,NTIPA,NPER,TASA,CONF,NJIC,VRSN,CUAR
7000 NAMELIST/CARRIA/NTIPA,NPER,TASA,CONF,VRSN,CUAR
8000 DIMENSION TIT(12),CODIGO(12),TYPE(20),KK(4),KKK(4)
9000 DATA PRES/2.4,6.5,8.5,4.16,5.0/
10000 DATA CODIGO/1HA,1HB,1HC,1HD,1HE,1HF,1HG,1HH,1HI,1HJ,1HK,1H /
11000 DATA TYPE/6H AP,6H AC,6H B2,6H B3FD4,6H C2,6H C3,
12000 * 6H C4,6H T2S1,6H T2S2,6H T3S2,6H T3S3,6H C2R2,6H C3R2,
13000 * 6H C3R3,6HT2S1R2,6HT3S1K2,6HT2S2R2,6HT3S2R2,6HT3S2R3,6HT3S2K4/
14000 10 WRITE (6,11)
15000 11 FORMAT('IDAR IDENTIFICACION DEL CALCULO (72 CARAC MAX)'.//)
16000 READ (5,12,END=140) TIT
17000 12 FORMAT(12A6)
18000 13 WRITE (6,14)
19000 14 FORMAT('ODAR EN UN RENGLON LOS SIGUIENTES DATOS'.//,
20000 * ' 1) MODO DE OPERACION (0=PROYECTO, 1=REVISION)'.//,
.PAGE.
21000 * ' 2) TRANSITO DIARIO MEDIO ANUAL INICIAL, DOS DIRECC.'.//,
22000 * ' 3) HORIZONTE DE PROYECTO EN ANOS'.//,
23000 * ' 4) TASA DE INCREMENTO ANUAL DE TRANSITO, EN PORCENTAJE'.//,
24000 * ' 5) CONFIABILIDAD DEL PROYECTO, DE 0.50 A 0.99'.//)
25000 READ (5,/,ERR=13) NFUN,NTIPA,NPER,TASA,CONF
26000 WRITE (6,20)
27000 20 FORMAT('ODAR EN UN RENGLON PARA CADA VEHICULO'.//,
28000 * ' 1) COMPOSICION EN PORCENTAJE'.//,
29000 * ' 2) DISTRIBUCION POR CARRIL EN PORCENTAJE'.//,
30000 * ' 3) PORCENTAJE DE VEHICULOS CARGADOS'.//)
31000 DO 30 I=1,20
32000 COMP(I)=0.
33000 30 CONTINUE
34000 SUMVE=0.
35000 I=1
36000 31 IF(I.GT.20)GO TO 33
37000 21 WRITE (6,22) TYPE(I)
38000 22 FORMAT(' VEHICULO ',A6,' ____')
39000 READ (5,/,ERR=21) COMP(I),DIST(I),CARG(I)
40000 SUMVE=SUMVE+COMP(I)

```



CAMINO TIPO D. VEHICULOS CON CARGAS MAXIMAS LEGALES. TERRACERIAS 2. CONF DE 0.7

TRANSITO DIARIO PROMEDIO ANUAL INICIAL 0.392
 TASA DE INCREMENTO ANUAL DEL TRANSITO 0.073
 PERIODOS ANUALES CONSIDERADOS EN EL PROYECTO 0.708
 CANTABILIDAD DEL PROYECTO

LOS MATERIALES PARA EL PROYECTO SON:

CAPA	COD	MATERIAL	COSTO PDA M3	VAR CUSTO	COEF RES	EXP M2	VAR M2	VAR PDA
1	A	CARPETA DE CONCRETO ASF.	1480.00	0.10	2.00	0.00	0.00	0.00
2	B	CARPETA DE UN RIECU	7.00	0.20	0.00	0.00	0.00	0.00
3	C	BASE 1	400.00	0.20	1.00	100.00	140.00	0.00
4	D	BASE 2	400.00	0.20	1.00	100.00	140.00	0.00
5	E	BASE U. SUBBASE NO. 1	200.00	0.20	1.00	100.00	80.00	0.00
6	F	SUBBASE NO. 2	120.00	0.20	1.00	10.00	42.00	0.00
7	G	SURFACANTE NO. 1	60.00	0.30	1.00	10.00	21.00	0.00
8	H	SURFACANTE NO. 2	40.00	0.30	1.00	10.00	18.00	0.00
9	J	TERRACERIAS NO. 2	0.00	0.00	0.00	0.00	7.00	0.00

TIPO DE VEHICULO	AP	AC	B2 D4+20	E2	E3	E4	I2 S1	I2 S2	I2 S2	I2 S3	I2 S4	I2 S5	I2 S6	I2 S7	I2 S8	I2 S9	I2 S10	I2 S11	I2 S12
CONDICION	33.0	14.4	9.7	2.0	7.4	7.2	0.0	2.5	2.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
DISTRIB. PUN. CARRIL	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0	50.0
PROP. DE CARRILLOS	99.0	60.0	80.0	3.0	10.0	80.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
PRESION DE INFLADO	2.0	4.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0

EJES EQUIVALENTES PARA 20	0.	145876.
EJES EQUIVALENTES PARA 15	10.	92376.
EJES EQUIVALENTES PARA 10	15.	75375.
EJES EQUIVALENTES PARA 5	45.	79247.
EJES EQUIVALENTES PARA 60	60.	80537.
EJES EQUIVALENTES PARA 95	95.	81247.

LOS EXPESURES DE LOS MEJORES DISCOS EN 22 DISENOS FACTIBLES SON:

	4A	4A	4A	4A	4A	7A	7A	1B	4A	2A	1B	4A
	13U	11U	11U	13U	11U	10C	14F	10F	10F	20U	10F	13C
	25H	256	25H	0.	256	0.	0.	25H	25H	0.	256	256
COSTO/M2	122.	127.	130.	134.	135.	137.	134.	143.	148.	146.	148.	149.
DESV EST	11.	12.	12.	14.	12.	12.	13.	24.	15.	17.	21.	15.

Resultados del programa DIS/PAV para un problema de diseño



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

DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II

MATERIALES DE RECICLAJE PARA CARRETERAS

ING. RAFAEL LIMÓN LIMÓN

SEPTIEMBRE, 1983

②

PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION COOPERATIVA DE CARRETERAS NO. 54
SINTESIS DE PRACTICA DE CARRETERA NO. 54

MATERIALES DE RECICLAJE PARA
CARRETERAS

INVESTIGACION PATROCINADA POR LA ASOCIACION
AMERICANA DE FUNCIONARIOS DE TRANSPORTACION
Y CARRETERAS ESTATALES EN COOPERACION CON
LA ADMINISTRACION FEDERAL DE CARRETERAS

AREAS DE INTERES :
DISEÑO DE PAVIMENTO
MATERIALES Y MEZCLAS BITUMINOSOS
CONSTRUCCION
MANTENIMIENTO GENERAL

JUNTA DE INVESTIGACION DE TRANSPORTE
CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACION
WASHINGTON, D.C. 1978

La investigación sistemática, bien diseñada provee el acercamiento más efectivo a la solución de muchos problemas que encaran ingenieros y administradores de carreteras.

A menudo, los problemas de carreteras son de interés local y pueden ser mejor estudiados por departamentos de carreteras individualmente o en cooperación con las universidades estatales y otras entidades. De cualquier forma, el crecimiento acelerado de transportación por carretera da lugar a problemas cada día más complejos de gran interés para autoridades de carreteras. Estos problemas son mejor estudiados a través de un programa coordinado de investigación cooperativa.

En reconocimiento a estas necesidades, los administradores de carreteras de la Asociación Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras Estatales iniciaron en 1962 un Programa Nacional Objetivo de Investigación de Carreteras empleando modernas técnicas científicas. Este programa está patrocinado en forma continua con fondos de los estados miembros participantes de la asociación y recibe completo apoyo y cooperación de la Administración Federal de Carreteras, del Departamento de Transportación de los Estados Unidos.

La Junta de Investigación de Transporte del Consejo Nacional de Investigación fue solicitada por la asociación para administrar el programa de investigación dada la reconocida objetividad de la junta y su entendimiento de modernas prácticas de investigación. La junta es singularmente la más apropiada, para el caso debido a que cuenta con la estructura de un extenso comité de autoridades en cualquier materia de transportación por carretera; que está en comunicación con dependencias gubernamentales a niveles local, estatal y federal, universidades e industria; que su relación con su organización matriz, la Academia Nacional de Ciencias, una institución privada no-lucrativa, es una seguridad de objetividad; que tiene un equipo de especialistas en asuntos de transportación por carretera de tiempo completo para un adecuado aprovechamiento de los resultados. El programa está desarrollado sobre la base de las necesidades de investigación identificadas por administradores en jefe de los departamentos de carreteras y transportación y por comités de AASHTO (AAFTCE Asociación Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras Estatales). Cada año, áreas específicas de las necesidades de investigación a ser incluidas en el programa, son propuestas a la academia y la junta por la Asociación Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras Estatales. Los proyectos de investigación para satisfacer estas necesidades están definidos por la junta, y agencias de investigación, calificadas son seleccionadas de entre aquellas que hayan entregado proposiciones. La administración y supervisión de los contratos son responsabilidades de la academia y su junta de investigación de transporte.

Las necesidades de investigación sobre carreteras son muchas, y el Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras puede hacer contribuciones significantes para la solución de problemas de interés mutuo a muchos grupos responsables. De cualquier forma, se tiene la intención de que éste programa complemente lejos de que sustituya o duplique, otros programas de investigación de carreteras.

SINTESIS 54 NCHRP (Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras)

Proyecto 20-5 FY *76 (Topico B-01)
ISSN 0547-5570
ISBN 0-309-02859-0
Tarjeta de Catálogo L.C. No.78-65955

Precio : \$ 5.60

ADVERTENCIA

El proyecto sujeto de este reporte fué una parte del Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras conducido por la Junta de Investigación de Transporte con la aprobación de la Junta Gobernante del Consejo Nacional de Investigación, actuando en nombre de la Academia Nacional de Ciencias. Tal aprobación refleja el juicio de la Junta Gobernante, de que el programa concerniente es de importancia nacional y apropiado con respecto a los propósitos y las fuentes del Consejo Nacional de Investigación.

Los miembros del comité técnico seleccionado para monitorear éste proyecto y revisar este reporte fueron escogidos por competencia reconocida escolarmente y con la debida consideración para el balance de disciplinas apropiadas al proyecto. Las opiniones y conclusiones expresadas o implicadas son las de la agencia que llevó a cabo la investigación.

Y, aunque han sido aceptadas como apropiadas por el comité técnico no son necesariamente de la Junta de Investigación de Transporte, el Consejo Nacional de Investigación, la Academia Nacional de Ciencias o los patrocinadores del programa.

Cada reporte es revisado y procesado de acuerdo a procedimientos establecidos y monitoreados por el Comité Revisor de Reportes de la Academia Nacional de Ciencias. La distribución del reporte es aprobada por el Presidente de la Academia después de la complementación satisfactoria del proceso de revisión.

La Junta Nacional de Investigación es la principal agencia operativa de la Academia Nacional de Ciencias y de la Academia Nacional de Ingeniería, sirviendo al gobierno y otras organizaciones. La Junta de Investigación de Transporte evolucionó de la Junta de Investigación de Carreteras a sus 54 años de existencia. La JIT incorpora todas las antiguas actividades de la JIC y también desempeña funciones adicionales con un alcance mas amplio involucrando todos los medios de transporte y las interacciones de la transportación con la sociedad.

4

Los Reportes Publicados del

PROGRAMA NACIONAL DE INVESTIGACION COOPERATIVA DE CARRETERAS

están disponibles en :

TRANSPORTATION RESEARCH BOARD
National Academy of Sciences
2101 Constitution Avenue, N.W.
Washington, D.C. 20418

PREFACIO

Existe una gran cantidad de información sobre casi todos los asuntos de interés para los administradores e ingenieros de carreteras. Mucha de ella ha resultado de investigaciones y mucha de aplicaciones exitosas de ideas de ingenieros al tratar con problemas de su trabajo diario. Debido a la falta de medios sistemáticos para reunir esta valiosa información y ponerla a disposición de toda la fraternidad relacionada con carreteras, la Asociación Americana de Funcionarios de Transportación y Carreteras Estatales ha autorizado a la Junta de Investigación de Transporte a través del mecanismo del Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras, a emprender un proyecto continuo para recavar y sintetizar la información útil de todas las fuentes posibles y para preparar reportes documentados sobre las prácticas comunes en las áreas sujetas de interés.

Esta serie de síntesis intenta reportar sobre las diversas prácticas usualmente encontradas en manuales, incluidos los de diseño.

Cada uno de estos documentos es un compendio de la mejor información disponible sobre aquellas medidas identificadas como mas exitosas para la solución de problemas específicos. El grado en que se han utilizado los documentos en esta forma dependerá lógicamente del conocimiento del usuario en las áreas específicas donde se localiza el problema.

PREAMBULO, por el staff de la Junta de Investigación de Transporte

Esta síntesis será de especial interés y utilidad para ingenieros en proyecto, tecnólogos en materiales y otros que busquen información sobre el uso potencial de materiales reciclados para diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento de pavimentos, bases y otros componentes del sistema de carreteras. Información detallada es presentada en la parte de reciclaje de pavimento.

Administradores, ingenieros e investigadores afrontan continuamente muchos problemas de carreteras sobre los cuales ya existe información ya sea en forma documentada o en términos de experiencias y prácticas no documentadas. Desafortunadamente esta información a menudo se encuentra fragmentada, esparcida y sin evaluar. Como consecuencia frecuentemente no es posible utilizar la información completa sobre la cual se ha aprendido acerca de un problema para buscar su solución cuando se vuelve a presentar. Paralelamente, resultados de investigaciones costosas pueden no utilizarse, experiencias valiosas pueden pasar por alto y una debida consideración puede no darse a prácticas recomendadas para la solución o atenuamiento del problema. En un esfuerzo por corregir esta situación, un continuo proyecto PNICC a ser trabajado por la Junta de Investigación de Transporte, tiene como objetivo el sintetizar y reportar los problemas comunes en carreteras. Las síntesis derivadas de este esfuerzo constituye una serie de reportes PNICC que recoge y reúne las varias formas de información en documentos concisos individuales relativos a problemas específicos de carreteras o a grupos de problemas íntimamente relacionados.

Ha habido un creciente interes y actividad en el área de materiales de reciclaje para pavimentos, bases y otros componentes de carreteras. Esto ha sido ocasionado por la conciencia de la necesidad de ahorrar energía, recursos naturales, fondos y de reducir problemas de disposición de desechos. Este reporte de la Junta de Investigación de Transporte revisa conceptos y experiencias de campo para la aplicación de materiales de reciclaje en carreteras. Se hace un énfasis primario en pavimentos pero, experiencias con el reciclaje de otros materiales, tales como componentes de guardacaminos y señalizaciones también son revisadas. Asimismo, se identificaron las necesidades de investigación y desarrollo para el mejoramiento del reciclaje.

Para desarrollar esta síntesis de una manera comprensiva y para asegurar la inclusión de conocimientos relevantes, la Junta analizó la información disponible reunida de numerosas fuentes incluyendo un gran número de departamentos estatales de carreteras y transportación. Un prominente panel de expertos en la materia fué establecido para guiar a los investigadores en la organización y evaluación de los datos recabados y para revisar al reporte final de la síntesis.

Esta síntesis es un documento de utilidad inmediata que registra prácticas que fueron aceptables dentro de las limitaciones de la información disponible al momento de su preparación. A medida que el proceso de avance continúe, se puede esperar que nuevos conocimientos se agreguen a los ya existentes.

CONTENIDO

1 SUMARIO

PARTE I

3 CAPITULO UNO - Introducción

6 CAPITULO DOS - Reciclaje de materiales de pavimento

9 CAPITULO TRES - Reciclaje de superficie

Calentamiento - Nivelado

Calentamiento - Escarificado

Remoción en Caliente

Nivelado en Frio

Remoción en Frio

Comparación de Alternativas

19 CAPITULO CUATRO - Reciclaje de base y superficie en el lugar de trabajo

Actividades de mantenimiento

La experiencia de Florida

La experiencia de Michigan

La experiencia de Nevada

La experiencia de Texas

Midwest Asphalt Paving Corporation (Corporación Midwest de Pavimentación con Asfalto)

Independent Construction Company (Compañía Independiente de Construcción)

Bell & Flynn, Inc.

Equipo Pettibone

Comparación de alternativas

26 CAPITULO CINCO - Reciclaje en planta central

Técnicas de reciclaje en planta central

Reciclaje en planta central de materiales tratados con cemento

Reciclaje en planta central de materiales tratados con asfalto

Modificadores de reciclaje

El exitoso reciclaje por calentamiento en planta central

Otras dos categorizaciones

41 CAPITULO SEIS - Reciclaje de otros materiales

Otros materiales de carreteras

Materiales no relativos a carreteras

44 CAPITULO SIETE - Investigación y Conclusiones

Necesidades de investigación

Conclusiones

47 REFERENCIAS

PARTE II

49 APENDICE A - Lista parcial de fabricantes y contratistas de equipo de reciclaje

RECONOCIMIENTOS

Esta síntesis fué elaborada por la Junta de Investigación de Transporte bajo la supervisión de Paul E. Irick, Asistente del Director para Proyectos Especiales. Los investigadores principales y responsables de la conducción de la síntesis fueron Thomas L. Copas y Herbert A. Pennock, Ingenieros de proyectos especiales. Esta síntesis fué editada por Gay I. Leslie.

Se hace un especial reconocimiento a Jon A. Epps, Ingeniero Asociado en Investigación del Instituto de Transportación de Texas, quien fuera responsable de la recabación de datos y preparación del reporte.

Una valiosa asistencia en la preparación de esta síntesis fué proporcionada por el Alto Panel, consistente de A. G. Calvert de la Oficina de Materiales del Departamento de Transportación de Iowa; A. Jackson, propietario, Jim Jackson, contratista, de Little Rock, Ark.; Robert H. Joubert, Ingeniero de Distrito en el Instituto del Asfalto; C. O. Leigh, Ingeniero de mantenimiento del Departamento de Carreteras y Transportación de Virginia; Richard A. McComb, Ingeniero en investigación de carreteras de la Oficina de Investigación, Administración Federal de Carreteras; John J. Schultz, Ingeniero en carreteras de la Oficina de Operaciones de Carreteras, Administración Federal de Carreteras.

Bob H. Welch, Ingeniero asociado en materiales y construcción de la Junta de Investigación de Transporte asistido por el staff de Proyectos Especiales y el Alto Panel.

La información sobre prácticas de actualidad fué provista por muchas agencias de carreteras, contratistas de reciclaje, fabricantes de equipo y proveedores. Su cooperación y asistencia fué muy útil.

MATERIALES DE RECICLAJE PARA CARRETERAS

Una solución para algunos de los problemas que afrontan los administradores de transportación es el reciclar materiales existentes para construcción, rehabilitación y mantenimiento. El reciclaje puede estabilizar costos, conservar recursos materiales escasos y reducir el monto de energía requerida. En los materiales de reciclaje están incluidos aquellos usados tanto en pavimentos rígidos como flexibles, guardacaminos, señas, postes indicadores y postes delimitadores. La industria ha reciclado vidrio, aluminio, acero y papel durante años. Los materiales de carreteras también han sido reciclados desde hace algunos años. Los pavimentos y bases han sido reusados y subproductos industriales tales como escoria, ceniza muy fina y desechos de miña han sido utilizados en algunas áreas. De cualquier forma, recientemente, la importancia del reciclaje de materiales de carreteras se ha incrementado tremendamente.

El reciclaje de pavimento es usualmente categorizado por (a) el procedimiento usado, (b) el tipo de materiales y (c) el beneficio estructural a ser obtenido. La organización de esta síntesis está basada en el procedimiento del reciclaje. El apartado de Reciclaje de superficie trata de la reelaboración de una pulgada de pavimento. El de Reciclaje de base y superficie en el lugar de trabajo incluye el tema de la pulverización de mas de una pulgada (25 mm.) así como el de remoldeo y compactación. En Reciclaje en planta central se enfoca el tema de la remoción de materiales de las carreteras, mezcla en una planta y colocación y compactación.

El apartado de Reciclaje de superficie es la forma más generalizada de reciclaje y ha sido muy usado para tratamiento de desmoronamiento de bordes, surcos, arrasado y corrugaciones. Algunas de las técnicas usadas para el reciclaje de superficie son: calentamiento-nivelado, calentamiento-escarificado, remoción en caliente, nivelado en frío y remoción en frío. El DDT (Departamento de Transporte) de Nueva York monitoreó la remoción de concreto asfáltico usando el calentamiento-nivelado, remoción en caliente y remoción en frío. De este trabajo resultaron interesantes los aspectos referentes a contaminación, ruido, penetración de profundidad y calor, propiedades físicas antes y después, resistencia al patinaje, cuota de producción, precisión de la profundidad y diferencia entre la vieja y la nueva superficie. La comparación de lo anterior es discutida en el Capítulo dos.

El reciclaje de base y superficie en el lugar de trabajo ha sido llevado a cabo en muchos estados usando bulldozers, compactadores vibratorios, rodillos, etc. para triturar pavimentos viejos. Ultimamente se han presentado refinamientos que incluyen una nueva tendencia a usar equipo pulverizador y técnicas de procesamiento como una trituradora móvil de martillo. Los estabilizadores tales como la cal, el cemento, el asfalto y otros químicos han sido utilizados. Una de las mayores ventajas del reciclaje en el lugar de trabajo es la habilidad para mejorar la capacidad de acarreo de pavimento con un mínimo de cambio en el corte de carretera. Las agencias estatales de transportación y contratistas han adquirido una considerable experiencia con el reciclaje en el lugar de trabajo.

El reciclaje de superficies de pavimento asfáltico data del año 1915; sin embargo, muy poca experimentación se hizo desde esa fecha hasta 1974. Recientemente, en forma experimental se han reciclado pavimentos de concreto de cemento portland para transformarlos en concreto de cemento portland.

Se estima que los procesos de reciclaje en planta central que usan calentamiento y estabilizador de cemento asfalto alcanzarán alrededor del 10 por ciento del mercado de mezclas a calor en 3 a 5 años. Asimismo, que se usará calentamiento a flama directa e indirecta.

