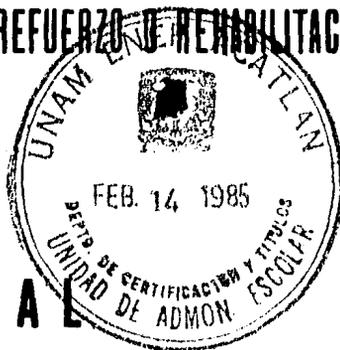




**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS
PROFESIONALES - ACATLAN
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

**PROCEDIMIENTO DE EVALUACION DEL
COMPORTAMIENTO DE PAVIMENTOS Y METODOS
PARA DISEÑAR SU REFUERZO O REHABILITACION**



TESIS PROFESIONAL

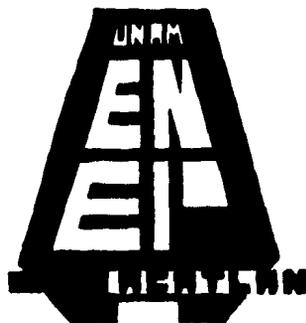
QUE PARA OBTENER EL

TITULO DE:

INGENIERO CIVIL

PRESENTA:

RICARDO OLMOS HERNANDEZ



SANTA CRUZ ACATLAN, EDO. DE MEXICO 1985



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas Tesis Digitales Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS © PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis está protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

I N D I C E

- CAPITULO I .-- INTRODUCCION
- CAPITULO II .-- PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE DEFLEXIONES EN CAMINOS Y AEROPUERTOS.
 - 1 .-- DIFERENCIAS DE OPERACION ENTRE LOS-PAVIMENTOS EN CAMINOS Y AEROPISTAS.
 - 1.1 .-- CANALIZACION DEL TRANSITO DE VEHICULOS.
 - 1.2 .-- INTENSIDAD DE LAS CARGAS.
 - 1.3 .-- PRESION DE LAS LLANTAS.
 - 1.4 .-- FRECUENCIA DEL TRANSITO.
 - 1.5 .-- PAVIMENTOS DIFERENCIALES EN SENTIDO LONGITUDINAL.
 - 1.6 .-- CONDICIONES DE RUGOSIDAD DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO.
 - 1.7 .-- TEXTURA DE LA SUPERFICIE DEL PAVIMENTO QUE AFECTA EL FRENADO DE LOS-VEHICULOS.
 - 1.8 .-- CONDICIONES DE OPERACION.
 - 2 .-- CRITERIO PARA PODER DETERMINAR LA NECESIDAD DE UNA REHABILITACION.
 - 2.1 .-- CONCEPTO DE INDICE DE SERVICIO ACTUAL (ISA)
 - 2.2 .-- CONDICION ESTRUCTURAL.
 - 2.3 .-- CONDICIONES DE LA SUPERFICIE.
 - 2.4 .-- SEGURIDAD.
 - 2.5 .-- COSTOS.
 - 2.6 .-- LABORATORIO.
 - 3 .-- PROCEDIMIENTO PARA DETERMINACION DE DEFLEXIONES.

- 3.1 .- VIGA BENKELMAN.
- 3.2 .- DYNA-FLECT.
- 3.3 .- METODO LCN
- CAPITULO III .- METODOS DE CALCULO PARA LA DETERMINACION DEL REFUERZO O PARA PROGRAMAR LA REHABILITACION.
 - 3.1 .- METODO DE CALIFORNIA.
 - 3.2 .- METODO DEL INSTITUTO DEL ASPALTO
 - 3.3 .- METODO CANADIENSE
- CAPITULO IV .- CASOS PRACTICOS DE APLICACION EN NUESTRO PAIS DE LOS METODOS DE DEFLEXIONES.
 - 4.1 .- INTRODUCCION.
 - 4.2 .- CASO ACAPULCO-ZIHUATANEJO.
 - 4.3 .- PROCEDIMIENTOS DE EVALUACION DE PAVIMENTOS POR FATIGA.
 - 4.4 .- REVISION DEL PROYECTO DEL PAVIMENTO
- CAPITULO V .- CONCLUSIONES.

CAPITULO I

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

En muchos países se presenta con frecuencia la necesidad de analizar el estado estructural - del pavimento de un camino o aeropiata, el crecimiento acelerado de la población, hace que ocurra un incremento de miles de vehículos que circulan por esas vías, de acuerdo a las exigencias de la población en vías de expansión.