Varios estados han completado el reciclaje que usaron ya sea concreto de cemento portland reprocesado o bien materiales bituminosos como agragado para base. En algunos casos, los materiales bituminosos y de concreto fueron reciclados en una sola operación. El retiro de acero reforzado antes de que el material sea procesado a través de la trituradora no ha sido un problema serio. Para demoler

cinceles aéreos, grúas, bolas y equipo similar.

Los pavimentos bituminosos usualmente pueden ser demolidos por un escarifica---dor-nivelador o por un rompedor de caminos jalado por un bulldozer. Un demolido adicional puede hacerse con un compactador u otro equipo antes de que el mate---rial sea levantado y transportado a la estación central para triturado y mezcla do. Sin embargo, en muchos trabajos los viejos pavimentos fueron triturados en una planta central.

Se han reciclado cantidades significativas de guardacaminos y señalizaciones. - Algunas atarjeas, aceites lubricantes para motores y postes también han sido re ciclados o reusados. Otros subproductos disponibles o productos de desecho in---cluyen ceniza muy fina, azufre, desecho de minas, escorias, vidrio, llantas y - residuo de incinerador.

Otros hallazgos son:

*El reciclaje de pavimento y el uso de material de desecho pueden reducir las - necesidades de agregados en algunas áreas.

*El equipo especializado de pulverización es susceptible de ser utilizado para operaciones de reciclaje en el lugar de trabajo.

*El reciclaje con calentamiento en planta central de concreto asfáltico ha sido logrado por procesos varios sin contaminación del aire.

Las futuras investigaciones deberán: estudiar la contaminación del aire asocia da con el reciclaje de materiales de pavimento asfáltico, desarrollar pautas pa ra la toma de decisiones relativas al reciclaje, desarrollar información sobre costos y consumo de energía para las operaciones de reciclaje, estudiar las pro piedad de las mezclas recicladas, desarrollar equipo nuevo o mejorado, probar y evaluar agentes modificadores, desarrollar modificadores que reblandezcan el - asfalto, mejorar la resistencia al deterioramiento causado por el agua, definir requerimientos de control de calidad para la construcción del reciclaje y, fi---nalmente, establecer sólidos coeficientes para materiales reciclados sobre el - rendimiento del pavimento.

CAPITULO UNO

INTRODUCCION

(1)

La expansión, rehabilitación y mantenimiento de cualquier sistema de transporte depende de recursos fiscales para financiar el sistema; la tecnología para planear, diseñar, construir y mantener el mecanismo en una manera económica; suministros de agregados y aglomerantes; y equipo y recursos humanos con los cuales construir y mantener las instalaciones.

Las agencias locales, estatales y federales responsables de los medios de transporte se enfrentan a un número de problemas que incluye:

1. Una reducción de los fondos disponibles para medios de transporte causada -- por la inflación, descenso en la base del impuesto, descenso o nivelación del ingreso proveniente por impuesto de combustible, demanda fiscal de otros programas y otros factores.
2. Problemas de suministro de materiales ocasionados por la falta de fuentes de abastecimiento cercanas al lugar de su uso; inaccesibilidad causada por leyes zonificadoras; mayores distancias de acarreo y costos de transportación consecuentes; estrictos códigos ambientales que limitan la producción en ciertas áreas y que requieren mayores gastos para la calidad del aire y agua, control de ruido y restauración de fosos y canteras; y el uso potencial de materiales de construcción para otros propósitos.
3. Problemas de disponibilidad de equipo originados por presupuestos reducidos, el alto costo de nuevo equipo y otros factores.
4. Problemas de mano de obra resultantes de restricciones fiscales en salarios que con frecuencia crean problemas también de deficiencia en operadores de equipo entrenados y empleados calificados orientados a la ingeniería; problemas laborales de administración; y la necesidad de incrementar la productividad para conseguir una operación rentable.
5. Problemas de energía asociados con la disponibilidad de combustible y su costo y la urgente necesidad de reducir el consumo de energía.

Debido a estos problemas y otros, existe una urgente necesidad de optimizar el uso de agregados, aglomerantes, equipo, mano de obra, energía y fondos desde -- los puntos de vista de planeación, diseño, construcción, rehabilitación y mantenimiento.

Una solución a alguno de los problemas de transportación referidos anteriormente es la reutilización o reciclaje de materiales existentes para construcción, rehabilitación y mantenimiento como propósitos. El reciclaje de materiales de pavimento (tales como concreto asfáltico y concreto de cemento portland), materiales de carreteras (tales como guardacaminos y señalizaciones) y materiales no pertenecientes a carreteras (tales como desechos industriales, minerales y domésticos) ofrece diversas ventajas sobre el uso de materiales convencionales. Entre los mayores beneficios están la conservación de agregados, conglomerados y energía y la preservación del medio ambiente y las existentes geometrías de las carreteras.

La conservación de agregados y conglomerados es importante. Aunque los Estados Unidos tiene una abundante provisión de materiales de reserva para la producción de agregados de calidad para el futuro previsible (1,2), la distribución de estos recursos no siempre coincide con el lugar donde se precisa su existencia. Así, ha sido necesario transportar agregados sobre largas distancias. Esto ha escalado el costo y la energía consumida en la construcción de sistemas de transporte. El reciclaje de agregado en el viejo pavimento y el uso de subproductos y productos de desecho para reconstrucción, rehabilitación o propósitos de mantenimiento disminuirán la demanda de agregado y engrandecerá la existencia de agregados para la construcción en un momento en que sus fuentes (particularmente las cercanas a las áreas urbanas) están vaciándose debido a su gran uso, restricciones de minado, regulaciones de protección al medio ambiente y al

valor de los bienes inmuebles.

La conservación de conglomerados es otra importante ventaja lograda por el reciclaje. Por ejemplo, la pulverización y el reuso de concreto asfáltico normalmente requiere alrededor de 1 a 3 por ciento de asfalto adicional, en comparación con una mezcla de concreto asfáltico nuevo que requiere alrededor del 6 por ciento. El ahorro cercano a los diez galones de asfalto por tonelada (4 L/Mg) de concreto asfáltico producido puede contribuir al programa de conservación de combustible de la nación. El asfalto puede ser usado directamente como combustible para plantas de energía eléctrica, sistemas varios en refinerías, o puede ser transformado en otros hidrocarburos para uso en aviones, automóviles y fabricación de acero.

La conservación de metales es una práctica de algunos estados mediante el reciclado de guardacaminos, señalizaciones, postes delimitadores y postes de señales. Ciertamente, otros artículos asociados con el control de tráfico pueden ser reciclados. Técnicamente, el reciclaje de la basura de carretera es factible pero en la actualidad no se justifica económicamente.

La conservación de energía es aparente en las operaciones de reciclaje si uno considera el reducido acarreo necesario para los agregados y la reducida energía de acarreo y producción requerida para el conglomerado en los materiales de pavimento reciclados. Los ahorros de energía de las operaciones de reciclaje, de cualquier manera, deben ser determinados en base al trabajo diario, y también de trabajo a trabajo.

El reciclaje puede contribuir a la preservación del medio ambiente mediante la reducción del monto de nuevos materiales requeridos para uso en carreteras. Así, una correspondiente reducción es posible en los problemas del medio ambiente de extracción de nuevo material y fabricación de productos, en adición a que se evitan los problemas asociados con la disposición del pavimento viejo.

El mantenimiento de la geometría de las carreteras puede ser logrado en forma relativamente fácil mediante el reciclaje de pavimento. Para carreteras de varias vías, únicamente la vía con problemas necesita ser reciclada. Las capas superpuestas a todo lo ancho no hacen necesario involucrarse con el drenaje. Los problemas de paso libre en los puentes, señales y túneles ocasionados por las capas superpuestas pueden ser superados mediante el fortalecimiento de la superficie, base o plataforma de la vía existentes. Los problemas de control vertical con las instalaciones de drenaje, tales como líneas de fluido por canal, su altura de la solera, capacidad de admisión y sus cajas de registro, son reducidos cuando se usan operaciones de reciclaje en lugar de capas superpuestas.

TABLA 1

SUMARIO DE ACTIVIDADES ESTATALES DE RECICLAJE (SEPTIEMBRE 1976)

(13)

ESTADO	R E C I C L A J E D E P A V I M E N T O											
	SUPERFICIE			EN EL LUGAR				PLANTA CENTRAL				
	No. del Proyecto	Millas de vía	Profundidad (pulg.)	No. del Proyecto	Tons. (1000's)	Millas de vía	Profundidad (pulg.)	No. del Proyecto	Tons.	Millas de vía	Profundidad (pulg.)	

Guardacaminos (pies lineares)	Señalizaciones (pies lineares)	Atarjeos (pies lineares)	Aceite motor-galón	Postes de señales	Postes delin.	Vidrio (ton.)	Llantas (ton.)	Desperdicios de - Miras (ton.)
-------------------------------	--------------------------------	--------------------------	--------------------	-------------------	---------------	---------------	----------------	--------------------------------

Ceniza muy fina (ton.)	Escoria (ton.)
------------------------	----------------

Many=Muchos; N.A.=No Disponible; Sm. Amt.=Cantidad pequeña; Lg. Amt.=Gran Cantidad

- (1) Cantidad no disponible pero se ha reciclado material
- (2) Incluye 64,962 pies lineares reforzados y galvanizados por contrato
- (3) El reciclaje en planta central consistió de 12 millas de vía de 4.8 pulgadas de hormigón magro en la base, 12 millas de vía de 4.8 pulgadas de base tratada con cemento, 24 millas de vía de base de agregado clase 3 de 6.3 pulgadas
- (4) Se uso asfalto de caucho como intercara de alivio de esfuerzos; la especificación de 1976 permite a la ceniza muy fina actuar como sustituto parcial del cemento en pavimentos y estructuras; proyectos experimentales con escoria; señalizaciones recicladas a través de un limpiador designado por el estado; ocasionalmente, algunos postes de guardacaminos y sistemas de anclaje no se incorporaron al proceso; algún acero estructural se usó en situaciones de compostura
- (5) Un espaldón de diez pies fué reciclado; se obtuvieron resultados insatisfactorios
- (6) Práctica de rutina por un determinado número de años, cantidades no disponibles
- (7) Aceite lubricante para motores utilizado como combustible suplementario en plantas de mezcla - caliente
- (8) Viejas llantas de pruebas de patinaje usadas como llantas delanteras en la segadora
- (9) Dos millas de vía con 12 pulgadas de profundidad; 3.3 millas de vía con 4 pulgadas de profundidad; 5.5 millas de vía con 8 pulgadas de profundidad
- (10) Objetivo primario-rehabilitación de espaldón pero la cantidad también incluye 4.5 millas de - centino
- (11) El estado es poseedor de dos calentador-niveladores y desempeñan trabajos principalmente en áreas urbanas a un promedio de 25,000 yardas cuadradas anualmente
- (12) Usado en terraplén de camino
- (13) 9,000 toneladas recicladas al año; 60,000 libras de papel reciclado por año
- (14) Cantidad reciclada en 1976
- (15) Base y subbase tomadas del piso de carretera con cal y usadas como base en el nuevo piso de - carretera
- (16) Kansas ha reciclado 5,000 toneladas de escoria húmeda proveniente de la parte inferior de calderas
- (17) Texas ha reciclado 12,000 tambores de 55 galones
- (18) 20 millas de vía en dos proyectos
- (19) Wisconsin ha reciclado 4,000,000 de toneladas de huesos, 800 pies lineares de alcantarillas para tormentas, 750 pies lineares de alambrado, 3,000 pies lineares de cercado eslabonado, 800 pies lineares de borndal de aluminio, 800 postes ligeros, fundiciones de estructuras de drenaje, tubería de desagüe, cajas de señales, unidades de iluminación, reflectores de conducto-eléctrico
- (20) Wyoming ha reciclado 78,205 pies lineares de alambrado
- (21) El equipo está siendo comprado

El reciclaje de materiales ha sido practicado durante años con el vidrio, papel, aluminio, acero y otras industrias. Estas industrias han usado el reciclaje por que reconocen que existen cantidades finitas de materias primas con las que se hacen sus productos. Más aún, las economías de estas industrias han hecho al reciclaje competitivo con la producción de bienes con materias primas.

El reciclaje en transportación también ha sido practicado en menor escala por algunos años. La reutilización de materiales de revestimiento como base inestabilizada ha sido practicada extensamente. El reciclaje de pavimentos ha sido -- practicado desde 1915. Los subproductos industriales tales como la escoria, ceniza muy fina, y desechos de mina también han sido utilizados en determinadas áreas del campo. La importancia del reciclaje en el campo de carreteras se ha incrementado tremendamente en los últimos tres años. Los conceptos de conservación y preservación así como la llegada de la atmósfera económica apropiada han estimulado este crecimiento.

La mayor parte de esta síntesis está enfocada a los materiales de pavimento por cuanto hace a su reciclaje o su reutilización; la parte restante está destinada al reciclaje de otros materiales de carretera y al de materiales no pertenecientes a carretera.

Como punto de partida, se revisó una extensa literatura y un cuestionario -- fué circularado a los departamentos de carreteras y transportación para definir -- los tipos de materiales que actualmente siendo reciclados. La revisión de la literatura fué patrocinada en parte por el Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas. 49 de los 50 estados respondieron el cuestionario cuyos resultados aparecen en la Tabla 1.

CAPITULO DOS

RECICLAJE DE MATERIALES DE PAVIMENTO

El reciclaje o la reutilización de los actuales materiales de pavimento para rehabilitación, reconstrucción y mantenimiento de pavimento no es un concepto nuevo. Una gran variedad de planteamientos se han dado desde los años 1930. La clasificación de los planteamientos sobre reciclaje estan generalmente en (a) los procedimientos de reciclaje utilizados, (b) el tipo de materiales de pavimento a ser reciclados y los productos terminados derivados de esos materiales, o (c) el beneficio estructural a ser obtenido con el planteamiento de reciclado. Cada una de estas categorías tiene su propio al describir el propósito y aplicabilidad de un determinado tipo de reciclaje. Una clasificación basada en los procedimientos de reciclaje es la que ha sido utilizada para esta síntesis. La Figura 1 define la estructura dentro de la cual a su vez se definen los actuales tipos de reciclaje de pavimento.

Las definiciones para estas categorías de reciclaje han sido preparadas por el Comité Consejero Técnico (3) a través del Proyecto de Demostración No. 39 de la Administración Federal de Carreteras, un comite conjunto del Instituto del Asfalto y la Asociación Nacional de Pavimento de Asfalto (4), la Asociación para el Reciclaje y Recuperación del Asfalto (5), el Programa Nacional de Investigación Cooperativa de Carreteras (6), la Estación del Experimento Técnico de Vías Fluviales de la Armada de E.U. (7), y el Laboratorio de Ingeniería Civil de la Marina (8). Las siguientes definiciones estan basadas en las sugerencias de las

entidades citadas además de los miembros de la Junta de la síntesis. (16)

Reciclaje de superficie--Retratamiento de la superficie de un pavimento a una profundidad de menos de 1 pulgada (25mm.) mediante aparatos de calentamiento-nivelación, calentamiento-escarificado, remoción en caliente, nivelación en frío o remoción en frío. Esta operación es un proceso continuo, de paso simple y de etapas múltiples que puede implicar el uso de materiales nuevos, incluyendo agregado, modificadores o mezclas.

Reciclaje de superficie y base en el lugar de trabajo--Pulverización a una profundidad mayor que 1 pulgada (25mm.) en el lugar de trabajo, seguida por remoldeo y compactación. Esta operación puede ser llevada a cabo con o sin la adición de un estabilizador.

Reciclaje en planta central--Escarificado del material de pavimento, retiro del pavimento de la carretera antes o después de la pulverización, procesamiento del material con o sin un estabilizador o modificador, y tendido y compactación al grado deseado. Esta operación puede implicar la adición de calor, dependiendo del tipo de material reciclado y el estabilizador usado.

Según se muestra en la Figura 1 y como se definió previamente, el proceso de reciclaje puede incluir la adición de calor o puede llevarse a cabo en ausencia del mismo. Las definiciones actualmente utilizadas por la Administración Federal de Carreteras están basadas en parte en aquellas desarrolladas por el comité conjunto Asociación Nacional de Pavimento de Asfalto-Instituto del Asfalto. Las definiciones incluye un esbozo de (a) reciclaje de pavimento asfáltico de mezcla en caliente, (b) reciclaje de pavimento asfáltico de mezcla en frío, (c) reciclaje de superficie de pavimento asfáltico y (d) reciclaje de pavimento de concreto de cemento portland (9). La Tabla 2 da las ventajas y desventajas de cada categoría de reciclaje.

Antes de describir el equipo y los procesos involucrados en las varias categorías de reciclaje, es necesario tener en claro que el reciclaje de pavimento es una de muchas alternativas de rehabilitación o mantenimiento de entre las cuales el ingeniero debe seleccionar (Fig. 2). La selección de una alternativa depende del deterioro del pavimento, sus probables causas, el aspecto económico y la información del proyecto. Los siguientes factores deben ser considerados:

1. Historia de los requerimientos y costos de mantenimiento del pavimento.
2. Historia del rendimiento del pavimento.
3. Controles geométricos horizontales y verticales.
4. Factores medio-ambientales.
5. El tráfico.

Una vez que ha sido seleccionado el reciclaje como una posible alternativa de rehabilitación, se inicia el proceso de selección de la operación específica de reciclaje (Fig. 3). Deben llevarse a cabo un limitado número de pruebas de laboratorio y de campo para establecer los recursos materiales disponibles en el pavimento y los estabilizadores que pueden ser utilizados con estos materiales. A partir de esta información preliminar, las alternativas potenciales de reciclaje pueden ser seleccionadas y asimismo desarrollarse los diseños de pavimento y los análisis económicos. En base a esta información, se seleccionan las alternativas de reciclaje más promisorias, se desarrollan pruebas detalladas de laboratorio para establecer el contenido del estabilizador y se diseña el corte del pavimento. Los requerimientos de energía para la operación de reciclaje deben ser determinados, las especificaciones de la construcción preparadas y la operación de reciclaje llevada a cabo. Finalmente, el rendimiento de los materiales reciclados debe ser evaluada durante un cierto periodo de tiempo al mismo en que las propiedades del material en el lugar de trabajo deben ser determinadas por medio de programas de pruebas de laboratorio y campo. Estos datos deben ser utilizados como retroalimentación a la futura selección de alternativas de rehabilitación de pavimento. Los detalles del proceso de selección descrito anteriormente e ilustrado en la Figura 3 están contenidos en un reporte preparado bajo el Proyecto 1-17 del PNICC de nombre "Pautas para el Reciclaje de Materiales

Figura 1. Clasificación de los planteamientos de reciclaje en base a los procedimientos de reciclaje.

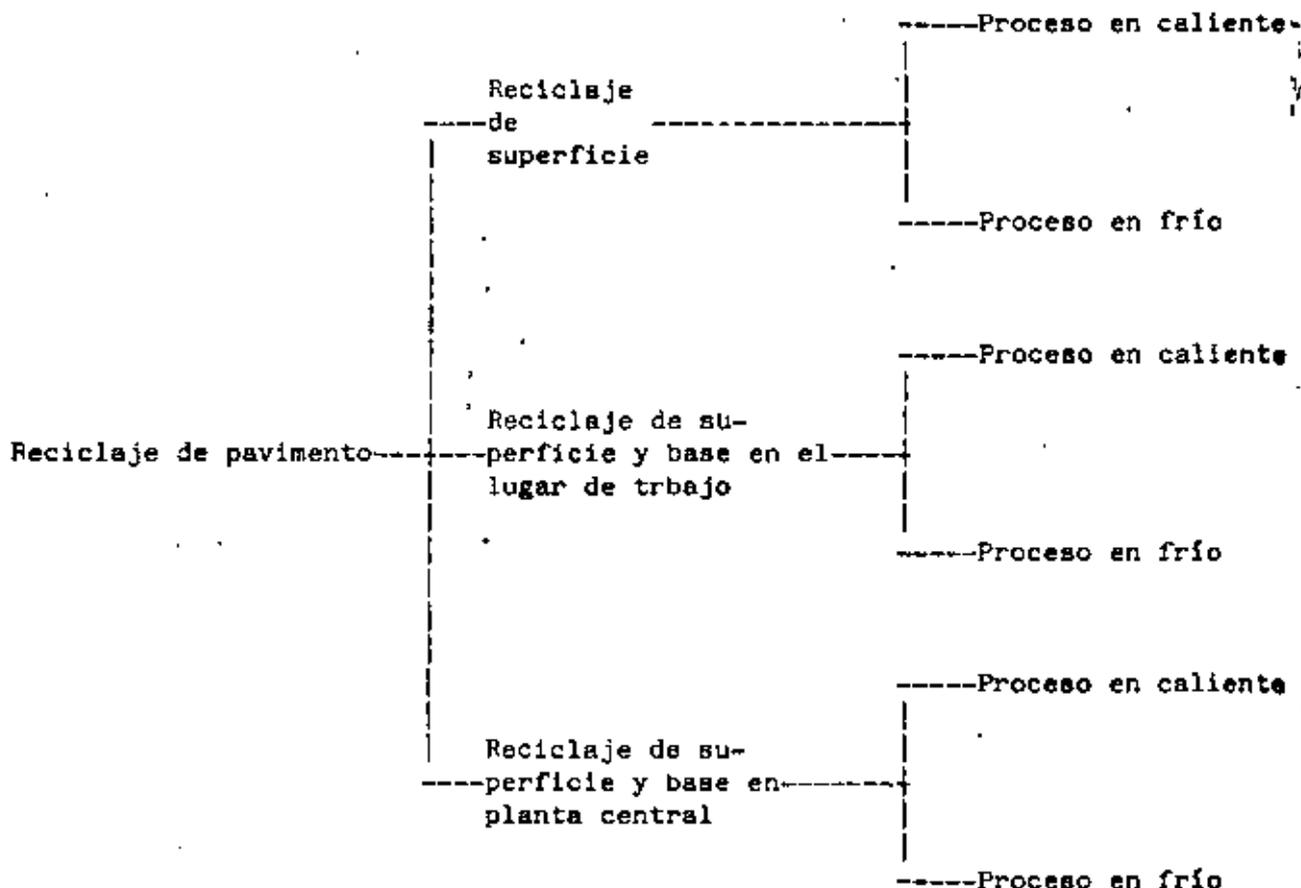


TABLA 2
PRINCIPALES VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS CATEGORIAS DE RECICLAJE

Categorías de Reciclaje	Ventajas	Desventajas
Superficie	<ul style="list-style-type: none"> *Reduce el agrietamiento ocasionado por reflexión *Favorece la cohesión entre el pavimento viejo y la capa superpuesta *Proporciona una transición entre la nueva capa superpuesta y la cuneta, puente, pavimento, etc. existentes, la cual es resistente al desmoronamiento de bordes (elimina las piedrecillas sueltas) *Reduce las asperezas *Trata una variedad de tipos de deterioros del pavimento (desmoronamiento de bordes, arrasado, corrugaciones, surcos ocasionados por el rodaje de coches, pavimento oxidado, fallamiento) a un costo razonable *Mejora la resistencia al patinaje *Desorganización mínima de tráfico 	<ul style="list-style-type: none"> *Mejoría estructural limitada *Sin pasos múltiples de equipo, el calentamiento-escarificado y el calentamiento-nivelado tienen una efectividad limitada sobre el pavimento áspero *Restauración limitada en pavimentos severamente arrasados o inestables *Algunos problemas de contaminación del aire *La vegetación cercana a la carretera puede verse dañada *Las mezclas con agregados de tamaño mayor a una pulgada no pueden ser tratadas con cierto equipo
En el lugar	<ul style="list-style-type: none"> *Mejorías estructurales significativas *Trata todos los tipos y grados de deterioro del pavimento *El agrietamiento ocasionado por reflexión puede ser eliminado *La susceptibilidad de escarcha puede ser mejorada *Mejora la calidad del rodaje 	<ul style="list-style-type: none"> *El control de calidad no es tan bueno como el que se logra en planta central *Causa desorganización de tráfico *Necesidad de reparación del equipo de pulverización *El costo *No puede llevarse a cabo fácilmente en pavimentos de CCP (concreto de cemento-portland)
Planta central	<ul style="list-style-type: none"> *Mejorías estructurales significativas *Buen control de calidad *Trata todos los tipos y grados de deterioro del pavimento *Arietamiento por reflexión puede ser eliminado *Mejora la resistencia al patinaje *La susceptibilidad de escarcha puede ser mejorada 	<ul style="list-style-type: none"> *Incremento de la desorganización del tráfico *Puede tener problemas de contaminación del aire en el sitio de la planta

- *La geometría de la carretera puede ser - más fácilmente alterada
- *Mejor control si se tienen que utilizar agregados y/o agregados
- *Mejora la calidad del rodaje

Figura 2. El reciclaje como alternativa de rehabilitación.

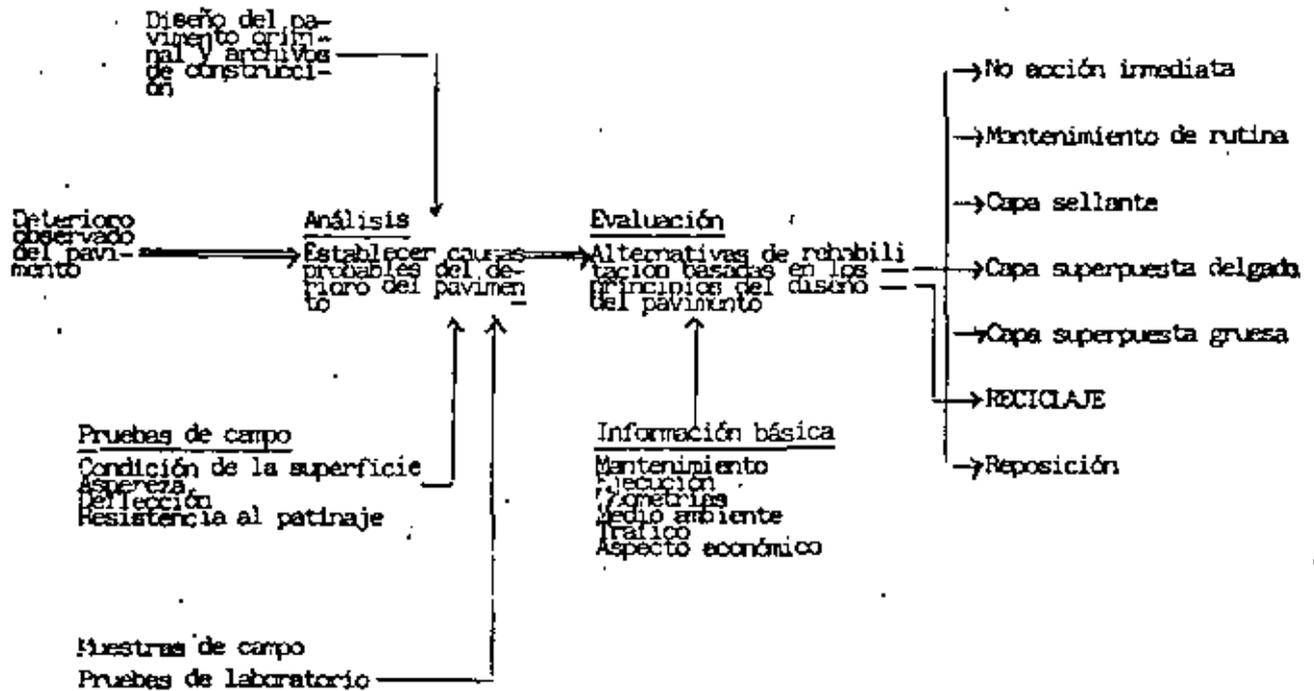
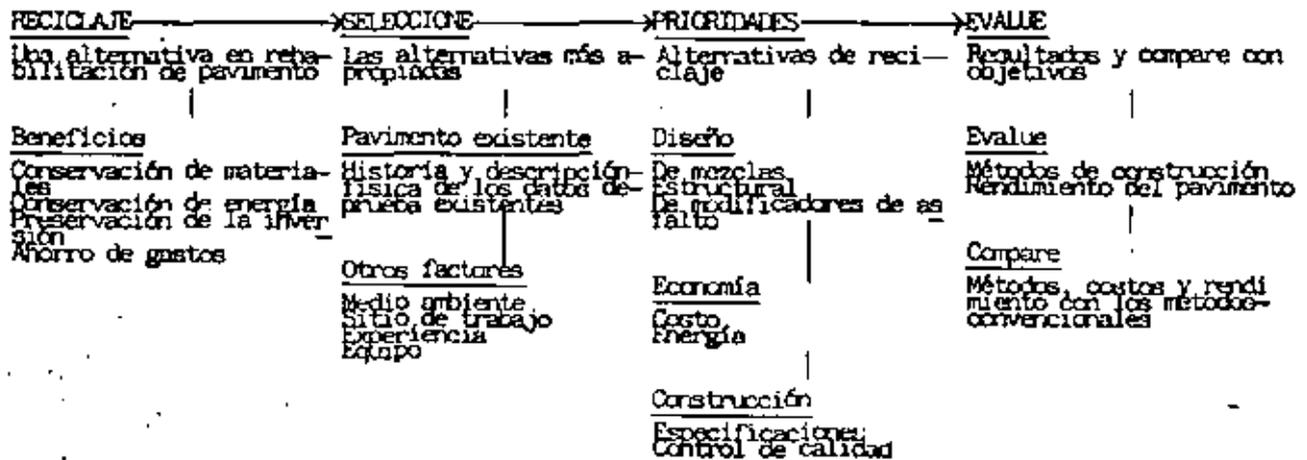


Figura 3. Selección de una operación de reciclaje.

- I. Reconocimiento II. Análisis Preliminar III. Análisis Detallado y diseño IV. Resultados



CAPITULO TRES

RECICLAJE DE SUPERFICIE

El reciclaje de superficie difiere de otras categorías generales de reciclaje en que se involucra el tratamiento de la superficie de un pavimento a una profundidad menor a una pulgada (25mm.) (a menos que se efectúen pasos múltiples). Así, el reciclaje de superficie tiene una efectividad limitada en reparación de caminos ásperos o caminos severamente surcados por el paso constante de los coches o en incrementar significativamente la capacidad de transporte de carga de la carretera (Tabla 2). Sin embargo, el reciclaje de superficie es actualmente la forma más popular de reciclaje ya que a un costo razonable puede tratar una gran variedad de deterioros de pavimentos, incluyendo desmoronamiento de bordes, surcos, arrasado y corrugaciones. Adicionalmente, los datos ilustran la utilidad del calentamiento-escarificado mas una capa superpuesta para reducir el agrietamiento por reflexión (10). Otras ventajas del reciclaje de superficie parecen ser la habilidad para fomentar una cohesión entre el camino viejo y una capa superpuesta delgada y para proporcionar una transición entre la nueva capa superpuesta y las cunetas, puentes, pavimentos, etc. existentes. El material retirado mediante nivelación y remoción puede ser utilizado nuevamente en bases estabilizadas o inestabilizadas así como en espaldones y en superficies estabilizadas.

La evolución del equipo de reciclaje de superficie no está bien documentada; de cualquier forma la literatura con que se cuenta indica que tres de las unidades originales de calentamiento-nivelado fueron desarrolladas en California en los años 1930's (11). Una unidad fué un calentador remolcado como un semitrailer detrás de un trailer de camión, seguido por un nivelador independiente. Una segunda unidad fué un calentador y nivelador combinados. Una tercera unidad fué un calentador montado sobre un nivelador. La cuchilla del nivelador en esta unidad fué sustituida por una cuchilla de una alisadora de asfalto. El calentador de combustóleo diesel era jalado por los brazos escarificadores y las llantas de caucho sólidas eran enfriadas por chorro de agua proveniente de un tanque montado en la parte frontal. La cuchilla podía ser girada hacia cualquier lado para descargar los cortes por las ruedas traseras. Los cortes eran levantados por un cucharón cargador frontal. La primera máquina de reciclaje de superficie que no usó calentamiento data de 1936 aparentemente (11). Este dispositivo usó cinceles para cortar la carretera en frío. Desde los primeros días del reciclaje de superficie en frío han sido desarrolladas técnicas para moler el pavimento con tambores giratorios equipados con dientes cortantes.

Desde 1930, se ha desarrollado una amplia variedad de equipo de reciclaje y se han establecido una serie de técnicas innovativas. Para propósitos de discusión, este equipo y las técnicas asociadas han sido clasificados en calentadores-niveladores, calentadores-escarificadores, removedores en caliente, niveladores en frío y removedores en frío (Fig. 4). Los fabricantes de equipo y contratistas están listados en el Apéndice A.

CALENTAMIENTO-NIVELADO

Los calentadores-niveladores han sido usado principalmente para el mantenimiento del nivel longitudinal del pavimento y su pendiente transversal. Otros usos incluyen el retiro de pavimento de los puentes para reducir el peso muerto; mantenimiento los pasos libres apropiados en túneles, pasos a desnivel y puentes de semáforo; retiro de sellos diseñados o construidos inapropiadamente; y el retiro de irregularidades de pavimentos ásperos causadas por inestabilidad, bordes de lodo, actividades repetidas de mantenimiento tales como sellado de grietas, etc.

Es una práctica común el calentar y nivelar un pavimento antes de tender la capa superpuesta. Esta actividad corregirá problemas de surcos, removerá algunas de las asperezas del pavimento y hará un corte encabezador, corte de cuneta o ranura que impedirá la producción de diminutas piedrecillas de la mezcla caliente. Cualquier material que sea retirado de la carretera puede ser reutilizado.

Una aplicación única del calentador-nivelador es usar las unidades de calentamiento para ayudar en actividades de mantenimiento correctivo. Para pavimentos con escasa resistencia al patinaje, se puede esparcir una capa de agregado anti-brillo con un esparcidor de cascajo de capa sellante convencional. La unidad de calentamiento entonces calienta el pavimento y es seguida por una aplanadora rueda de acero para embutir el agregado dentro de la superficie del pavimento viejo. Esta actividad es particularmente efectiva cuando el arrasado o exudación representan un verdadero problema.

Los calentadores-niveladores se encuentran disponibles como equipo de una sola pieza que calienta y nivela el pavimento, tal como el equipo de la Cutler & Jim Jackson. Otros, tales como los utilizados por la Payne, envuelven dos piezas de equipo: una unidad de calentamiento y una unidad de nivelado por separado. La Tabla 3 enlista las características de los equipos, información de costos e información de consumo de combustible, cuando estuvo disponible. Los costos de calentamiento y nivelado de un pavimento a una profundidad de 3/4 de pulgada fluctúa entre \$0.15 y \$0.60/yarda² (\$0.18 y \$0.72/m²), con un consumo de combustible tanto para el calentamiento como para la fuerza motriz dentro del rango de 10,000 a 20,000 Btu/yard² (12 600 a 25 200 kJ/m²). Las tasas de producción varía según el equipo usado, las propiedades termal del concreto asfáltico que este siendo escarificado, la temperatura del pavimento antes del calentamiento y la profundidad del nivelado deseado. Los costos previstos para calentamiento, nivelado, control de tráfico requeridos durante la operación, y retiro del material del pavimento son del orden de \$0.70 a \$0.90/yard² por pulgada de profundidad (\$0.33 a \$0.42/m² por cm de profundidad). En la Figura 5 se muestra una operación de calentamiento-nivelado.

CALENTAMIENTO-ESCARIFICADO

Las operaciones de reciclaje usando el calentamiento-escarificado se presenta de varias formas. La Figura 6 indica algunas de las posibilidades que existen. Las operaciones básicas consisten en preparación, calentamiento y escarificado de la superficie; agregar materiales adicionales si se requieren; compactación; hacer ajustes finales a cajas de registro y estructuras de drenaje; y apertura al tráfico de la obra terminada.

Los calentadores-escarificadores también han sido utilizados para retirar irregularidades de la superficies de pavimento. El uso de estas unidades inmediatamente antes de hacer una cpa superpuesta de concreto asfáltico ofrece alguna ventaja. La aspereza de la superficie del pavimento puede ser eliminada a fin de lograr una superficie lisa para una nueva capa de desgaste y consecuentemente elimina o reduce el monto de la capa de enrase requerida. La cohesión entre el viejo pavimento y la nueva capa superpuesta de concreto asfáltico también puede ser mejorada con el uso del calentador-escarificador o un calentador-nivelador inmediatamente antes de la capa superpuesta.

El agrietamiento por reflexión, que es una consideración mayor en el diseño de la capa superpuesta, puede ser reducido mediante el uso del calentamiento-escarificado antes de tender la capa superpuesta de concreto asfáltico en los pavimentos. Existe documentación que ilustra esta ventaja (10).

Muchas millas de carreteras en los Estados Unidos y Europa han sido recicladas

20
1
utilizando alguno de los planteamientos descritos de calentamiento-escarificado. Algunas agencias estatales de Arizona, Arkansas, California, Florida, Illinois, Kansas, Maryland, Massachusetts, Nevada, Nuevo México, Utah y Wisconsin han estado particularmente activos.

El equipo de calentamiento-escarificado varía tanto en apariencia como en diseño. El equipo actualmente utilizado por la empresa Asphalt Equipment Incorporated y G.J. Payne tiene la habilidad de calentar y escarificar con una sola unidad. El equipo utilizado por Jim Jackson puede calentar, escarificar y nivelar la mezcla escarificada con una sola unidad. Algunas unidades operadas por Jim Jackson pueden regar y mezclar modificadores. El de la Cutler Repaver y Jumbo Repaver tiene la habilidad de calentar, escarificar, regar un líquido aditivo, agregar material adicional de pavimentación y mezclar y tender el material resultante. El equipo Cutler tiene una tolva receptora, un sistema transportador y un rastrel vibratorio de servicio pesado similares a aquellos componentes de una mezcladora pavimentadora de asfalto convencional.

Los sistemas de calentamiento, al igual que aquellos de los dispositivos de calentamiento-nivelado, se presentan tanto como emisores de calor radiante o como quemadores de flama abierta. Estos emisores o quemadores están encerrados por un cofre que dirige el calor a la superficie del pavimento. Para aflojar y procesar el pavimento calentado se usan cuchillas de acero tipo carburo sobre escarificadores montados en resorte o escarificadores accionados por bolsa de aire. Con los calentadores-escarificadores frecuentemente se incluyen cuchillas de arrastre hechas de acero para ayudarse en el nivelado y para reunir el material excedente en un montón para facilitar su carga posteriormente.

La Tabla 4 enlista características de equipo, información de costos e información de consumo de combustible cuando la hubo disponible. Los costos de calentamiento y escarificado de un pavimento a una profundidad de 3/4 pulgadas (19-mm) fluctúa entre \$0.15 y \$0.60/yd² (\$0.18 y \$0.72/m²). Los costos son similares a los de las operaciones de los calentadores-niveladores. El consumo de combustible parece estar en el orden de los 8,000 a 15,000 Btu/yd² (10 000 a 19 000 kJ/m²) para escarificación de 3/4 de pulgada. Como sucede con los calentadores-niveladores, las tasas de producción varían según el equipo utilizado, las propiedades termales del concreto asfáltico que está siendo escarificado, la temperatura del pavimento antes del calentamiento, la profundidad de escarificación deseada y las restricciones impuestas por operaciones auxiliares, incluyendo la adición de algún agente reblandecedor de asfalto o mezcla de pavimentación. En la Figura 7, se muestra una unidad de calentamiento-escarificado.

REMOCION EN CALIENTE

La remoción en caliente no ha sido utilizada extensivamente en los Estados Unidos. El proceso está limitado a carreteras de superficie asfáltica y es ejecutado por las mismas razones dadas en la sección de remoción en frío más adelante.

La máquina de remoción en caliente fabricada por Wirtgen ha sido utilizada en la parte oriental de los Estados Unidos. La Millars Mark II Road Razer ha sido utilizada en Inglaterra. La Tabla 5 enlista características de equipo, información de costos y de consumo de combustible cuando la hubo disponible. El consumo de combustible está en el orden de los 10,000 Btu/yd² (12 600 kJ/m²) para este tipo de dispositivos. Para remoción de 1 pulgada, los costos se encuentran en el orden de \$0.80 a \$1.00/yd² (\$0.96 a 1.20/m²). Estos costos incluyen renta del equipo, mano de obra, material y limpieza. Las tasas de producción varían según el equipo utilizado, las propiedades termales y resistencia a la abrasión del concreto asfáltico que está siendo removido. Las máquinas existentes de remoción en caliente se muestran en la Figura 8. Debe hacerse la anotación de que la Wirtgen SF800/1000 es una unidad relativamente pequeña.

NIVELADO EN FRIO

Las operaciones de nivelado en frío son llevadas a cabo comúnmente en el verano en carreteras de superficie asfáltica. Los propósitos principales del nivelado en frío son remover corrugaciones y otras fallas de estabilidad, reducir la cantidad de arrasado y remover sellos diseñados o contruados inapropiadamente. La apariencia y la ejecución del nivelado en frío en muchos de los casos no son tan satisfactorias como las de la técnica de calentamiento-nivelado. (21)

El equipo que normalmente utilizan los gobiernos de las ciudades y los condados para el nivelado en frío es una motoconformadora con cuchillas de acero reforzado. La operación es normalmente considerada para mantenimiento y el material removido es generalmente reutilizado.

La compañía Gurries está desarrollando un nivelador de pavimento de 6.5 pies (2.00 m) de ancho que es capaz de remover de 1.5 a 2.00 pulgadas (38 a 50 mm) de concreto asfáltico a un ritmo de 50 pies (15 m) por minuto. Este nivelador remueve pavimento mediante el uso del concepto del balancín vibratorio. Un sistema hidráulico es utilizado para mover osciladores que resuenan un extremo de un balancín. El balancín transmite la vibración a su otro extremo que impacta una arista cortante. La arista cortante es entonces utilizada para impactar el pavimento. La nueva superficie del pavimento podrá tener una resistencia mejorada al patinaje.

REMOCION EN FRIO

La remoción en frío ha sido practicada tanto en caminos de superficie asfáltica como en los de superficie de concreto de cemento portland. El principal propósito de la remoción en frío es la eliminación del deterioro de la superficie; de cualquier forma, los removedores pueden ser utilizados para capas de base inestabilizada o base estabilizada o capas de superficie. Las remociones pueden ser trabajadas tanto en el lugar de trabajo como en plantas centrales.

Los tipos de deterioros que pueden ser tratados por medio de remoción en frío incluyen surcos, desmoronamiento de bordes, arrasado y corrugaciones de pavimentos de superficie asfáltica y surcos, desmoronamiento de bordes, descascaramiento, fallamiento, astillamiento de pavimentos de superficie de concreto de cemento portland. El éxito de la remoción en frío depende de la naturaleza y grado del deterioro, entre otros factores.

La remoción en frío tiene aplicaciones adicionales que incluyen reparación de caminos de rodaje áspero, mejoría de la resistencia al patinaje y preparación de superficies de concreto asfáltico o de cemento portland para recibir la capa superpuesta. La peculiaridad del control automático de nivel con que cuentan muchas de las máquinas de remoción en frío permite la posibilidad de mejorar el rodaje.

Casi todas las operaciones de remoción mejoran la textura de la superficie de la carretera y comprime la superficie expuesta del agregado. Tanto la textura mejorada de la superficie (macrotextura) como el agregado comprimido (microtextura) favorecen la resistencia al patinaje. La mejoría de la resistencia al patinaje puede, sin embargo, ser solo temporal si el agregado es susceptible al brillo. La textura mejorada de la superficie del pavimento también incrementará la cohesión o la resistencia al corte entre la superficie vieja y la nueva capa superpuesta. Esta fuerza de cohesión es particularmente importante para las capas superpuestas de concreto de cemento portland tales como las utilizadas en tableros de puentes.

Casi todas las máquinas de remoción en frío actualmente en uso han sido desarrolladas en los últimos cinco años. Las empresas CMI, Barco y Barber Greene actualmente fabrican las máquinas de este tipo que son capaces de

remover hasta una profundidad de 5 pulgadas (130-mm) a 50 pies por minuto (0.25 m/s). La mini-alisadora BJD es una máquina pequeña y maniobrable capaz de alisar cerca de cajas de registro, estructuras de drenaje, etc. La Alisadora de Pavimento de 60 pulgadas de la Payne y la Mini-alisadora BJD generalmente trabajan una seguida de otra. La Tabla 6 enlista las características de equipo, información de costos e información de consumo de combustible cuando la hubo disponible. Los costos de remoción y levantamiento del material cortado son del orden de \$0.35 a \$1.00/yd² (\$0.42 a \$1.20/m²) para remociones de una pulgada (25-mm). El consumo de combustible es del orden de 600 a 2,500 Btu/yd² (800 a 3 200 kJ/m²) para remociones de 1 pulgada. Las tasas de producción pueden ser tan altas como 300 toneladas por hora (270 Mg/h) pero varían considerablemente dependiendo del equipo utilizado, la resistencia a la abrasión del material que esté siendo removido, la profundidad de la remoción del pavimento y la interferencia de tráfico. En la Figura 9 se muestran máquinas de remoción en frío.

COMPARACION DE ALTERNATIVAS

El Departamento de Transporte del Estado de Nueva York monitoreo la remoción de 1.5 pulgadas (38 mm) de concreto asfáltico por tres métodos diferentes—calentamiento-nivelado, remoción en caliente y remoción en frío (12). Los puntos evaluados incluyen contaminación sonora y del aire, profundidad de la penetración del calor, propiedades físicas del material antes y después de cada proceso, resistencia al patinaje de la superficie nivelada o removida, tasa de producción, precisión de la profundidad del nivelado o removido y cohesión entre la nueva capa superpuesta y la superficie removida o nivelada.

Todos los tres métodos cumplieron con los estándares del estado referentes al ruido y contaminación del aire para zonas residenciales. Fueron monitoreadas las emisiones tanto de partículas como de hidrocarburos. Los resultados se muestran en las Tablas 7 y 8.

Las máquinas de remoción en caliente y de remoción en frío fueron capaces de remover material a una profundidad de 1.5 pulgadas (38 mm) de un solo paso. La profundidad de remoción promedio del calentador-nivelador fué de 3/8 de pulgada (9.5 mm). La máquina de remoción en caliente requirió la adición de un nivelador para disponer el material removido en forma de hileras, un autocargador para poner el material en camiones y ocasionalmente un cucharón cargador frontal. La operación de remoción en frío fué ejecutada con dos máquinas de remoción complementadas con un cucharón cargador frontal para retirar el material. La unidad calentadora-niveladora fué autopropulsada; de cualquier forma, se utilizaron dos máquinas independientes idénticas. La capacidad de producción, los costos y el consumo de combustible del equipo para remover 1.5 pulgadas de concreto asfáltico aparecen en la Tabla 9.

CAPITULO CUATRO

RECICLAJE DE SUPERFICIE Y BASE EN EL LUGAR DE TRABAJO

El reciclaje en lugar de pavimentos viejos de concreto asfáltico y concreto de cemento portland no es un nuevo concepto. Casi cada estado ha utilizado equipo de construcción convencional como bulldozers, compactadores vibratorios, rodillos, etc., para triturar el pavimento viejo y combinarlo con una porción de la base o subbase existente para formar una capa estructural reconstituida. El desarrollo de equipo de pulverización y técnicas de procesamiento usando

trituradoras móviles de martillos para reciclaje de concreto asfáltico (2) son de los refinamientos recientes más importantes en materia de reciclaje en el lugar de trabajo. La Figura 10 muestra equipo típico de reciclaje en el lugar.

En la Figura 11 aparecen las varias alternativas para reciclaje de pavimento en el lugar sin necesidad de calor adicional. Los estabilizadores tales como la cal, cemento, asfalto y otros químicos han sido utilizados en estos procesos. El uso del cemento como estabilizador para bases recicladas y superficies recicladas data de 1942 (13). El uso de asfalto con material reciclado data probablemente de los principios de los 1940's, aunque el trabajo más reciente indica 1966 (14). Los estados que han llevado a cabo reciclaje en el lugar de trabajo del tipo descrito anteriormente incluyen Arkansas, California, Florida, Illinois, Indiana, Kansas, Kentucky, Louisiana, Maine, Michigan, Nebraska, Nevada, Nueva Jersey, Nueva York, Pennsylvania, Tennessee, Texas y Washington. Probablemente todos los estados han reciclado bases existentes junto con sus superficies sin la adición de un estabilizador. Como se muestra en la Figura 11, para reciclaje en lugar se pueden utilizar dos planteamientos básicos dependiendo del grueso del pavimento a ser tratado y el grueso de la superficie de concreto asfáltico. Si la superficie de concreto asfáltico tiene un grosor de 2 pulgadas (50 mm) o menos, se puede utilizar equipo de pulverización sin necesidad de rasgadura y ruptura preliminar. Para superficies de concreto asfáltico más gruesas de 2 pulgadas, se utilizan motoconformadoras con escarificadores o bulldozers con dientes desgarrantes para la ruptura inicial. Si se requiere ruptura adicional antes de la pulverización se puede utilizar equipo pesado (bulldozers, rodillos, compactadores, etc.).

Una ventaja mayor del reciclaje en el lugar es la habilidad para mejorar significativamente la capacidad de transporte de carga del pavimento sin cambios en la geometría horizontal o vertical de la carretera. Otras ventajas incluyen la habilidad para tratar casi todos los tipos de deterioro de pavimentos en caminos de superficie asfáltica, para reducir o eliminar agrietamientos por reflexión, para reducir la susceptibilidad de escarcha del material reciclado y para mejorar la resistencia al patinaje y la calidad del rodaje de la carretera (Tabla 2).

Entre las desventajas tenemos que el control de calidad no es tan bueno como el de las operaciones de planta central, la pulverización no puede ser llevada a cabo fácilmente sobre caminos de superficie de concreto de cemento portland y el costo y la desorganización del tráfico pueden ser altos.

ACTIVIDADES DE MANTENIMIENTO

Las superficies, bases, subbases y subrasantes son comúnmente removidas y substituidas por fuerzas de mantenimiento donde ocurren las fallas detectadas en el pavimento. Algunos de estos materiales pueden ser reciclados; Así, las cuadrillas de mantenimiento deben tomar una decisión. El material puede ser removido y (a) substituido con un material de mejor calidad; (b) substituido con un material que haya sido estabilizado con cal, cemento o asfalto; o (c) el material del lugar puede ser reciclado. El cemento es frecuentemente utilizado como estabilizador para reparaciones de mantenimiento de bases y subbases. La cantidad del cemento varía pero generalmente se emplea medio costal por yarda cuadrada (25 kg/m^2) para profundidad de 6 pulgadas (150-mm). La ventaja de este tipo de reparación es que los materiales del lugar pueden ser utilizados, consecuentemente, para reducir costos de transportación, manejo y agregado.

LA EXPERIENCIA DE FLORIDA

El retratamiento de bases en proyectos distintos a los de mantenimiento

"spot" también ha sido practicado. Una operación de tal naturaleza fué llevada a cabo en Florida. El contratista removió la base que existía, una capa de roca caliza de 10 pulgadas (250-mm) de espesor, y la apiló. El subrasante fué retrabajado y la arena puede ser conservada para una subbase. La base vieja sin tratamiento fué puesta nuevamente en su lugar mezclada con la arena y compactada. Esta base reciclada fué entonces cubierta con dos capas de 5.5 pulgadas (140 mm) de nueva roca caliza. La superficie fué entonces estabilizada con material aglutinante y se colocó mezcla caliente de 3 pulgadas (75 mm) (15).

LA EXPERIENCIA DE MICHIGAN

Las bases no tratadas pueden ser estabilizadas mediante la adición de un agente como la emulsión de asfalto. El Departamento de Carreteras y Transporte del Estado de Michigan ha estabilizado material existente de espaldón no tratado, con emulsión. Un proyecto involucró una sección de 2,400 pies (730-m) de la carretera 131 de los E.U.. El material fué removido a una profundidad de 4 pulgadas (100 mm) y esparcido uniformemente sobre la vía adyacente. Se agregó emulsión al dos por ciento. El mezclado de la emulsión y el agregado fué logrado mediante aplicaciones de asfalto y mezcla con cuchilla alternativamente. Después de cada aplicación de emulsión, el material fué mezclado y la pulgada (25 mm) superior retirada y amontonada. Este proceso se repitió hasta que todo el agregado fué tratado y dispuesto en hileras. La superficie de la subbase fué estabilizada con material aglutinante y los materiales tratados repuestos. La compactación fué llevada a cabo usando rodillos aplanadores de llantas de caucho y de ruedas de acero. La base tratada con emulsión fué estabilizada con material aglutinante y se colocó una superficie de concreto asfáltico de 4.5 pulgadas (110 mm). El rendimiento de esta base reciclada ha sido bueno (14).

Michigan ha usado una amplia variedad de estabilizadores para estabilización de espaldón en el lugar de trabajo en forma experimental. Estos estabilizadores incluyen alquitrán, asfalto rebajado, emulsiones de asfalto, y cementos de asfalto. Los estabilizadores más comunes utilizados en 1975 y 1976 fueron emulsiones de asfalto y cementos de asfalto blandos. Cuando el cemento de asfalto es utilizado como estabilizador, el asfalto caliente es regado sobre la capa de superficie de concreto asfáltico pulverizado y la base granular. De esta forma se obtiene una mezcla adecuada y se puede obtener una compactación satisfactoria.

Las principales vías de la carretera interestatal 75 fué reciclada en Michigan en el verano de 1977 (16). La vieja capa de superficie bituminosa de 4.5 pulgadas (110-mm) fué pulverizada en dos pasos. El primer corte, hecho con una máquina CMI Rotomill, pulverizó las 2.5 pulgadas (60 mm) superiores del materiales y lo colocó en un camellón a lo largo de la carretera. Un segundo corte, hecho con una trituradora de martillo Pettibone 660 Hammermill, trituró las dos pulgadas restantes (50 mm) del concreto bituminoso. Después de la trituración, el material fué dispuesto en un corte transversal liso. El material triturado fué bien nivelado y contuvo sólo unas cuantas piezas de tamaño más grande que el especificado de 2 pulgadas.

El proyecto fué iniciado utilizando asfalto con grado de penetración de 120- a 150 calentado a 335F (168C). Después de algunas dificultades de mezclado, se utilizó un asfalto de penetración 200- a 250 a una temperatura de 370F (188). El asfalto fué introducido dentro del material triturado con un estabilizador P & H de paso único. El material pulverizado no fué calentado antes de agregar el cemento asfáltico.

Inmediatamente después de mezclar el asfalto, se iniciaron las operaciones de compactación. Inicialmente, el rodillo aplanador de llantas de caucho operó directamente atrás del estabilizador P & H. Después de la compactación

inicial, la superficie de esta camada de asiento fué nivelada al perfil deseado y compactada con el rodillo vibratorio. Para completar la construcción, se aplicó enrasamiento de concreto bituminoso y capas de desgaste.

LA EXPERIENCIA DE NEVADA

Nevada ha reciclado pavimentos en el lugar de trabajo desde 1969 [ver Tabla 10 (17)]. La estabilización con cemento portland de superficies pulverizadas y capas de bases ha sido popular. Cada uno de los siguientes proyectos (ver también Tablas 10 y 11) tuvo una capa de superficie de concreto asfáltico de 2.5 pulgadas (60-mm) de espesor, excepto el Contrato 1405 que tuvo una superficie de 2 pulgadas (50-mm) de espesor. La pulverización y estabilización fué llevada a cabo a una profundidad de 8 pulgadas (200 mm). La cantidad de cemento utilizado en los varios trabajos fué:

Contrato No.	Cemento agregado (% por peso)
1332	3
1348	3
1391	3
1405	4.5
1436	3
1524	1.5

Tomando los ultimos cuatro contratos se tiene un costo de escarificado y pulverizado de aproximadamente \$0.45/yd² (\$0.54/m²). El costo total, con 8 pulgadas (200 mm) de estabilización de cemento, fluctuó entre \$1.38/yd² (\$1.65/m²) para cemento al 1.5 por ciento y \$2.24/yd² (\$2.68/m²) para cemento al 4.5 por ciento. Las investigaciones de los precios propuestos hechas por el Departamento de Carreteras de Nevada indican que en cinco de los seis contratos no se experimentaban ahorros dramáticos por pulverizar y tratar con cemento la superficie y material de base existentes. Habría sido más económico incrementar la profundidad de la capa superpuesta bituminosa. De cualquier manera, la susceptibilidad de escarcha de la sección de pavimento se redujo y los costos de mantenimiento puede que también se hayan reducido.

LA EXPERIENCIA DE TEXAS

El personal del Octavo Distrito del Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas concluyeron en octubre de 1975 un proyecto de reciclaje en el lugar de trabajo. Aproximadamente 1,500 pies (460 m) de la carretera federal 277 al sur de Abilene, Tex. fué reciclada en el lugar. La carretera consistía de una base de piedra caliza, un tratamiento de superficie de dos o tres capas, una capa superpuesta de concreto asfáltico de 2 pulgadas (50 mm), una capa sellante, otra capa superpuesta de concreto asfáltico de mezcla caliente y una capa sellante adicional. Este camino tenía una mezcla de asfalto con un espesor promedio de 4.5 pulgadas (110 mm).

Un bulldozer con un desgarrador fué utilizado para romper el pavimento asfáltico. Las carrileras del bulldozer fueron empleadas para reducir los trozos de pavimento a una dimensión máxima de 14 pulgadas (360 mm). Después del desgarramiento, el material fué reunido en camellones conteniendo

3 pies cúbicos por pie lineal (0.3 m³/m). Se agregó agua y modificador de reciclaje al camellón de material para controlar el polvo y ablandar la mezcla. Una trituradora de martillo móvil Pettibone P-500 fué empleada para pulverizar el material. La trituradora de martillo, accionada por una unidad de poder, contenía 24 martillos giratorios con un peso de 60 libras (27 kg) cada uno. La trituradora de martillo era jalada por un cucharón cargador frontal. La producción máxima para este equipo es de 200 toneladas (180 Mg) por hora aproximadamente. Se emplearon dos pasos de la trituradora para pulverizar el pavimento. Después de la pulverización, el material fué arrastrado a un lado de la carretera y se preparó el siguiente camellón de pavimento roto. Una vez que se pulverizó una vía completa, se hizo uso de un proceso convencional de estabilización de asfalto en el lugar. Para esta operación, se empleó emulsión de asfalto, reblandecida con agua con una relación de una-y-una. Una máquina Pettibone SM-750 para estabilización en el lugar fué empleada para mezclar el material reciclado y la emulsión. Esta máquina puede mezclar a una profundidad de 16 pulgadas (400 mm). En seguida de esta operación, el material estabilizado fué tendido con una cuchilla y compactado con un rodillo vibratorio autopropulsado de rueda de acero. Una capa de superficie de material de mezclado en caliente y tendido en frío fué dispuesta sobre el material reciclado para lograr una superficie lisa (18). Los costos incurridos en este proyecto se presentan en la Tabla 12.

MIDWEST ASPHALT PAVING CORPORATION (CORPORACION MIDWEST DE PAVIMENTACION CON ASFALTO)

La Midwest Asphalt Paving Corporation, operando en y cerca del área de Detroit, ha llevado a cabo trabajos de estabilización en el lugar utilizando equipo modificado de la Koehring y de la BROS (19). Los costos de la ejecución de estas operaciones varían según el espesor a ser estabilizado, el espesor de las superficies de concreto asfáltico, el tipo del material de la base, los requerimientos de control de tráfico, el tamaño del trabajo, los costos del material, los costos de mano de obra, la disponibilidad del equipo y otros factores.

Para efectos estimativos, la Midwest tuvo un costo de \$2.00/yd² (\$2.40/m²) para caminos enripiados, en 1976. Este costo incluye un tramiento de superficie de dos capas a \$0.65/yd² (\$0.78/m²) y cualquiera de las siguientes operaciones de pulverización y estabilización:

1. Pulverización y estabilización de 4 pulgadas (100-mm) con 2 gal/yd² (9L/m²) de cemento asfáltico de 200- a 250 de penetración.
2. Pulverización y estabilización de 6 pulgadas (150-mm) con 28 lb/yd² (15 kg/m²) de cal hidratada.
3. Pulverización y estabilización de 6 pulgadas con 34 lb/yd² (18 kg/m²) de cemento portland Tipo I [12,000 yd² (10 000 m²) en proyectos más grandes].

Los caminos de superficie de concreto asfáltico son más difíciles de pulverizar por lo que habría que agregar un cargo adicional al costo requerido para los caminos de grava como sigue:

1. Superficie de concreto asfáltico de 2 pulgadas (50-mm)--\$0.45/yd² (\$0.54/m²) adicionales.
2. Superficie de concreto asfáltico de 4 pulgadas (100-mm)--\$0.65/yd² (\$0.78/m²) adicionales.
3. Superficie de concreto asfáltico de 6 pulgadas (150-mm)--\$0.85/yd² (\$1.02/m²) adicionales.
4. Superficie de capa sellante múltiple--sin costo adicional.

- de la graduación requerida y el uso final del material).
- 4., Ejecutar la actividad de trituramiento primario del pavimento y base.
- 5. Nivelar y formar nuevos camellones con el material triturado para que este listo para un segundo triturado.
- 6. llevar a cabo el triturado secundario del pavimento y base.
- 7. Retirar todo el material triturado del área de trabajo por nivelación hacia camellones exteriores.
- 8. Nivelar finamente y compactar la subbase.
- 9. Nivelar el material triturado y disponerlo sobre la subbase como una capa de base estabilizada.
- 11. Aplicar un riego de liga y afirmar el camino.

Un reciente proyecto que hizo uso de la BROS Hammermill ha sido concluido en Maine. Este proyecto fué emprendido como parte del Proyecto de Demostración 39 de la Administración Federal de Carreteras (FHWA) sobre Reciclaje de Pavimento Asfáltico. El proyecto consistió en reciclar 1 milla (1.6 km) de la Interestatal 95 al sur de Bangor y 2 millas (3.2 km) de la Ruta Estatal 9 al este de Bangor. Sobre la I-95, se utilizó una trituradora de martillo portátil BROS para reconstituir 3 pulgadas (75 mm) de concreto asfáltico, 5 pulgadas (125 mm) de macadam de penetración y 4 pulgadas (100 mm) de base de piedra triturada en material de base. Esta base fué entonces tendida junto con 2.5 pulgadas (60 mm) de concreto asfáltico. Sobre la RE 9, el pavimento de 1 pulgada (25 mm) y la base de ripio de 3 pulgadas existentes fueron pulverizados, remocionados y retendidos como una base sobre un nuevo alineamiento. Una capa de 1.5 pulgadas (38-mm) de concreto asfáltico fué utilizada como capa superficial. Los proyectos de la I-95 y de una porción de la RE 9 fueron concluidos en el otoño de 1975. Para la primavera de 1976, aparentemente ninguna de las dos secciones estaba rindiendo satisfactoriamente. Aunque el análisis final aún no se ha concluido, la construcción a finales de otoño, la escarcha, la humedad y las pesadas cargas probablemente contribuyeron a la falla (22).

La Ruta Estatal fué concluida en el verano de 1976 habiéndose utilizado emulsión de asfalto para estabilizar una porción del material reciclado. Esta sección, junto con las otras secciones que han sido recubiertas, serán monitoreadas por el Departamento de Transporte de Mayne.

Los precios licitados para pulverización en este proyecto fluctuaron entre \$0.25 y \$0.40/yd²-pulgada (\$0.12 y \$0.19/m²-cm), dependiendo del espesor del material a ser pulverizado.

En 1972, Bell & Flynn, Inc. demostró que se puede lograr un ahorro del 15 por ciento en una carretera de concreto asfáltico de 2 pulgadas (50-mm) de espesor mediante triturado mezclado de la superficie y base existentes.

Los costos de las dos alternativas estan dados en la Tabla 13 (23). Los costos unitarios resultantes para las alternativas A y B fueron \$6.72/yd² (\$8.04/m²) y \$7.43/yd² (\$8.89/m²) respectivamente.

La ciudad de Lynn, Massachusetts también se encontró con que podía ahorrar cerca del 35 por ciento en costos mediante el reciclaje de la superficie asfáltica existente en lugar de usar métodos convencionales. Los costos comparativos estan dados en la Tabla 14 (24). Los costos unitarios por reciclaje y métodos convencionales fueron \$4.41/yd² (\$5.27/m²) y \$6.51/yd² (\$7.91/m²) respectivamente.

EL EQUIPO PETTIBONE

En diciembre de 1975 se utilizó equipo fabricado por Pettibone en Buena Park, California. El pavimento de 4 a 6 pulgadas de espesor (100 a 150-mm) una vez pulverizado se hizo a un lado de la carretera y el subrasante

La producción obtenida por Midwest es aproximadamente de 6,000 yd² (5 000 m²) por día. El consumo de combustible es aproximadamente 200 galones (760 L) de diesel por día o 4,500 Btu/yd² (5 700 kJ/m²). Los pavimentos reciclados según se describió, han funcionado satisfactoriamente bajo tráfico urbano. (28)

INDEPENDENT CONSTRUCTION COMPANY (COMPAÑIA INDEPENDIENTE DE CONSTRUCCION)

La Independent Construction Company de Oakland, Calif., ha utilizado una pulverizadora Metraron modelo 127 para reciclaje de pavimento en el lugar. La secuencia normal de construcción con esta pulverizadora consiste de (a) desgarramiento del pavimento con un tractor equipado con dientes desgarradores, (b) reducción de los trozos de pavimento de 24 por 9 pulgadas (600X230 mm) a 4 a 6 pulgadas (100 a 150 mm) mediante el uso de un compactador de tambor equipado con puntas cortantes (este compactador es similar a los utilizados en operaciones municipales de compactación en depósitos de basura), (c) reducción adicional de los trozos de pavimento con un cilindro de rueda segmentada, (d) pulverización del material a un tamaño máximo de 1.5 pulgadas (38-mm) con el equipo Metraron, y (e) estabilización mediante uso de equipo convencional. La pulverizadora Metraron es jalada por un bulldozer. Conforme la unidad se mueve hacia adelante, el material a ser pulverizado va entrando a la raspadora en donde es impactado por 64 cuchillas unidas a una flecha que gira a 1,250 rpm.

Uno de los trabajos documentados por la Metraron se llevó a cabo en Yolo County, Calif., en una carretera estatal secundaria diseñada para carros y camiones que transportan equipo y productos agrícolas. La superficie de concreto asfáltico varió en profundidad de 3 a 9 pulgadas (75 a 230 mm) y tenía algunas áreas severamente deterioradas. El pavimento de concreto asfáltico existente fué pulverizado de tal forma que el 90 por ciento paso un tamiz de 1.5 pulgadas (38.1-mm). El pavimento pulverizado fué mezclado con el material subrasante arcilloso y 4 por ciento por peso de cal fué agregada para crear una base cal-tratada de 10 pulgadas (250-mm) debidamente compactada. El resultante material estabilizado a cal fué tendido con 2.5 pulgadas (60 mm) de concreto asfáltico cerca de 6 meses después de la estabilización con cal (20). El costo de desgarrar, pulverizar, agregar cal, mezclar, compactar la sección de 10 pulgadas₂ y agregar 2.5 pulgadas de concreto asfáltico fué de \$5.35/yd² (\$6.40/m²).

En este mismo trabajo, si el estado hubiera proporcionado la cal y el agua y el contratista hubiera acarreado y regado estos materiales en tal caso, se habría cotizado un precio de \$2.12/yd² (\$2.54/m²). Si el estado hubiera suministrado la cal y el agua así como el transporte y regado de estos materiales, se habría cotizado un precio de \$1.77/yd² (\$2.12/m²).

BELL & FLYNN, INC.

La empresa Bell & Flynn, Inc. ha estado reciclando pavimentos asfálticos viejos en capas de bases no tratadas desde 1964 mediante el uso de la trituradora móvil de martillo BROS Traveling Hammermill. Tanto carreteras como pistas de aterrizaje han sido recicladas; las profundidades han fluctuado de 1 a 10 pulgadas (50 a 250 mm). Una secuencia típica de la construcción es la siguiente:

1. Cortar las aristas voladizas de los límites de construcción del pavimento con una sierra de diamante.
2. Escarificar y romper el pavimento existente.
3. Nivelar y formar camellones de la superficie y base del pavimento roto (la profundidad de la capa de base a ser incluida en la pulverización depende

existente fué socavado y remocionado. Una vez concluido el subrasante, el pavimento pulverizado fué utilizado como subbase para el nuevo pavimento asfáltico. Los costos de este proyecto estan dados en la Tabla 15 (25). e incluyen pulverización, nivelado, compactación y acarreo de material sobrante. Como una comparación, los costos de una operación convencional equivalente con todo el material nuevo de 4 a 6 pulgadas (100 a 150 mm) fueron como sigue:

Excavación del camino	14,500cy a \$2.85
Subbase de agregado	5,200cy a \$3.30
Costo total	\$54,485
Costo total por yd ²	<u>\$2.31</u>

La Pettibone Corporation estima que simplemente el costo de desgarrar, pulverizar, remezclar y compactar un pavimento de 4 pulgadas de grueso (100-mm) es aproximadamente \$0.54/yd² (\$0.65/m²). La Independent Construction Company estima que esta misma operación con un pavimento de 5 pulgadas (125-mm) de espesor es de \$0.67/yd² (\$0.80/m²) (21).

En 1976 fueron concluidos dos proyectos usando equipo Pettibone como parte de un programa del Proyecto de Demostración de la Administración Federal de Carreteras (AFC-FHWA). Tres millas (4.8 km) del Camino M del Condado En la Reservación India Menominee de Wisconsin fueron pulverizadas con la Pettibone P-500. El proyecto consistió de cuatro secciones de prueba de 1 milla (1.6 km) como sigue:

1. Una Sección de control compuesta de una capa superpuesta convencional de 2 pulgadas (50 mm).
2. Una sección conteniendo un químico para estabilizar el material pulverizado y cubierta con una capa superpuesta de 2 pulgadas (50 mm).
3. Una sección idéntica a la Sección 2 excepto que el químico no fué utilizado.
4. Una sección con un químico y una emulsión de asfalto para estabilizar el material pulverizado y cubierta con una capa superpuesta de 2 pulgadas (50 mm).

Tres secciones de un camino de condado en Elkhart County, Ind., han sido recicladas con un estabilizador químico. Entre 2 y 4 pulgadas (50 a 100 mm) de pavimento viejo han sido pulverizadas y estabilizadas para usarse como capa superficial. Los reportes de estos proyectos aún no estan disponibles. El programa del Proyecto de Demostración de la AFC esta monitoreando varios proyectos de 1977 de reciclaje en el lugar. Los proyectos estan situados en los estados de Washington, Texas, Kansas y Michigan.

COMPARACION DE ALTERNATIVAS

El reciclaje en el lugar de concreto asfáltico menor de 2 a 4 pulgadas ((50 a 100) en profundidad, puede llevarse a cabo sin mucho desgarramiento preliminar ni manejo de materiales. El reciclaje de concreto asfáltico mayor que 4 pulgadas en profundidad requiere desgarramiento, algún triturado preliminar y encamellonamiento previo a la pulverización.

La información obtenida de los proyectos que involucraron el equipo Pettibone o de la Independent Construction Company ha indicado que el costo de desgarrar, pulverizar, remezclar y compactar es aproximadamente \$0.15/yd²-pulgada (\$0.07/m²-cm). La Midwest Asphalt Paving Corporation ha indicado que los costos de desgarramiento; estabilización con cal, cemento o asfalto; y recompactación son del orden de \$0.30 a \$0.50/yd²-pulgada (\$0.14 a \$0.24/m²-cm). Problemas mayores de mantenimiento de equipo se han presentado en diversos proyectos.

CAPITULO CINCO

RECICLAJE EN PLANTA CENTRAL

El reciclaje de superficie y base en planta central se ha practicado durante años. El pavimento y los escombros de construcciones han sido triturados y utilizados tanto como capas de asiento estabilizadas como capas de asiento no estabilizadas en Washington, D.C., Los Angeles, Minnesota y San Francisco. Algunos de los planteamientos mostrados en la Figura 12 nunca han sido utilizados en gran escala o sólo recientemente han sido utilizados en forma experimental. Por ejemplo, el reciclaje de concreto de cemento portland al mismo concreto de cemento portland sólo ha sido investigado brevemente en el laboratorio (26,27,28,29,30,31) en los Estados Unidos y un proyecto experimental se hechó a andar en Iowa (32). El reciclaje de superficies de pavimento asfáltico a concreto asfáltico utilizando operaciones de planta central tiene una historia más reciente con la Warren Brothers en 1915 (33), pero muy poca experimentación se ha hecho desde esa fecha hasta 1974 (34).

Los procesos involucran el uso de calor adicional en plantas centrales y el cemento asfáltico como estabilizador tiene un tremendo futuro. Se puede anticipar que cerca del 10 porciento del mercado de mezcla caliente de concreto asfáltico será proveido por operaciones de reciclaje en caliente de plantas centrales en los próximos tres a cinco años (35). Así, de 30 a 35 millones de toneladas (27 a 32 Tg) serán producidas en cerca de 200 plantas. Las plantas serán plantas nuevas o plantas existentes (de las que se cuentan más de 4,700), que serán modificadas para resolver problemas de contaminación que se presentan cuando se reciclan mezclas de asfalto. El crecido interes en el reciclaje de planta central ha conducido a desarrollar nuevas técnicas para calentamiento de materiales reutilizados (Fig. 12), así como nuevos conceptos en remoción y reducción de trozos de pavimento. Dos procesos han sido utilizados para reducir los trozos de material antes de su reciclaje en planta central. El pavimento puede ser reducido de tamaño en el lugar y luego acarreado a la planta central o, el pavimento puede ser remocionado desde el lugar y luego triturado en planta central. La remoción y reducción ya sea en el lugar o sobre la marcha del nivelado pueden ser llevadas a cabo con equipo normalmente destinado al reciclaje en el lugar y de superficie; específicamente, máquinas de remoción en caliente y en frío, equipo de calentamiento-nivelado y pulverizadoras que trabajan sobre la marcha del nivelado.

La reducción en planta central puede llevarse a cabo con equipo convencional, fijo y portátil de trituración y tamizado. El pavimento es normalmente desgarrado y roto antes de su embarque al tamaño apropiado para ser recibido por el triturador primario. En algunos casos, resulta económico usar rodillos aplanadores de rejilla y otros tipos de equipo de construcción para lograr el tamaño adecuado del material en la carretera antes de su acarreo a la planta central. Las trituradoras de mandíbula y de rodillos han provado un funcionamiento satisfactorio.

TECNICAS DE RECICLAJE EN PLANTA CENTRAL

El equipo para procesar centralmente en caliente el material reciclado ya existe actualmente y para efectos prácticos puede ser separado en tres categorías generales (Fig. 12):

1. Calentamiento a flama directa.
2. Calentamiento a flama indirecta.
3. Agregado sobrecalentado.

CALENTAMIENTO A FLAMA DIRECTA

(2)

El calentamiento a flama directa típicamente se lleva a cabo en una mezcladora circular en la que todos los materiales son mezclados simultáneamente en un tambor giratorio con una flama en un extremo. La planta mezcladora circular estándar ha sido utilizada en forma experimental en trabajos realizados en Texas y Arizona. Problemas con contaminación aérea han conducido a diversas modificaciones tales como la adición de escudos para el calor, cargas divididas, etc.

El escudo de calor (Fig. 13) y aire de enfriamiento adicional son usados para reducir los gases calientes a una temperatura menor que 800 a 1200F (425 a 650C) y así reducir la formación de humo azul. Este tipo de equipo puede exitosamente reciclar mezclas de hasta cerca de 70 por ciento de concreto asfáltico reciclado. Ha sido utilizado en Arizona, Oregon, Texas y Utah. El concepto de un tambor dentro de un tambor ha sido empleado en Iowa (Fig. 14). Este proceso esta basado en un tambor de pequeño diámetro insertado en la entrada de alimentación de una unidad de mezcla circular convencional. El agregado nuevo o virgen es introducido en el tambor interior en donde es sobrecalentado a una temperatura de 300 a 500F (150 a 260C). Los materiales recuperados son introducidos al tambor exterior a través de una segunda canaleta móvil. El material recuperado y el material virgen calentado se juntan en el punto de descarga del tambor interior en donde se presenta la transferencia de calor. Este tipo de equipo puede exitosamente reciclar mezclas conteniendo hasta cerca de 50 a 60 por ciento de materiales bituminosos reciclados. Las mezcladoras circulares de carga dividida fueron primero utilizadas en 1976 (Fig. 15). El nuevo agregado es introducido por el extremo del tambor donde esta la flama en donde es sobrecalentado de 300 a 500F (150 a 260C). Aproximadamente a la mitad del tambor, el material bituminoso reciclado es introducido y calentado por los gases calientes así como por la transferencia de calor del nuevo agregado sobrecalentado. Este tipo de equipo, que ha sido utilizado en Minnesota y Oklahoma, puede exitosamente reciclar mezclas conteniendo hasta cerca de 60 a 70 por ciento de materiales bituminosos reciclados.

CALENTAMIENTO A FLAMA INDIRECTA

El calentamiento a flama indirecta ha sido llevado a cabo con mezcladoras circulares especiales equipadas con tubos intercambiadores (Fig. 16). Estos tubos, que transfieren los gases, impiden que las mezclas tengan un contacto directo con la flama y temperaturas extremadamente altas. Estas plantas pueden reciclar materiales con contenido de hasta el 100 por ciento de bituminosos. Estas plantas han sido empleadas en Nevada.

AGREGADO SOBRECALENTADO

El agregado sobrecalentado puede ser empleado para calentar material bituminoso reciclado. Como se hiciera notar anteriormente, dos de los métodos de flama directa hacen uso de este concepto para calentar parcialmente el material reciclado. Las Figuras 17, 18 y 19 ilustran métodos que emplean nuevo agregado sobrecalentado para calentar la mezcla reciclada. Las plantas estándar pueden utilizar este sistema. Las Figuras 17 y 18 muestran las diferentes posiciones en que se mezclan el nuevo agregado y la materia bituminosa reciclada. El proceso mostrado en la Figura 17 ha sido empleado en Virginia y Minnesota.

También se pueden utilizar mezcladoras circulares en tándem. El primer tambor puede ser empleado para sobrecalentar el agregado nuevo. El segundo tambor puede entonces ser usado ya sea para calentar la mezcla reciclada

(Fig. 19) o para mezclar y calentar los materiales nuevos y reciclados. (32)
Es posible utilizar gases de escape del primer secador como una fuente de calor para la segunda unidad de secado. El concepto de tambor en tándem ha sido practicado en Washington.
La técnica de reciclaje en planta central utilizando agregado sobrecalentado está limitado para cerca del 50 por ciento de materias bituminosas recicladas.

Sin Calentamiento

La versión final de reciclaje en planta central a ser tratada es sin adición de calor (Fig. 20). Se pueden obtener altas tasas de producción con este tipo de plantas utilizando cal, cemento o asfalto como aglomerante. Esta operación en frío de reciclaje en planta central puede usar hasta cerca del 100 por ciento de materias bituminosas recicladas.

Usuarios del reciclaje en planta central

Los contratistas y fabricantes de equipo que han estado activamente involucrados en el reciclaje usando operaciones de planta central están enlistados en el Apéndice A. La Figura 21 muestra algunos equipos de reciclaje en planta central. Arizona, Iowa, Minnesota, Nevada, Oregon, Texas, Utah, Virginia, Washington y Wyoming han sido los estados más activos en el reciclaje de planta central. Casi todos los trabajos realizados antes de 1978 en los que se usó calentamiento adicional tuvieron alcances limitados y pueden ser llamados más bien experimentales. La planta prototipo de la RMI Systems, con una capacidad de cerca de 85 toneladas por hora (77 Mg/h), ha sido empleada en diversos trabajos que datan desde 1974. Una versión en grande de la planta RMI Systems ha sido empleada en un trabajo sobre la Interestatal 15 cerca de Las Vegas, Nev. Esta planta tiene una capacidad de cerca de 200 toneladas por hora (180 Mg/h). Diversos trabajos experimentales y a gran escala se han llevado a cabo durante 1976, 1977 y 1978 en las temporadas de construcción para resolver ciertos problemas de equipo asociados con los "calurosos" esfuerzos del reciclaje de planta central. Estos proyectos están localizados en Arizona, California, Iowa, Minnesota, Oklahoma, Oregon, Texas, Utah, Washington y Wyoming.

Las ventajas y desventajas del reciclaje en planta central están dadas en la Tabla 2.

La siguiente exposición divide las operaciones de reciclaje de planta central en clases basadas en el tipo de material reciclado: de tratamiento de cemento, incluyendo concreto de cemento portland y, de tratamiento de asfalto, incluyendo concreto asfáltico.

RECICLAJE EN PLANTA CENTRAL DE MATERIALES TRATADOS CON CEMENTO

Wisconsin

Diversos proyectos de reciclaje han sido llevados a cabo en Wisconsin desde 1972. Tres millas (4.8 km) de la Carretera Estatal 13 en los condados de Adams y Woods fueron reciclados en 1973. La carretera consistía de 8 pulgadas (200mm) de base de tierra estabilizada con cemento y 13 pulgadas (330 mm) de material bituminoso de superficie. Aproximadamente una mitad de la sección tenía malla de alambre No. 8 (4 mm) situada directamente sobre la base de tierra estabilizada con cemento. Este camino fué escurificado a una profundidad de 24 pulgadas usando un tractor con un desgarrador de un solo diente. El pavimento, la malla de alambre, la base de tierra estabilizada con cemento y la arena subyacente escurificados fueron acarreados a un triturador y procesados para satisfacer las especificaciones para el material de base.

El material reciclado fué transportado de vuelta al camino, conformado y compactado. Sobre la base preparada (36), se tendió una superficie de concreto asfáltico de 3 pulgadas (75-mm).

Otro proyecto de reciclaje fué llevado a cabo en la Carretera Estatal 13 en el condado de Washburn y la Carretera Federal 2 en el condado de Ashland. Los pavimentos existentes consistían de ladrillo para pavimento, concreto asfáltico y concreto de cemento portland, fueron rotos por una grúa y una bola. Este material fué entonces procesado a través de un triturador para lograr la gradación especificada. El producto resultante fué utilizado como capa de asiento sobre estos caminos (36).

Michigan

Un solar de estacionamiento en Detroit ha sido pavimentado con una base bituminosa de 1.5 pulgadas (38-mm) conteniendo tanto vidrio triturado así como concreto usado, cubierta con una capa de desgaste de concreto asfáltico de 1 pulgada (25-mm). El material se compactó bien y tuvo una buena apariencia (37).

Distrito de Columbia

Dos firmas de Washington, D.C. están operando plantas trituradoras para hacer productos usables de agregado de desechos de pavimento y construcciones. Grandes losas de pavimento y concreto estructural son rotas en pequeñas porciones por un rompedor hidráulico; luego el material es alimentado a un triturador portátil. El material triturado es tamizado para obtener la gradación deseada. Este material reciclado tiene cualidades de compactación de alguna manera mejores que los usuales materiales de subbase (38).

California

Un contratista de California esta operando un triturador para convertir desechos de concreto de cemento portland y asfáltico en agregado susceptible de ser utilizado. Las pruebas de compactación llevadas sobre los desechos triturados indican que estos son superiores a muchos agregados usados en plantas (39).

Otra operación en California esta reciclando concreto de cemento portland y materiales de pavimentación de concreto asfáltico para uso como agregados en bases de concreto de cemento portland de mezcla pobre. El material sobrante es incorporado a un proceso combinado de trituración y tamizado. El acero reforzado y otros desechos son manualmente removidos y apilados. El agregado es luego combinado con cemento, agua y un aditivo "air-detraining" para formar un concreto magro con un 8 por ciento de contenido de cemento (a diferencia del 5 por ciento para la base tratada con cemento). El contenido de aire fué 3.5 por ciento y el asentamiento promedió 2.5 pulgadas (60 mm). El Departamento de Transportación de California informó que la mezcla "natural" sin el aditivo "air-detraining" tenía 13 por ciento de aire. El acomodo de este concreto magro fué logrado utilizando una máquina pavimentadora de molde corredizo Blaw-Knox. La resistencia a la compresión en siete días promedió 450 psi (3100 kPa) y el rendimiento ha sido excelente (40).

Texas

Quince millas (24 km) de la Carretera Estatal 36 en el condado de Burleson fueron reconstruidas en 1969. El camino existente era un pavimento de concreto de cemento portland ligeramente reforzado con una capa superpuesta de concreto asfáltico. El material fué roto con una bola "dolor de cabeza" y el acero reforzado cortado con soplete. Después de haber sido transportado a un

bitio central, el material fué triturado y mezclado para ser usado como (34)
capa de asiento estabilizada con asfalto y como capa superficial de concreto
asfáltico. En el triturador primario, un trabajador corta el acero reforzado.
Otros dos trabajadores remueven el acero suelto del flujo de material conforme
va saliendo del triturador secundario. Este acero fué vendido como desecho,
con lo que se cubrió parcialmente el costo de remover el acero.

En adición a los problemas causados por el acero, el monto variable de
concreto asfáltico presente en el agregado procesado, creó problemas de
contaminación de aire así como la presentación de dificultades menores
para establecer demanda de aglomerante. Los requerimientos cuantitativos
del asfalto fueron satisfechos, mediante un mejorado control de planta;
sin embargo no se resolvieron satisfactoriamente los problemas de contaminación
del aire.

Aunque no se cuenta con amplia información económica, se puede decir que
el contratista no perdió dinero por su decisión de procesar y utilizar
el pavimento viejo en la construcción nueva. Con el procesamiento adicional en
que se incurrió, los costos de operación se incrementaron. Sin embargo
estos costos fueron compensados con los ahorros logrados por no tener que
comprar ni transportar grandes volúmenes de agregado grueso de alta calidad
en el área aledaña, sin mencionar los ahorros logrados con el mantenimiento
de carreteras existentes que llevaban al lugar de la obra cuando se utilizaban
para desplazamientos. Los requerimientos de combustible para el secado
del agregado se redujeron considerablemente (41).

La Carretera Federal 54 en el Cuarto Distrito fué construida usando agregado
obtenido a partir de concreto de cemento portland. Este pavimento contenía acero
unicamente en las juntas y así fué removido y triturado con escasa dificultad.
El agregado producido a partir de esta fuente fué utilizado para afirmado
con concreto asfáltico y para cubierta de capa sellante sobre el espaldón.
Seis y medio por ciento de asfalto fué requerido con el agregado reciclado
para producir el afirmado de concreto asfáltico, que tenía una estabilidad
Hveem de 50. El rendimiento de este pavimento ha sido excelente desde su
conclusión en abril de 1972 (42).

Un segundo trabajo en el Cuarto Distrito fué finalizado en febrero de 1974
sobre 5.5 millas (8.8 km) de la Carretera Federal 60 en West Texas (43).

El proyecto se necesitó para reconstrucción de esta carretera del condado
de Hemphill. Dicha carretera tenía un pavimento de 18 pies de ancho (5.5
m) hecho de concreto con un diseño de 9-6-9 pulgadas (230-150-230 mm).

El acero reforzado en el pavimento de aristas engrosadas consistía de dos
barras de .5 pulgadas (13-mm) a lo largo de cada lado con barras de .5 pulgadas
(13-mm) por tres pies de largo (.9-m) actuando como barras de unión entre
las laterales. Se colocaron trabazones en todas las juntas transversales.
El pavimento fué fácilmente adaptable al triturado ya que una larga porción
no contenía acero. Los rompedores de pavimento fueron utilizados para fracturar
el pavimento en trozos no mayores a un pie cuadrado (0.09 m²). Dos hombres
con soplete cortaron y removieron el acero reforzado conforme un cucharón
cargador frontal removía el concreto del camino

Una planta portátil de trituración (equipada con una trituradora de mandíbula,
un triturador de rodillos y una trituradora de cono) y una planta de tamizado
fueron utilizadas para procesar el cascote. Conforme el material era acarreado
de la trituradora de mandíbula a la planta de tamizado, dos hombres recogían
las pequeñas cantidades de acero que caía de la banda transportadora. El
polvo que se formaba alrededor de la trituradora era controlado por riego
de agua.

Se mezcló cemento asfáltico al seis por ciento con el agregado de relación
baja de vacíos para la capa superficial de concreto asfáltico. La estabilidad
Hveem de esta mezcla fué 51. El agregado producido a partir de la operación
de trituración fué también utilizado como roca de capa sellante. El contratista

de este proyecto consideró que no sólo estaba recuperando un valioso recurso, sino que también estaba siendo capaz de reducir costos de transportación y de producir un producto aceptable a un costo menor.

Una sección de la Interestatal 30 al este de Greenville, Tex., ha sido construida empleando concreto de cemento portland viejo y triturado como una base granular. Un rompepavimento automático fué utilizado para romper 75,000 yd³ (63 000 m³) de concreto de cemento portland no reforzado de 10 pulgadas (250-mm) en secciones de 12 pulgadas (300-mm). Las secciones fueron cargadas junto con base de arena subyacente de 2 pulgadas (50 mm) y transportadas a un paso superior cercano. Aquí, el material fué procesado a través de una trituradora. Este concreto triturado fué regresado al camino y depositado como una primera capa de una capa de asiento. El acabado fué logrado usando métodos convencionales. El rendimiento hasta la fecha ha sido satisfactorio.

El Tercer Distrito del Departamento de Carreteras y Transporte Público de Texas ha reciclado cascote de construcción de concreto de cemento portland. En Wichita Falls se construyó una desviación para el Boulevard Kell con 300 toneladas (270 Mg) base estabilizada de asfalto compuesta de cascote de concreto triturado y arena de campo. La colocación de este material se llevó a cabo con equipo convencional sin que se experimentara dificultad alguna. Aunque esta desviación fué solamente temporal, el rendimiento que tuvo fué satisfactorio. (44).

Iowa

Aproximadamente 25,000 yd³ (21 000 m³) de pavimento fueron reciclados por el Departamento de Transportación de Iowa en el condado de Lyon en 1976 (32). La construcción original era un pavimento de concreto de cemento portland de 18 pies de ancho colocado en 1934. Este concreto contenía 558 libras de cemento por yarda cúbica (390 kg/m³). El concreto de cemento portland, para ensanchar el pavimento más viejo a 24 pies (7.3 m) en 1958, fué utilizado. La capa superpuesta de concreto asfáltico de 3 pulgadas (75-mm) fué colocada en 1963. El nuevo pavimento contenía tres diferentes mezclas. Las mezclas A y B contenían concreto de cemento portland reciclado y arena y fueron utilizadas para pavimentar secciones de 9 pulgadas (230-mm) de espesor. La mezcla C, una combinación de concreto de cemento portland triturado y concreto asfáltico, fué usada como econocreto en una sección de 11 pulgadas (280-mm) de espesor de pavimento compuesto.

El concreto asfáltico fué quitado del concreto de cemento portland y cargado en camiones con un retroexcavador. El pavimento de concreto de cemento portland fué cincelado por aire sobre centros de entre 3 y 4 pies (0.9 a 1.2-m). El cincel aéreo estaba unido a un retroexcavador montado en tractor. Después de la operación del cincelado, un retroexcavador más grande fué utilizado para levantar y cargar el concreto de cemento portland a las unidades de acarreo.

Una trituradora de mandíbula de 42 pulgadas (1.1-m) fué utilizada como trituradora primaria. La trituradora primaria redujo el concreto de cemento portland a un tamaño máximo de 5 pulgadas (125-mm). Una planta de triturado portátil secundaria redujo el material todavía más a un tamaño de 1.5 pulgadas (38-mm) máximo. Esta unidad consistía de una trituradora de mandíbula y de rodillos. Sólo se empleó una pila que resultó en algo de segregación. Los cambios en la operación de triturado incluyeron un incremento de distancia desde la boca del conducto de salida de la trituradora de mandíbula hasta la banda destinada al apilamiento.

El pavimento original tenía varilla lisa reforzada del número 5 (16-mm) en cuatro posiciones longitudinales. No se utilizó acero en el trabajo de ensanchamiento de los 2 pies por 10 pulgadas (0.6-m por 250-mm). Se

removió acero manualmente en seis puntos: (1) sobre la plataforma durante la operación de cargamento; (2) durante la operación de cargamento para triturado en el patio (una bola "dolor de cabeza" fué utilizada para reducir el tamaño de algunas losas en el patio); (3) a la entrada a la trituradora de mandíbula primaria; (4) sobre la banda transportadora después del triturado primario; (5) sobre la marcha de la banda transportadora de alimentación hacia la trituradora de rodillos; y (6) en el apilado (este fué un esfuerzo mínimo). El concreto de cemento portland fué removido del camino sin obtener subbase o subrasante. Del 75 al 80 por ciento aproximadamente de concreto de cemento portland fué recuperado. La empresa L. G. Everist, Inc. llevó a cabo la operación de remoción y triturado junto con I. F. Jensen Company responsable de la operación de pavimentado.

La operación de pavimentado fué estándar excepto por dos mezcladora-pavimentadores de molde corredizo que fueron utilizadas en la sección de econocreto. La primera máquina pavimentadora colocó la primera colada de 7 pulgadas (180-mm) de econocreto, y la segunda máquina colocó la capa de desgaste de 4 pulgadas (100-mm) (Fig. 22). El econocreto contenía concreto de cemento portland y concreto asfáltico. La capa de desgaste contenía sólo concreto de cemento portland reciclado. Ambas máquinas pavimentadoras podían ser cargadas desde los lados.

Se notaron algunos problemas con el grado de admisión de la compuerta durante la admisión y el cargado del agregado. También ocurrió puenteado en las compuertas y salieron a relucir granulados excesivos en otras ocasiones. Existían en esta mezcla más granulados que en muchas de las mezclas de concreto de cemento portland. Se empleó un aditivo de reducción de agua para ayudar a dispersar los granulados. También se notó un alto contenido de aire en algunas mezclas. La mezcla es dura y más difícil de manejar que algunas mezclas de concreto. Se utilizó equipo REX.

Se empleó el control normal de construcción de concreto. Se llevaron a cabo pruebas de resistencia flexional y a la compresión y de derretimiento de helada; las de resistencia al patinaje y medidas de asperezas se llevarán a cabo a intervalos establecidos.

El estado de Iowa ha pasado por alto la fase de explanación de los proyectos de reconstrucción en los que el concreto viejo de cemento portland será removido y triturado para agregado en el nuevo camino. Este proyecto, que está localizado en la parte suroccidental de Iowa sobre la Carretera 2, tiene aproximadamente 15 millas (24 km) de largo y será concluído en 1978. Un segundo proyecto ha sido concluído recientemente en la Carretera Interestatal 680 al norte de Council Bluffs, en donde el concreto de cemento portland fué triturado y utilizado como material de subbase en espaldones de concreto de cemento portland (45).

RECICLAJE EN PLANTA CENTRAL DE MATERIALES TRATADOS CON ASFALTO

Iowa

Proyecto de 1975

Una sección de 0.90 millas (1.4 km) en un camino del Condado Kossuth en Iowa fué reciclado en abril de 1975. Este pavimento consistía de aproximadamente 4 pulgadas (100 mm) de concreto asfáltico sobre una base de grava-arcilla. Un nivelador fué utilizado para escarificar el pavimento. Los trozos de pavimento fueron rotos más adelante por un tractor equipado por ruedas de compactador. Este material fué transportado al sitio de la planta en donde fué triturado a un tamaño máximo de 2 pulgadas (50mm) (46). Después de que el pavimento había sido removido el material de base grava-arcilla fué escarificado a una profundidad de 4 pulgadas (100 mm) sobre la mitad de lo ancho del camino. Este material encamellonado, movido y apilado

encima de la otra mitad de la base grava-arcilla no escarificada. Un nivelador ⁽³⁾ fue luego utilizado para rebajar la mitad excavada del camino un pie (0.3 m) uniformemente y para colocar el material excavado sobre los contrataludes. El material fue compactado utilizando aplanadoras de pie de cabra. Este proceso fue repetido sobre la otra mitad del camino, resultando en 1,500 toneladas por milla (850 mg/km) de base grava-arcilla recuperada. El material recuperado fue retendido, compactado y utilizado como material de subbase.

Después de que el material de base grava-arcilla estuvo colocado, el pavimento triturado fue reciclado. El mezclado fue llevado a cabo mediante el uso de un mezclador circular de 10 por 30 pies (3 x 9 m) con un lavado húmedo de baja eficiencia. Este mezclador tenía una línea de asfalto dentro del tambor e introdujo 3.5 % de asfalto por peso en una mezcla de pavimento reciclado al 70 % y piedra caliza nueva al 30 %. (el pavimento contenía el 3.7 % de asfalto residual). Para reducir el humo resultante se agregó humedad al 3 % en el material de pavimento entrante. La producción se mantuvo en el rango de 275 a 300 toneladas por hora (250 a 270 Mg/h) con una temperatura de mezcla de 225 F (110 C).

Proyecto de 1976

Tres segmentos de camino fueron reciclados por el Condado Kossuth en 1976 (47). El primer camino es de 9.5 millas de largo e incluye 44,838 toneladas (40 700 Mg) de material reciclado. El Departamento de Transportación de Iowa y la División de Proyectos de Demostración de la FHWA participaron en este proyecto. Otros dos proyectos de reconstrucción consolidados localmente, que totalizaron 5.8 millas en longitud (9.4 km) e involucraron 25,742 toneladas (23,300 Mg) de revestimiento reciclado, iban a ser contratados al mismo tiempo. Un proyecto local de 7 millas (11 km) de revestimiento secundario requerirá 11,456 toneladas (10 400 Mg) de mezclas.

Se llevaron a cabo pruebas preliminares con el concreto asfáltico triturado en el Laboratorio Central del Departamento de Transportación de Iowa en la ciudad de Ames. Cuatro combinaciones de materiales fueron probados. Para efectos de evaluación se utilizó la secuencia de la prueba Marshall. Las mezclas de laboratorio evaluadas incluyeron :

1. Concreto asfáltico al 100 %.
2. Concreto asfáltico reciclado al 80 % - arena y grava al 20 %.
3. Concreto asfáltico reciclado al 67 % - arena y grava al 33 %.
4. Concreto asfáltico reciclado al 50 % - arena y grava al 50 %.

Se agregó un cemento de asfalto de 120 a 150 de penetración en varios porcentajes a las mezclas asfálticas recicladas de concreto-grava. No se empleó agente...: reblandecedor alguno ni otro tipo de aditivo. El contenido promedio de asfalto del viejo concreto asfáltico reciclado fue 5.4 por ciento por peso.

Tres contratistas presupuestaron los trabajos del Condado Kossuth. Everds Brothers, Inc. de Algona, Iowa dió la cotización más baja. La reconstrucción incluía la reducción del nivel, el ensanchamiento del pavimento de 20 a 24 pies (6.1 a 7.3 m) incluyendo espaldones y el allanamiento de los talúdes laterales. El reciclaje permitió rebajar la altura del nivelado y el reutilizamiento del material de pavimentación. Una capa superpuesta y un trabajo de ensanchamiento con los talúdes laterales escarpados existentes hubieran requerido la transportación de cantidades substanciales de material.

Dos dientes de desgarrador fueron utilizados detrás de un bulldozer para romper el pavimento antes del cargamento con un cucharón cargador frontal a las unidades de arrastre. Se formó una pila de este material en preparación para su triturado. Se utilizó una trituradora de mandíbula primaria. Una trituradora de rodillo secundaria en una planta de tamizado fue empleada

para contribuir a la preparación del material. Se obtuvieron partículas de un tamaño máximo de 2 pulgadas (50 mm).

En la planta central, se agregó nuevo cemento de asfalto al 4 por ciento al concreto asfáltico reciclado al 67 por ciento y la grava al 33 por ciento. La planta ha sido operada con hasta el 50 por ciento de material nuevo en la mezcla. La planta esoperada en un rango de 270-275 F (132-135 C). La producción promedio fué de 210 a 215 toneladas por hora (190-195 Mg/h). Se han hecho esfuerzos con el material de tamaño normal que sale de la trituradora. Este material es de un tamaño máximo aproximado de 5 pulgadas (125 mm). Se encontró con menos problemas de contaminación durante la realización de estos esfuerzos.

El sistema de control de contaminación incluye un deflector y un sistema húmedo. Alguna acumulación progresiva ha sido notada en el trabajo del conducto. Existe equipo disponible en el área de trabajo para monitorear los problemas de contaminación.

Se probó una variedad de cambios en la planta. Estas alteraciones, casi todas ayudaron a la reducción de problemas de contaminación de aire, incluyen : (1) mover el quemador lejos de la quemadora circular ; (2) colocar las gargantas de aire en la gualdera entre el quemador y el tambor ; (3) incrementar cinco veces más la cantidad de aire introducida en el quemador ; (4) reducir el talud del tambor a dos grados ; (5) mover el deflector de calor de la mitad del camino en el tambor (posición estándar en la planta BARBER GREENE) a una posición cercana al extremo de entrada del tambor ; (6) adicionar flama y deflectores de calor en el extremo de la gualdera del quemador y (7) introducir asfalto en el tambor mediante un tubo dispuesto en el extremo de salida (el asfalto es normalmente introducido a mitad de camino del tambor).

Los costos de reconstrucción de pavimento utilizando el sistema de reciclaje serán de \$ 62 100 por milla (\$ 38 600 /km) según cálculos, cuando los de técnicas normales de reconstrucción serían \$ 72 500 por milla (\$ 45 100 /km).

Proyecto de 1977

La Rohlin Construction Co. recicló 43 000 toneladas (39 000 Mg) de asfalto de mezcla caliente utilizando una planta de mezcladora circular modificada Cedarapids en 1977 (48, 49). La modificación desarrollada por la Iowa Manufacturing Company es referida como el proceso "tambor dentro de un tambor" FIG. 14.

Se logró una tasa de producción de 300 toneladas por hora (270 Mg/h) utilizando agregado virgen conteniendo humedad al 8 por ciento y pavimento asfáltico recuperado y triturado conteniendo humedad al 4.5 por ciento mezclado en una relación 50-50. La mezcla reciclada fué descargada de la mezcladora circular a una temperatura de 260 a 270 F (127-132 C). Las tasas de producción más altas fueron logradas con una mezcla de 65-35 (reciclado al nuevo agregado) al tiempo que se mantenía el cumplimiento de las regulaciones referentes a la contaminación del aire. La descarga de partículas en montón fué controlada por una unidad de depuración húmeda.

Con esta mezcla combinada de 50-50, se utilizó cemento nuevo de asfalto de 200 a 300 grados de penetración al cinco y medio por ciento. El diseño de la mezcla fué desarrollado por el método Marshall, el que indicó un contenido de asfalto óptimo total de 9 por ciento por peso de la mezcla. Los parámetros de diseño fueron : estabilidad Marshal 1863 lb. ; flujo Marshal, 8 (0.01) pulgadas ; huecos en el agregado mineral 23 por ciento ; huecos llenados con asfalto, 75 por ciento ; y huecos de aire, 6.5 por ciento.

Proyecto de 1975

En octubre de 1975, el Departamento de Transportación de Utah concluyó un Proyecto Experimental de Reciclaje cerca de Cove Fort. Este proyecto involucró el reciclaje de aproximadamente 450 toneladas (400 Mg) de material de pavimento removido de la Interestatal 15 cerca de Anderson Junction. El pavimento consistió de 0.75 pulgadas (19 mm) de sello de mezclado en planta conteniendo cemento de asfalto al 6.6 por ciento y 1.5 pulgadas (38 mm) de capa de desgaste conteniendo cemento de asfalto al 4.4 por ciento. Este material fué escarificado y transportado a la planta cercana a Cove Fort. El material fué rebajado más adelante con las carrileras de un bulldozer y procesado a través de una mezcladora circular en donde se agregó un agente modificador de reciclaje. Se emplearon dos diferentes porcentajes de agente modificador : 1.3 por ciento y 1.0 por ciento por peso de mezcla. Se agregó agua aproximadamente al 3 por ciento. La mezcla resultante fué tendida con equipo convencional para formar una conexión temporal entre la Interestatal 70 y la Carretera de Utah 4 cerca de Cove Fort (50). (39)

Proyecto de 1977

Una sección de 8.7 millas (8 km) de la Carretera Federal 50 cerca de Holden, Utah, fué reciclada en 1977 por Peter Kiewit Sons utilizando una planta de mezclado circular modificada Boeing (51) (FIG.13). El contratista removió el material viejo del camino mediante desgarramiento con un bulldozer y encamellonamiento. El material fué transportado al sitio de la planta, triturado con una trituradora de rodillo y apilado. Una considerable porción del material subyacente al concreto asfáltico fué removida, requiriendo algunos ajustes en el diseño de la mezcla. El manejo del material después del reciclaje fué llevado a cabo en forma convencional. Sin embargo, para temperaturas iguales de mezcla, se observó que el material reciclado era más duro de "trabajar" que una mezcla convencional. El material de reciclaje aparentó tener una mayor resistencia al cizallamiento y al desgaste. La mezcladora circular utilizada en este trabajo tenía una capacidad de 600 toneladas por hora (540 Mg/h) para mezclado convencional. Las tasas de producción de entre 275 y 375 toneladas por hora (250 y 340 Mg/h) fueron comunes durante el proyecto. Las alteraciones en la planta incluyeron la adición de un escudo de calor de la Boeing y una bomba de desplazamiento positivo en reemplazo de la bomba de flujo tipo medidor para controlar las cantidades de modificador.

Un cemento de asfalto AC-10 y un modificador fueron agregados a las mezclas recicladas. Las mezclas colocadas incluyeron material reciclado al 100 por ciento, agregado reciclado al 85 por ciento y nuevo al 15 por ciento, y agregado reciclado al 77 por ciento y nuevo al 23 por ciento.

Los objetivos de reducción de contaminación del aire de operar en el rango de 20 por ciento de capacidad con 0.04 granos de partículas por pie cúbico seco no fueron logrados consistenentemente. Las partículas fueron probadas en un rango entre 0.10 y 0.12 y no hubo cambios significativos durante el proyecto experimental.

El descenso de las temperaturas de salida de la mezcla entre 190 y 200 F (88 y 93 C) reduciría la capacidad a 20 por ciento o menos. Sin embargo, este material fué inadecuado para su colocación y compactación en el camino.

Indiana

Warren Brthers, una compañía contratista especializada en producción de concreto asfáltico y construcción de caminos, ha desarrollado un proyecto de reciclaje

en Indiana. Una mezcladora circular fué utilizada para producir un material reciclado a partir de pavimento asfáltico viejo y agregado grueso. Se agregó emulsión al uno y medio por ciento. La contaminación de aire pareció ser el problema más grande. Warren Brothers considera que el objetivo principal es utilizar las plantas existentes con el mínimo de modificaciones. Ellos han construido un modelo a escala de laboratorio de un secador convencional. Resultados de pruebas de laboratorio empleando el modelo indican que el reciclaje es posible con secadores convencionales siempre y cuando se pueda mantener un control de la temperatura (33).

Nevada

Las Vegas Paving Incorporated, que desarrolló la planta RMI Thermo-matic y el Método a Fuego Directo de Carga Dividida (Split-Feed Direct-Fired Method), ha estado activa en el reciclaje de pavimento viejo de concreto asfáltico en el Aeropuerto Internacional McCarren de Las Vegas, en la Carretera Interestatal 10 cerca de Sloan, en Henderson, y generalmente en el área de Las Vegas. La planta Thermo-matic (FIG. 21, parte inferior) se asemeja a la mezcladora circular convencional pero con una importante excepción. El contacto directo entre la flama del quemador y gases de combustión por un lado, y el concreto asfáltico viejo por el otro, no está permitido. Este diseño produce un efluente libre de humos y gases que satisface los estándares de calidad del aire.

Esta operación hace uso de modificadores de reciclaje en cantidades de entre 0.25 a 0.75 por ciento por peso de mezcla para reblandecer el asfalto viejo. Los resultados indican que la calidad de la mezcla caliente reciclada es idéntica a la de las mezclas de asfalto de materiales vírgenes (52).

En 1976, se concluyó un proyecto que utilizó principalmente el sistema Thermo-matic, sobre la Carretera Interestatal 15 cercana a Las Vegas. El proceso de reciclaje consistió en desgarramiento de pavimento, remoción de pavimento mediante el uso de un excavador roto-rotario, triturado con trituradoras primarias de mandíbula y rodillos, calentamiento, adición de un agente reblandecedor de asfalto mezclado, tendido y compactación. Cada fase de la operación (remoción de pavimento, triturado, mezclado y tendido) fué programada para producir a la tasa de cerca de 200 toneladas por hora (180 Mg/h).

Las comparaciones de costos de concreto asfáltico convencional y reciclado ha sido preparado por Mendenhall (53). El costo de concreto asfáltico en la planta es \$ 12.15 por tonelada (\$ 13.39 /Mg) para mezcla convencional, comparado a \$ 7.96 por tonelada (\$ 8.77 /Mg) para mezcla reciclada. Un ahorro de \$ 4.00 por tonelada (\$ 4.40 /Mg) puede ser logrado (FIG. 23).

Esta forma de reciclaje ofrece no solamente la ventaja del costo sino también un ahorro en energía y recursos naturales. La utilización de energía de la operación de reciclaje puede ser sólo el 40 por ciento de la consumida en una operación convencional de construcción de concreto asfáltico (52).

Virginia

La Warren Brothers ha desarrollado un proyecto experimental de reciclaje involucrando cerca de 7 000 toneladas (6 400 Mg) de mezcla caliente reciclada sobre la Carretera Federal 1 cerca de Richmond, Va. (54,55).

El pavimento asfáltico viejo, con un espesor aproximado de 4 a 6 pulgadas (100 a 150 mm), fué removido con tres diferentes técnicas. Dos máquinas Pettibone fueron utilizadas en una parte del proyecto para pulverizar el pavimento en el lugar. En otra parte, una Galion RP-30 fué utilizada para remover el material. Otras secciones de pavimento fueron procesadas mediante desgarramiento y remoción del camino seguidas por triturado en una planta central.

Considerando la condición de tráfico de este proyecto, el triturado en planta central puede ser la operación preferida de los tres métodos usados. Una planta de dosificado convencional Warren Brothers de 120 toneladas por hora (110 Mg/h) construida en 1925 fué empleada para calentamiento y mezclado. Esta planta tenía varias modificaciones: (1) el quemador estaba movido hacia atrás 1 pie (0.03 m) y se había introducido aire adicional; (2) se removieron cerca de 3 pies (0.9 m) de espas del extremo del tambor en donde esta el fuego; (3) una cama de arena fluidificada, desarrollada por M.I.T. fué empleada en forma muy limitada para efectos de control de contaminación del aire; y (4) los tamizes en caliente fueron removidos. La mezcla resultante, conteniendo cemento adicional de asfalto AC-10 al 1.3 por ciento, ha sido tendido en una parte del proyecto. Sobre la marcha se encontraron problemas de contaminación del aire y obstrucción del trabajo de los ductos que contribuyeron al material bituminoso de punto de reblandecimiento bajo utilizado en una de las capas de concreto asfáltico reciclado. La cama de arena fluidificada fué muy exitosa al remover todo el humo azul del sistema de escape. Las tasas de producción del 60 por ciento aproximado de la capacidad instalada fué lograda en el proyecto. Proyectos de reciclaje de la Warren Brothers a pequeña escala han sido desarrollados en Farmington, N.H. ; Greenborough, N.C. ; y Richmond, Va.. En estos proyectos se observó un poco de acumulación progresiva de granulados.

Texas

Proyecto de 1974

A principios de 1974, el Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas decidió usar una porción del concreto asfáltico removido de la Carretera Federal 83 en McAllen y reciclarlo como un proyecto experimental. El concreto asfáltico fué removido en la forma convencional, empleando una bola "dolor de cabeza", desgarradores y cucharones cargador frontal. Fué transportado al sitio de la planta del contratista (en donde también se localizaba su fuente de agregado en bruto) y procesado a través de una trituradora primaria a un tamaño máximo de 2.5 a 3.0 pulgadas (60 a 75 mm). el material fué luego llevado directamente a la planta secadora de tambor. Un preeliminar y superficial análisis de laboratorio indicó que de 1 a 1.5 por ciento de asfalto adicional (AC-20) sería probablemente suficiente, pero también arrojó que se requería cerca del 2 por ciento (AC-20) para obtener las características de mezcla deseadas. El material proveniente de la planta tenía la apariencia de una mezcla normal y su viabilidad era muy similar. Este material fué transportado a un llano a la orilla de la Carretera Federal 281 en el Condado North Hidalgo y colocado cerca de la mezcla convencional de superficie. Desafortunadamente, el total de tráfico en este pavimento será más bien bajo ; en consecuencia, tendrá que pasar algún tiempo antes de que se pueda conocer su rendimiento bajo el tráfico. La contaminación del aire no significó un problema en este proyecto (44).

Proyecto de 1975

En la primavera de 1975, una sección de 1.4 millas (2.3 km) de la Carretera Federal 84 , fué reciclada en forma experimental por el Octavo Distrito del Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas (56). Esta sección consistía de una superficie de concreto asfáltico de mezcla caliente sobre una base flexible. Después de que el material fué escurificado se emplearon dos métodos para el triturado del cascote. Con el primer método, el material fué transportado a una trituradora primaria y procesado. Una planta amasadora convencional fué empleada para reciclar este material.

(42)

La adición de asfalto de $\frac{1}{2}$ a 1 por ciento por peso al pavimento reciclado produjo un material con una buena consistencia.

El segundo método de triturado empleó triturado en el lugar usando una aplanadora de rejilla tirada por tractor. Este proceso permitió al contratista introducir humedad en el material para obtener un contenido de humedad más uniforme que auxilió al mezclado y mejoró la calidad del aire. Un tamiz de 2.5 pulgadas (63 mm) fue colocado sobre el viejo transportador de carga fría para remover los trozos de pavimento de gran tamaño antes de su procesamiento en la mezcladora circular.

Cinco combinaciones de material nuevo y reciclado fueron probadas. La primera prueba consistió de nuevo material de base al 20 por ciento y pavimento reciclado al 80 por ciento con la adición de 5 por ciento por peso de emulsión de asfalto. Esta mezcla se tendió bien y tuvo todas las apariencias de una mezcla exitosa. La segunda prueba consistió de nuevo material de base al 50 por ciento, pavimento reciclado al 50 por ciento y emulsión de asfalto al 5 por ciento por peso. Esta mezcla fue colocada en el camino sin dificultad. La tercera prueba consistió de nuevo material de base al 60 por ciento, pavimento reciclado al 40 por ciento y asfalto AC-10 al 6 por ciento por peso. Esta mezcla produjo polvo en exceso, que requirió la adición de agua. La colocación de esta mezcla fue lograda con poca dificultad. La cuarta mezcla consistió de nuevo material de base al 70 por ciento, pavimento reciclado al 30 por ciento y asfalto AC-10 al 7 por ciento por peso. Esta mezcla produjo una gran cantidad de humo pero fue colocada con un mínimo de dificultad. La prueba final se compuso de pavimento reciclado al 100 por ciento y asfalto AC-10 al 4 por ciento por peso. Esta mezcla no tuvo una buena consistencia y su colocación fue difícil.

El mayor problema encontrado en esta operación experimental fue la contaminación del aire. La planta amasadora estaba equipada con una casilla de bolsa. Esta, sin embargo no pudo evitar el "humo azul" producido por la exposición del viejo pavimento rico en asfalto a la flama directa. La mezcladora circular estaba equipada con un baño de agua. Este tampoco fue capaz de remover el humo de la chimenea de escape. Se mantuvieron temperaturas tan bajas como 200 F (90 C) en un esfuerzo para reducir este humo (56).

Proyecto de 1976

En 1976, una mezcladora circular manufacturada y modificada por Boeing fue utilizada para reciclar concreto asfáltico para cubrir 1.5 millas (2.4 km) de un camino secundario cercano a Mission, Tx. (57) (FIG. 13). Las modificaciones incluyeron una rejilla de cerámica, mover la flama a distancia del tambor y regar agua sobre el concreto asfáltico triturado. Cemento de asfalto (AC-3), o aceite fluidificante y un modificador de reciclado fueron agregados al concreto asfáltico reciclado para producir estas mezclas. Desde los puntos de vista de propiedad de la mezcla y emisión, la prueba más exitosa pareció ser la de la mezcla producida con cemento de asfalto de 2 a 2.5 por ciento. Esta mezcla fue producida a una tasa de 100 a 150 toneladas por hora (90 a 140 Mg/h) a una temperatura aceptable y con emisiones aceptables. Las mezclas hechas con aceite fluidificante y el modificador tuvieron emisiones excesivas. Las porciones de mezcla reciclada compactada hecha con aceite fluidificante tuvo desmoronamiento de bordes al poco tiempo de la apertura al tráfico. El aceite fluidificante y el modificador fueron utilizados como agentes reblandecedores.

Proyecto de 1977

En 1977, una planta mezcladora circular fabricada y modificada por Boeing fué empleada para reciclar concreto asfáltico en la Carretera Interestatal 20 en el Octavo Distrito del Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas (Fig. 13). Las modificaciones a la planta incluyeron un escudo de calor y la introducción del agregado en la parte oculta del tambor. El triturado del viejo concreto asfáltico fué llevado a cabo en el sitio de la planta. Algunas de las capas de asiento existentes fueron utilizadas en la mezcla reciclada con nuevo agregado adicional. Agua agregada a las pilas antes del reciclaje constituyó una ayuda para la opacidad del control.

La mezcla reciclada fué usada como una capa de asiento y no contuvo modificador excepto por una pequeña sección experimental. El diseño de la mezcla estuvo basado en el estabilómetro Hveem y el método de diseño asiento-negro de Texas.

Experimentos adicionales en pequeña escala han sido conducidos por Boeing en North Dakota y Arizona. El propósito de estas pruebas fué mejorar las emisiones y probar la durabilidad de los materiales de parilla. A continuación se expone el proyecto de Arizona.

Arizona

Arizona recicló 25,200 toneladas (22 900 Mg) de concreto asfáltico en 1976. El material reciclado fué utilizado para cubrir 5.4 millas (8.7 km) de la Carretera 666 de la Interestatal 10 al norte de la línea del Condado Graham.

El equipo empleado en la operación de recuperación incluyó una niveladora de 180 gallos de fuerza (134-kW) con cuchilla y desgarrador, un cargador de 6 yd³ (4.6 m³), cuatro camiones de 19 yd³ (14.5 m³) y un bulldozer de 385 caballos de fuerza (287 kW). La niveladora desgarró la capa de concreto asfáltico de 3 a 5 pulgadas (75 a 125 mm) y arrastró con la cuchilla el material a un semi-camión, el cargador removió el material del camino y lo colocó en los camiones, y el bulldozer empujó el material a una pila después de que fué volteado. El concreto asfáltico recuperado fué triturado por cuadrillas de mantenimiento del estado utilizando una trituradora de rodillos Pioneer modelo 358S.

En agosto de 1976, 100 yd³ (76 m³) de concreto asfáltico triturado fueron corridas a través de una mezcladora circular modificada para propósitos de pruebas. Estas pruebas quedaron inconclusas; de cualquier manera, los trabajos a escala total fueron iniciados en marzo de 1977 por la D. C. Speer Construction Company.

Una mezcladora circular Boeing con varias modificaciones fué empleada (Fig. 13). Un "Pyro-Cone" de una aleación especial de acero de 6 pies (1.8 m) de diámetro fué una de las modificaciones a la planta, junto con una correa transportadora de alimentación por debajo de alta velocidad para "arrojar" el material frío de alimentación al tambor a 3 pies (0.9 m) aproximadamente del quemador. Se hicieron modificaciones durante el proyecto. La producción y las temperaturas de mezcla de salida que produjeron la calidad de aire aceptable (opacidad al 40%) fueron como sigue:

Temperatura de mezcla, F (C)	Producción, Toneladas/hr (Mg/h)
235 (113)	245 (222)
225 (107)	280 (254)
205 (96)	325 (295)

(50)(Fig.15). El contrato requirió la remoción de 2 pulgadas (50 mm) del concreto asfáltico existente y 2 pulgadas (50 mm) de base de agregado no tratado.

La remoción de pavimento fué lograda desgarrando la junta entre el pavimento y el espaldón y desgarrando el espaldón hasta el centro empleando una niveladora de camino. La mezcla caliente existente fué entonces fácilmente levantada por un cucharón cargador frontal. La base de agregado no tratado fué levantada con una devastadora de subrasante, la que también estableció la plataforma de colocación de 4 pulgadas (100 mm) de concreto asfáltico reciclado.

El pavimento asfáltico recuperado fué triturado con una giresfera y apilado posteriormente. La capa de asiento recuperada fué introducida a la mezcladora circular en forma convencional mientras que el concreto asfáltico reciclado fué alimentado al tambor de 10 X 40 pies (3 X 12 m) desde el extremo de descarga de mezcla con un transportador de 18 pulgadas (460 mm). Aproximadamente 45,000 toneladas (41 000 Mg) de mezcla fueron producidas con esta mezcla 50-50 de base no tratada y concreto asfáltico recuperados.

La mezcla de reciclaje fué descargada del tambor a una temperatura de 250 a 270 F (121 a 132 C) a una tasa de producción promedio de 300 toneladas por hora (270 Mg/h). La opacidad de chimenea fué, en muchos de los casos, menor al 10 por ciento. No se hicieron pruebas sobre las emisiones de partículas de chimenea. La pavimentación fué llevada a cabo en forma convencional.

Proyectos futuros

Diversos proyectos de reciclaje de mezcla caliente están programados o han sido recientemente construidos en Arizona, California, Iowa, Minnesota, Nevada, Oregon, Texas, Utah y Washington (61). Equipo Boeing, Iowa Manufacturing, Barber-Greene y CMI ha sido utilizado en estos proyectos. Los resultados de estos proyectos no estaban disponibles para incluirlos en esta síntesis.

MODIFICADORES DE RECICLAJE

Como se expuso anteriormente, los modificadores de reciclaje han sido modificados en varios proyectos. Estos modificadores son normalmente aceites aromáticos que reblandecen el cemento de asfalto viejo. Los proveedores comerciales son : Koppers Company, Pax International, Shell Oil Company, y Witco Chemical Company. Otras compañías que fabrican modificadores son : Arizona Refining Company, Ashland Petroleum Company, Chevron, Lion Oil Company, Mobil Oil Company, y Phillips Petroleum Company. Las direcciones de estas compañías y otras están dadas en el Apéndice B.

EXITOSO RECICLAJE DE PLANTA CENTRAL EN CALIENTE

La unidad Thermo-matic RMI y el sistema utilizado en Maplewood, Minn., pueden reciclar exitosamente concreto asfáltico en un proceso en caliente sin emisiones significantes. Las alteraciones de planta actualmente propuestas para las plantas de mezclado circular han resuelto en su mayor parte los problemas de emisiones siempre y cuando (a) se utilice nuevo agregado de 30 al 50 por ciento en la mezcla reciclada, (b) se agraga agua al material reciclado, (c) las tasas de producción se reduzcan y (d) se controlen las temperaturas de salida de mezcla. Estas mejoras han sido hechas principalmente por Barber-Greene, Boeing, CMI, Iowa Manufacturing y Mendenhall.

El equipo de control de contaminación (cma de arena fluidificada) desarrollada en el Instituto de Tecnología de Massachusetts ofrece un sistema en forma de prototipo para controlar las emisiones originadas por las operaciones de reciclaje. Este sistema ha sido empleado en forma de prueba por la Warren

Brothers.

Debido a que casi todos los proyectos han sido de naturaleza experimental y de corta duración, es difícil determinar la información de costos y consumo de energía. Un ahorro en costo del orden de \$4.00 por tonelada (\$4.40/Mg) y un ahorro de energía del 20 al 30 por ciento es factible en el reciclaje de planta central en caliente de concreto asfáltico.

OTRAS DOS CATEGORIZACIONES

Material y Producto

La clasificación de procedimientos de reciclaje basada en el tipo de material a ser reciclado y el producto final a obtenerse han sido tomados como referencia para sumarizar los esfuerzos de reciclaje de pavimentos (62). La Tabla 16 indica un posible método para clasificar operaciones de reciclaje utilizando este concepto. Usando este planteamiento, se llevó a cabo una reunión de trabajo de la Junta de Investigación de Transporte sobre "La Optimización del Uso de Materiales y Energía en Construcción de Carreteras" en noviembre de 1975 que indicó: (a) el grado y uso de los distintos métodos, (b) si el método de reciclaje era implementable, (c) la energía requerida, en forma relativa, y (d) el costo relativo de la operación (Tabla 16) (62). En base a esta tabla, es evidente que los procedimientos de reciclaje más comúnmente empleados son los siguientes:

1. Reciclaje de superficie utilizando calentadores-escarificadores.
2. Reciclaje en el lugar de trabajo involucrando bases inestabilizadas.
3. Reciclaje en el lugar de trabajo incluyendo el uso de cal, cemento o asfalto como un estabilizador.
4. Operaciones de planta central involucrando el reprocesamiento de concreto de cemento portland y concreto asfáltico para mezclas de concreto asfáltico.

Beneficio Estructural del Pavimento

La clasificación en base al beneficio estructural del pavimento es una tercera posibilidad para estructurar los planteamientos y métodos de reciclaje de pavimento. Tal clasificación se muestra en la Figura 24. Los beneficios de esta agrupación incluyen la simplificación de los procesos de reciclaje para proveer pautas para los requerimientos de costo, vida y energía para las varias alternativas de reciclaje.

CAPITULO SEIS

RECICLAJE DE OTROS MATERIALES

OTROS MATERIALES DE CARRETERA

Cantidades significativas de guardacamino y señalizaciones han sido reciclados por los departamentos estatales de carreteras (Tabla 1). Algunas atarjeas han sido reutilizadas y una limitada cantidad de aceite lubricante para motores ha sido reciclada. Muchos estados venden aceite de motor usado a empresas privadas para reciclaje o reventa como combustible. El aceite de motor usado ha sido empleado como combustible en plantas de colado de asfalto de mezcla caliente en Texas y Kansas. Varios estados han recomendado --- la reutilización de los postes de señales y postes delineadores. Los diversos artículos reciclados por los estados estan dados en la Tabla 17.

(16)

De los artículos anteriormente descritos, el reciclaje de guardacaminos y señalizaciones ofrece la ventaja económica mayor. La maquinaria para enderezar guardacaminos existe disponible comercialmente y ha sido utilizada en Massachusetts, Maine y Texas, entre otros estados (63, 64). Estas máquinas montadas en trailers pueden ser trasladadas de un punto a otro y pueden generar ahorros de \$2,000 a \$4,000 al día (63).

La operación de una rectificadora de guardacaminos y postes delineadores montada en trailer en el Segundo Distrito (Fort Worth) del Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas ha logrado la reutilización del 80 por ciento de todos los guardacaminos dañados. El costo de la operación de reciclaje varía de \$1.75 a \$2.00 por cada 12',6" (3.8 mm) de longitud del guardacamino. Los costos del reciclaje de postes delineadores es de \$1.60 cada uno aproximadamente. Casi todos los guardacaminos de palastro de acero y los postes delineadores utilizados en el Distrito de Fort Worth son galvanizados. La máquina dañará el galvanizado ligeramente; sin embargo, el grado de daño no es tan severo como para que el riel tenga que ser regalvanizado o pintado (64).

Los costos de reciclar guardacaminos en el Distrito de Corpus Christi son \$0.45 por pie (\$1.48/m). Este costo incluye la renta de la máquina y los costos de mano de obra para rectificar el guardacamino. Los guardacaminos nuevos actualmente cuestan \$1.57 por pie (\$5.15/m) (64). La máquina rectificadora de guardacaminos y postes delineadores utilizada en Texas se muestra en la Figura 25.

El reciclaje de basura de carretera fué el tema de un reporte preparado para la Administración Federal de Carreteras por el Instituto de Transportación de Texas (65). Las conclusiones generales indicaron que la basura de carretera combinada con otros desperdicios puede ser utilizada y que existe en cantidades suficientes para reemplazo de agregado en construcción y mantenimiento de carreteras cerca de grandes áreas urbanas. En áreas rurales y en pequeñas y medianas ciudades, sin embargo, el uso de depósitos limpios es un método de disposición de basura considerablemente menos caro que el procesamiento central. Los aspectos económicos en conjunto del uso de basura de carretera indican que, aún en su mejor aprovechamiento, la basura de carretera tiene un mérito negativo; que es, que cuesta más recolectarla y procesarla que el valor económico de su mejor uso. La basura debe ser procesada antes de ser usada como sustituto de agregado (65).

MATERIALES NO RELATIVOS A CARRETERAS

Un reciente estudio conducido por Valley Forge Laboratories (66) y la Universidad de Illinois ha delineado los tipos y cantidades de materiales de desecho que son sustitutos potenciales para agregados de carretera. Estos materiales han sido clasificados en términos de desperdicios industriales, minerales y domésticos. Anualmente, cerca de 3.5 billones de toneladas (3.1 Pg) de estos desperdicios sólidos están siendo generados. Los materiales con el mayor tonelaje disponible incluyen la ceniza muy fina, escorias de altos hornos, escorias de acero, desperdicios de fundición, desecho de fundición, desechos de carbón, desechos de cobre, desechos de draga, limos de fosfato, desechos de taconita y desechos de mineral de hierro. Otra cantidad potencialmente grande de substancias sólidas de desecho puede ser disponible en forma de cieno de depurador cuando instalaciones generadoras de energía empiecen a utilizar depuradores de piedra caliza para la remoción de SO_2 de gases de chimenea.

Muchos de los materiales más abundantes se localizan en las áreas rurales o en áreas o regiones muy específicas del país; así que, el mercado disponible está limitado.

Además del uso como agregado y relleno, muchos desperdicios y subproductos

De los artículos anteriormente descritos, el reciclaje de guardacaminos y señalizaciones ofrece la ventaja económica mayor. La maquinaria para enderezar guardacaminos existe disponible comercialmente y ha sido utilizada en Massachusetts, Maine y Texas, entre otros estados (63, 64). Estas máquinas montadas en trailers pueden ser trasladadas de un punto a otro y pueden generar ahorros de \$2,000 a \$4,000 al día (63). La operación de una rectificadora de guardacaminos y postes delineadores montada en trailer en el Segundo Distrito (Fort Worth) del Departamento de Carreteras y Transporte Público del Estado de Texas ha logrado la reutilización del 80 por ciento de todos los guardacaminos dañados. El costo de la operación de reciclaje varía de \$1.75 a \$2.00 por cada 12',6" (3.8 m) de longitud del guardacamino. Los costos del reciclaje de postes delineadores es de \$1.60 cada uno aproximadamente. Casi todos los guardacaminos de palastro de acero y los postes delineadores utilizados en el Distrito de Fort Worth son galvanizados. La máquina dañará el galvanizado ligeramente; sin embargo, el grado de daño no es tan severo como para que el riel tenga que ser regalvanizado o pintado (64). Los costos de reciclar guardacaminos en el Distrito de Corpus Christi son \$0.45 por pie (\$1.48/m). Este costo incluye la renta de la máquina y los costos de mano de obra para rectificar el guardacamino. Los guardacaminos nuevos actualmente cuestan \$1.57 por pie (\$5.15/m) (64). La máquina rectificadora de guardacaminos y postes delineadores utilizada en Texas se muestra en la Figura 25.

El reciclaje de basura de carretera fué el tema de un reporte preparado para la Administración Federal de Carreteras por el Instituto de Transportación de Texas (65). Las conclusiones generales indicaron que la basura de carretera combinada con otros desperdicios puede ser utilizada y que existe en cantidades suficientes para reemplazo de agregado en construcción y mantenimiento de carreteras cerca de grandes áreas urbanas. En áreas rurales y en pequeñas y medianas ciudades, sin embargo, el uso de depósitos limpios es un método de disposición de basura considerablemente menos caro que el procesamiento central. Los aspectos económicos en conjunto del uso de basura de carretera indican que, aún en su mejor aprovechamiento, la basura de carretera tiene un mérito negativo; que es, que cuesta más recolectarla y procesarla que el valor económico de su mejor uso. La basura debe ser procesada antes de ser usada como sustituto de agregado (65).

MATERIALES NO RELATIVOS A CARRETERAS

Un reciente estudio conducido por Valley Forge Laboratories (66) y la Universidad de Illinois ha delineado los tipos y cantidades de materiales de desecho que son sustitutos potenciales para agregados de carretera. Estos materiales han sido clasificados en términos de desperdicios industriales, minerales y domésticos. Anualmente, cerca de 3.5 billones de toneladas (3.1 Pg) de estos desperdicios sólidos están siendo generados. Los materiales con el mayor tonelaje disponible incluyen la ceniza muy fina, escorias de altos hornos, escorias de acero, desperdicios de fundición, desecho de fundición, desechos de carbón, desechos de cobre, desechos de draga, limos de fosfato, desechos de taconita y desechos de mineral de hierro. Otra cantidad potencialmente grande de sustancias sólidas de desecho puede ser disponible en forma de cieno de depurador cuando instalaciones generadoras de energía empiecen a utilizar depuradores de piedra caliza para la remoción de SO_2 de gases de chimenea.

Muchos de los materiales más abundantes se localizan en las áreas rurales o en áreas o regiones muy específicas del país; así que, el mercado disponible está limitado.

Además del uso como agregado y relleno, muchos desperdicios y subproductos

tienen un gran potencial para usarse como aglomerante. Entre los materiales mas importantes en esta categoría está el azufre y la ceniza muy fina. Se espera que las reservas de azufre se incrementen debido a los programas de abatimiento de la contaminación y a la necesidad de quemar los crudos y carbones de alto azufre. La ceniza muy fina puede ser utilizada como puzolana en mezclas de cal y de concreto de cemento portland. Otros aglomerantes potenciales pueden surgir de subproductos de madera en forma de resinas o ligninas o de pirolisis de madera u otros materiales.

La Tabla 18 en lista 53 materiales de deshecho que tienen un potencial para usarse como agregado , rellenedor, sustituto parcial de aglomerante o aglomerante. El uso probable de cada uno de los materiales en términos de un aglomerante o agregado está dado, con la cantidad anual producida (cuando hubo información disponible), el grado del material desde un punto de vista de distribución nacional, un avalúo de la energía adicional requerida para usar el material en el camino, un estimado del costo cuando el material tiene un uso práctico, y un avalúo de los requerimientos de investigación (62). Los requerimientos de investigación dan un estimado de cuando es probable una utilidad a corto y largo plazo. El avalúo de requerimientos de energía y costos está relacionado con otros materiales dentro de la tabla. Debe hacerse notar que no hubo información suficiente disponible de muchos materiales para concluir la tabla.

Información obtenida de la encuesta estatal conducida como parte de esta síntesis indica que la ceniza muy fina y la escoria son utilizadas en cantidades significativas en algunos estados. El uso de ceniza muy fina y ceniza húmeda de caldera está pronosticado para incrementarse en la parte occidental de los Estados Unidos conforme el lignito se vaya convirtiendo en un combustible popular para la generación de electricidad (67). Casi toda la ceniza muy fina está siendo utilizada actualmente como sustituto parcial de cemento. Tanto la escoria como la ceniza húmeda de caldera están siendo utilizadas actualmente.

Los desperdicios de mina son utilizados en varios estados (Tabla 1). Los tipos de desperdicios de mina, las cantidades aproximadas, y sus usos finales estan dados en la Tabla 19. En adición, cantidades significantes de agregado son producidas a partir de desechos de dragado áurico en California.

El reciclaje de vidrio para uso en carretera recibió reconocimiento nacional a principios de los 1970's. Sin embargo, los fabricantes de vidrio estan pagando de \$15 a \$20 por tonelada (\$16.50 a \$22.20/Mg) por vidrio en desperdicio entregado en sus plantas. Por lo anterior, el vidrio debe ser considerado como un agregado caro (65).

Pequeñas cantidades de llantas recicladas están siendo utilizadas en carreteras. El caucho recuperado de las llantas ha sido utilizado como una adición al asfalto. Otro uso del material es como una interfaz aliviadora de esfuerzos colocada entre el pavimento viejo y la nueva capa superpuesta de concreto asfáltico para reducir el agrietamiento por reflexión (10). Cantidades relativamente grandes de caucho reciclado también estan siendo utilizadas en capas superficiales (68). Este material ha sido utilizado principalmente en Arizona, hasta la fecha.

Residuo de incinerador obtenido de la quema de desperdicio municipal ha sido empleado como un agregado para un pavimento de base bituminosa en Houston, Tex. (69). Resultados de laboratorio y evaluaciones de campo muestran que el pavimento de "basuracreto" satisface las actuales especificaciones para materiales estabilizados de asfalto y puede ser construido empleando equipo y tecnología convencionales. El alto costo de agregados en ciertas áreas urbanas hace económico esta fuente de agregado alterno.

INVESTIGACION Y CONCLUSIONES

NECESIDADES DE INVESTIGACION

La Tabla 20 muestra un sumario incompleto de investigaciones recientemente concluidas o en proceso en las áreas de reciclaje de pavimento, materiales de desperdicio y subproductos. En general, la mayoría de los esfuerzos de investigaciones futuras deben estar dirigidos a aquellos materiales con un gran suministro nacional que sean substitutos promisorios de agregado y preferentemente a aquellos que puedan convertirse en suplementos de aglomerantes o aglomerantes primarios.

En base a una revisión de la experiencia en reciclaje de pavimento a la fecha, se han identificado los siguientes puntos de investigación:

1. La contaminación de aire asociada con las mezclas estabilizadas de asfalto de reciclado en operaciones de mezcla caliente a través de una planta central ha sido identificada como un punto de investigación de alta prioridad. Una solución completa al problema requerirá la participación de agencias gubernamentales, instituciones de investigación, fabricantes de equipo y contratistas.
2. Las pautas necesitan ser establecidas que asistan al ingeniero en el proceso de toma de decisiones concernientes al reciclaje. Por ejemplo, qué tipos de pruebas de pavimento y materiales deben llevarse a cabo para determinar si una mezcla es apropiada para reciclaje?
3. Los costos y consumo de energía asociados con operaciones de reciclaje necesitan ser establecidos si el ingeniero ha de seleccionar la alternativa de rehabilitación apropiada. Actualmente existe información limitada sobre costos y energía.
4. Se deben determinar las propiedades de las mezclas recicladas y compararlas con las de mezclas convencionales y las propiedades de la mezcla antes del reciclaje. El efecto de los modificadores sobre las mezclas recicladas también es importante.
5. El equipo de reciclaje en el lugar de trabajo necesita ser mejorado para reducir los costos de mantenimiento de equipo. El equipo de pulverización es el punto más crítico en esta necesidad de mejoramiento.
6. El tipo y cantidad de agentes modificadores a ser agregados a las mezclas asfálticas recicladas deben determinarse. La industria privada habrá de desarrollar materiales, según pronósticos; sin embargo, técnicas de pruebas y evaluaciones para determinar resultados a largo plazo de estas adiciones deben ser determinadas también.
7. Se necesita desarrollar modificadores que al mismo tiempo reblandezcan el asfalto y mejoren su resistencia al deterioro causado por el agua.
8. Se necesitan definir las medidas de control de calidad de construcciones para reciclaje de pavimento, así como la uniformidad de construcción utilizando las diversas técnicas de reciclaje.
9. Se necesita monitorear el rendimiento de campo de las secciones de pavimento reciclado mediante una agencia seleccionada. El rendimiento debe ser comparado con el de pavimentos construidos con materiales convencionales.
10. Coeficientes de concentración deben ser establecidos para los materiales de reciclaje. Estos coeficientes deben ser adecuados para uso en métodos de diseño de espesor de pavimento.
11. Programas de entrenamiento deben ser establecidos en materia de reciclaje de pavimentos. Estos programas deben incluir información sobre equipo, técnicas, costos, energía, consideraciones de diseño de pavimentos, etc.
12. Los pavimentos deben ser diseñados de forma tal que las técnicas de rehabilitación representen un ahorro de energía y sean lo menos costosas posibles. Puede que los pavimentos tengan que ser diseñados con la superficie

como un eslabón poco fuerte en la estructura ya que la reparación puede ser efectuada más fácilmente en la superficie. Por ejemplo, un concepto a investigar es el diseño y la construcción de material de superficie para un fácil reciclaje. (17)

El Proyecto 1-17 de la NCHRP, "Pautas para el reciclado de materiales de pavimento" (6) y el propuesto FCP de la FHWA responderán varios de los puntos identificados, según se espera.

Los esfuerzos de investigación sobre el azufre parecen ser esenciales y deberán continuar. La investigación debe estar enfocada en las siguientes áreas:

1. Uso del azufre como un diluyente o suplemento del asfalto.
2. El uso del azufre como un rellenedor mineral.
3. El uso del azufre como un aglomerante primario.
4. Desarrollo de equipo para manejar sistemas de agregado-azufre.
5. El uso de azufre espumado.
6. Los problemas de la calidad medio-ambiental asociados con el azufre.

La ceniza muy fina es un aglomerante promisorio. Investigación substancial ha sido conducida en esta materia (54). La implementación y la resolución de ciertos problemas únicos con el abastecimiento de ceniza muy fina particular parece necesitar esfuerzos de investigación adicional. El uso de ligninas y sulfitos como aglomerantes es materia de esfuerzos de investigación a largo plazo.

Las áreas promisorias de investigación asociadas con la sustitución de agregado son las relativas a la ceniza muy fina, ceniza de desecho, escoria de altos hornos, escoria de acero y desperdicios de mina. Estos materiales actualmente se están utilizando; sin embargo, la optimización de su uso en términos de conservación de material y conservación de energía no ha sido explorada extensamente. Debido a que los suministros de agregado convencional son amplios hoy día en muchas áreas, el uso de desperdicios y subproductos debe ser justificado para cada caso tanto por el aspecto económico como por el concerniente a la energía.

Los subproductos de cantera ofrecen un gran potencial a un costo bajo y con un requerimiento bajo de energía, relativamente. La calidad de todos los materiales de desperdicio y subproductos debe ser optimizada cuando se tenga en mente su uso final. Esto puede requerir ajustes en las especificaciones de material y construcción.

El desarrollo de una rectificadora portátil de guardacaminos sería de gran valor para agencias de carreteras. Este instrumento deberá ser capaz de ser arrastrado al sitio donde se requiere la reparación.

CONCLUSIONES

En base a la información presentada en esta síntesis, se aseveran las siguientes conclusiones:

1. El reciclaje de pavimento y el uso de materiales de desperdicio y subproductos industriales así como los de la carretera proporcionan la oportunidad de reducir el problema de aprovisionamiento de agregado en determinadas áreas.
2. Los costos de calentamiento-nivelado y calentamiento-escarificado están sobre el orden de \$0.20 a \$0.60/yd² (\$0.24 a \$0.72/m²) para remoción de 3/4 de pulgada (19 mm). El consumo de energía de los dispositivos utilizados es 10,000 a 20,000 Btu/yd² (12 600 a 25 200 kJ/m²) aproximadamente.

3. Las operaciones de remoción en caliente son usadas en forma limitada 50 en la parte oriental de los Estados Unidos. Los costos de esta operación son \$0.80/yd²-pulgada (\$0.38/m²-cm) aproximadamente. El consumo de energía es alrededor de 10,000 Btu/yd²-pulgada (5000 kJ/m²-cm).
4. Las operaciones de remoción en frío se han vuelto populares en los últimos años. Los costos para estas operaciones son aproximadamente \$0.40 a \$0.80/yd²-pulgada (\$0.19 a \$0.38/m²-cm). El consumo de energía es entre 1,000 y 2,000 Btu/yd²-pulgada (500 y 1000 kJ/m²-cm).
5. Las operaciones de reciclaje en el lugar de trabajo han sido practicadas por varios años. El equipo especializado de pulverización se encuentra disponible con varios fabricantes para lograr una pulverización más completa. Los costos para pulverización y restauración en el lugar se encuentran en el orden de \$0.30 a \$0.50/yd²-pulgada (\$0.14 a \$0.24/m²-cm).
6. En varias áreas grandes de los Estados Unidos existen operaciones de planta central que trituran concreto de cemento portland y pavimentos de concreto asfáltico. Utilizan principalmente materiales reciclados para capas de asiento no estabilizadas.
7. Pavimento de concreto de cemento portland puede ser reciclado a capas superficiales de econcreto y concreto de cemento portland.
8. Se ha logrado reciclaje de planta central en caliente de concreto asfáltico sin contaminación del aire mediante diversos procesos que utilizan tanto calentamiento directo como indirecto del concreto asfáltico triturado. Modificaciones de plantas de dosificación y mezclado circular, como se usaron en proyectos experimentales, han experimentado algunos problemas con la calidad del aire al trabajar a altos ritmos de producción.
9. Guardacaminos y señalizaciones están siendo actualmente reciclados por departamentos estatales de carreteras en cantidades significativas. Postes de señales, postes delineadores y atarjeas son recicladas en diversos estados.
10. Cantidades significativas de ceniza muy fina, escoria y desperdicios de mina actualmente son reciclados por los estados. Una amplia variedad de otros materiales ha sido utilizada en forma experimental por estados, condados y ciudades.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
(DEL 5 AL 8 DE SEPTIEMBRE DE 1983)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
1. ARMANDO ALDAPE RODRIGUEZ Ave. Argentina 125 Fracc. Hípico Mexicali, Baja California Tel: 6-78-78	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Ave. Magisterio x Crnel Esteban Cantu Profres. Federales Mexicali, Baja California Tel: 6-78-78
2. EDUARDO BARRERA PLIEGO México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES México, D. F.
3. MARIA LEA BENITEZ GUZMAN Diligencias 49-Int. 7 San Pedro Martir Deleg. Tlalpan C.P. 14650 México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Ave. Xola y Av. Universidad Col. Narvarte México, D. F. Tel: 5-30-43-15
4. CARLOS S. BURGOS LOPEZ Gabino Barrera 30-11 Col. San Rafael Deleg. Cuauhtémoc C.P. 06470 México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Av. Universidad Col. Narvarte México, D. F. Tel: 5-19-92-93
5. EDUARDO GALVAN GARCIA Bosques de Austria No. 81 Bosques de Aragón Mpa. Nezahualcoyotl C.P. 57170 México, D. F.	INSTITUTO MEXICANO DEL PETROLEO Eje Central Lazaro Cardenal 152 Deleg. G. A. Madero México, D. F. Tel: 5-67-66-00
6. ROBERTO GARRIDO GUTIERREZ Amalia 178-2 Gps. Tepeyac Deleg. Gustavo A. Madero México, D. F.	COMETRO 22 de Febrero 195 Atzacapotzalco México, D. F. Tel: 5-61-56-56
7. ETELBERTO REY GARCIA ROMERO Victoria No. 315-1 Centro Deleg. Cuauhtémoc México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad Col. Narvarte México, D. F. Tel: 5-19-69-84

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
(DEL 5 AL 8 DE SEPTIEMBRE DE 1983)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
8. JOEL GOMEZ VAZQUEZ Plan de Guadalupe No. 260 Col. Constitución México, D. F. Tel: 3-15-66	CAMINOS Y PUENTES FEDERALES DE INGRESOS Baja California No. 274 Col. Escandón México, D. F.
9. LUIS FRANCISCO GONZALEZ GONZALEZ Calle Edo. de Tamaulipas No. 264 Col. Providencia Deleg. Gustavo A. Madero México 14, D. F. Tel: 7-94-67-85	COMETRO, S. A. Altadena No. 23 Col. Nápoles México 18, D. F.
10. LUIS GONZALEZ HERNANDEZ México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad México, D. F.
11. JUAN RAMON HERNANDEZ GOMEZ Hidalgo 60 Ote. Tepic, Nayarit Tel: 2-04-86	JUNTA LOCAL DE CAMINOS DEL EDO. DE NAYARIT Hidalgo 60 Ote. Tepic, Nayarit Tel: 2-04-86
12. FRANCISCO HERNANDEZ SERRANO México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad México, D. F.
13. PEDRO HERNANDEZ TREJO Javier Barros Sierra 39-4 Adolfo López Mateos Deleg. Venustiano Carranza México, D. F.	INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S. A. (COMETRO) 22 de Febrero No. 195 Col. Azcapotzalco México, D. F. Tel: 5-61-56-56
14. FERNANDO H. JUAREZ RODRIGUEZ Ave. Las Torres No. 54-C-2 Col. Los Reyes Deleg. Coyoacán C.P. 04130 México, D. F. Tel: 6-57-67-99	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Av. Plutarco E. Calles No. 243 Col. Granjas México. Deleg. Iztacalco C.P. 08400 México, D. F. Tel: 6-57-67-99

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
(DEL 5 AL 8 DE SEPTIEMBRE DE 1983)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
15. A. VICENTE LOPEZ GARCIA Villa del Carbón No. 28 Cuautitlan Izcalli, México Tel: -8-73-42-89	INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S. A. (COMETRO, S. A.) Altadena No. 15 Col. Nápoles México, D. F.
16. FRANCISCO LOPEZ PICOS Calle Peten Sur No. 42-6 Col. Narvarte Deleg. Benito Juárez C.P. 03060 México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad Col. Narvarte Deleg. Benito Juárez C.P. 03068 México, D. F. Tel: 5-30-4068
17. GISELA MARQUEZ BARRAZA González Cosío 358 Col. del Valle Deleg. Benito Juárez C.P. 03100 México, D. F. Tel: 5-23-04-75	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad Col. Narvarte Deleg. Benito Juárez C.P. 03020 México, D. F. Tel: 5-30-40-68
18. EFRAIN MARQUEZ LOPEZ Rosa de Oro No. 27 Los Angeles Deleg. Iztapalapa C.P. 09710 México, D. F. Tel: 6-91-91-38	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad Col. Narvarte Deleg. Benito Juárez México, D. F. Tel: 5-30-30-00 Ext. 387
19. MAXIMO DANIEL MATUS FUENTES Calle Calle Yobain Manz 2 x 9 Lote 9 Torres de Padierna México 20, D. F. Tel: 5-68-23-24	I.P. CCYPSA (GRUPO I.C.A.) Minería 145 Col. Escandón México, D. F. Tel: 5-16-04-60
20. JUAN FERNANDO MENACHO GOÑI Ramiriqui 1031 Col. Lindavista Deleg. Gustavo A. Madero C.P. 07300 México, D. F. Tel: 5-86-43-96	COMETRO, S. A. Altadena No. 23 Col. Nápoles México, D. F.

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
(DEL 5 AL 8 DE SEPTIEMBRE DE 1983)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
21. FERMIN NORIEGA D. Calle Camarón Manzana 29 Lote 6 Col. del Mar Deleg. Tlahuac México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Chiapas No. 121 Col. Roma Deleg. Benito Juárez México, D. F.
22. GABRIEL OCHOA VENTURA Paris No. 74 "A" Col. Noctezuma	JUNTA LOCAL DE CAMINOS SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad México, D. F.
23. JUAN IGNACIO ORTIZ HERRERA Dunas No. 32 Resid. Acueducto de Gpe. Deleg. Gustavo A. Madero C.P. 07270 México, D. F.	S.C.T. DIRECCION GENERAL DE CARRETERAS FEDERALES Av. Universidad y Xola Col. Narvarte Deleg. B. Juárez México, D. F. Tel: 5-30-30- 00 Ext. 388
24. HUMBERTO PLANCARTE GONZALEZ México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad México, D. F.
25. GILBERTO QUEJ DZIB Calle 105 No. 14-B Sta. Lucia C.P. 24020 CAMPECHE, CAMP. Tel: 6-64-28	S.C.T. JUNTA LOCAL DE CAMINOS (CAMPECHE) Agustín Melgar s/n Col. Buena Vista CAMPECHE, CAMP. Tel: 6-36-22
26. SALVADOR RAMIREZ CALZADA Ave. Camelinas 2311 Chapultepec Sur	INGENIEROS Y ARQUITECTOS, S. A. Minería No. 145 Col. Escandón México, D. F.
27. JOSE IGNACIO RODRIGUEZ CASTAÑEDA Venustiano Carranza 148-10 Centro Centro Deleg. Cuauhtémoc C.P. 06000 México, D. F. Tel: 5-22-29-17	MRB INGENIEROS CIVILES Miguel Laurant No. 1214 B,C y D, Col. Vertiz Narvarte Deleg. Benito Juárez C.P. 06060 México, D. F. Tel: 5-59-08-29

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II.
(DEL 5 AL 8 DE SEPTIEMBRE DE 1983)

<u>NOMBRE Y DIRECCION</u>	<u>EMPRESA Y DIRECCION</u>
28. JOSE LUIS RUIZ MAYA Paseo de los Poetas No. 64 Hda. Ojo de Agua Edo. de México	INDUSTRIAS RESISTOL, S. A. Thiers No. 248 Col. Polanco México, D. F. Tel: 5-31-34-60
29. JOSE ANTONIO SANCHEZ IBARRA México, D. F.	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad México, D. F.
30. ALBERTO SANTIAGO LUIS B. Juárez No. 74 San Antonio Culhuacan Deleg. Iztapalapa México, D. F. Tel: 5-44-76-01	SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES Xola y Ave. Universidad México, D. F. Tel: 5-30-40-68
31. ROBERTO SOSA GARRIDO 3a. Cda. de San Bernabe 30 San Jerónimo Lidice Deleg. La Magdalena Contreras C.P. 10200 México, D. F. Tel: 5-95-22-15	GEOTEC, S. A. Londres 44 Col. del Carmen Coyoacán México, D. F. C.P. 0041
32. RIGOBERTO TAPIA ORTEGA Plazuela de Plateros No. 119 Lomas Herradura Huiquilucan, Edo. de México Tel: 5-89-08-39	INGENIEROS Y ARQUITECTOS, S. A. Minería No. 145 Col. Escandón México, 18, D. F. Tel: 5-16-04-60
33. JOSE VARGAS DIAZ López Cotillano 182-201 Col. del Valle Deleg. Benito Juárez México, D. F.	INGENIEROS Y ARQUITECTOS, S. A. Minería No. 145 Col. Escandón México 18, D. F. Tel: 5-16-04-60
34. ABEL VELEZ PALACIOS Uxmal 93-9 Col. Narvarte México, D. F. C.P. 03020 Tel: 5-30-88-77	S.C.T. Eugenia 197 Col. Narvarte México, D. F. C.P. 03020

DIRECTORIO DE ASISTENTES AL CURSO DE DISEÑO Y CONSTRUCCION DE PAVIMENTOS II
(DEL 5 AL 8 DE SEPTIEMBRE DE 1983)

NOMBRE Y DIRECCION

EMPRESA Y DIRECCION

35. JOSE LUIS ZAMORA PEREZ
David Peñaflor 125
Fracc. Colonial Iztapalapa
Iztapalapa
C.P. 09270
México, D. F.
Tel: 6-91-44-95

INGENIEROS CIVILES ASOCIADOS, S. A.
Minerfa No. 145
Col. Escandón
Deleg. Miguel Hidalgo
México, D. F.
Tel: 5-16-04-60