Ha sido de vital importancia el desarrollo de carreteras y aeropuertos, ya que es la base - para el desarrollo Industrial, Comercial y Social.

Es necesario para los países en desarrollo poder contar con una red de carreteras y aeropuertos, que les permitan tener acceso rápido y seguro a las poblaciones más aisladas del país - por lo que es de vital importancia mantener en buenas condiciones las carreteras debido al constante incremento de los volúmenes de tránsito.

Al construir un camino o aeropiata es necesario calcular el tránsito actual y el incremento a futuro que circulará por las mismas, pero -

este concepto se ha quedado corto debido al crecimiento que es más rápido de lo previsto, ocasionando así que sea más pronto efectuar el estudio para su refuerzo o rehabilitación.

Para efectuar el estudio de las deformaciones que se presenten en el camino o aeropista es conveniente hacer las pruebas ya sea con la viga-Benkelman o el Dynaflect, el método de la ICM (Número de clasificación por carga) se aplica exclusivamente a Aeropistas; una vez ya obtenidos los datos de las pruebas antes mencionadas podremos determinar el método adecuado para su refuerzo o --rehabilitación considerando principalmente los datos del laboratorio efectuados en el camino o Aeropista en estudio.

Una vez autorizado el presupuesto para la --ejecución del refuerzo o rehabilitación del pavimento es necesario hacer el programa de inicia--ción y terminación de los trabajos debido a los --incrementos constantes en los costos (mano de --obra, equipo, combustibles y material).

CAPITULO II

PROCEDIMIENTO PARA LA DETERMINACION DE DEFLEXIONES EN CAMINOS Y AEROPISTAS.

En la actualidad las vías terrestres son básicas para el desarrollo económico y social de un país, por lo que es de vital importancia realizar un estudio económico para poder determinar si es justificable la inversión de la obra, aunque en la actualidad estos estudios se ven relacionados con los intereses políticos los cuáles van a sobresalir.

Es tan importante tanto el estudio para su realización como el determinar procedimientos para un buen funcionamiento y conservación, un factor muy importante es el costo de dicho procedimiento.

Por lo regular las rehabilitaciones suelen resolverse con el empleo de sobrecarpetas, siempre y cuando el pavimento no presente deformaciones excesivas ya que si sucediera este caso sera necesario la reconstrucción.

1.- DIFERENCIAS DE OPERACION ENTRE LOS PAVIMENTOS EN CAMINOS Y AEROPISTAS.

Es muy importante la idea entre los Ingenieros que los pavimentos de un Aeropuerto no son más que el equivalente al de una carretera pero más ancho, más corto,

de mayor espesor y que en lugar de automóviles o camiones tránsitan aviones.

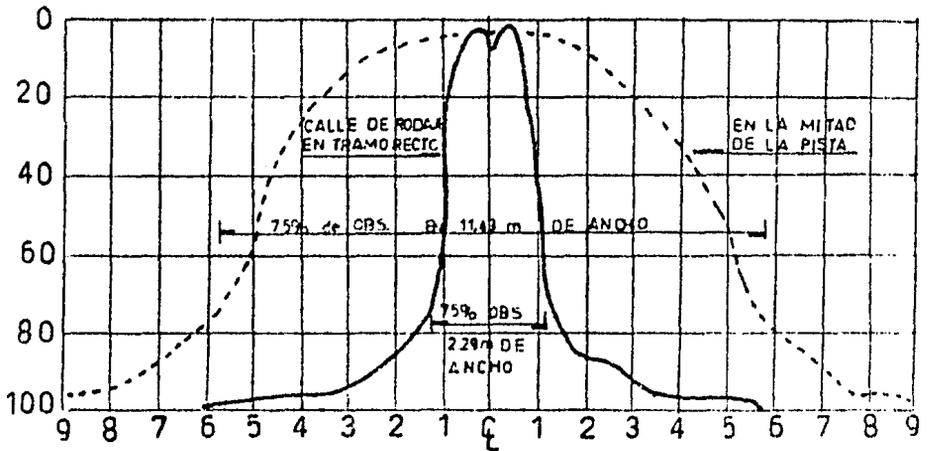
La finalidad primordial de los pavimentos de Aero puertos así como los de carretera es la distribución - adecuadamente de las cargas concentradas, de tal manera que la capacidad de soporte de las capas de apoyo - no se exceda, así como la de permitir un tránsito adecuado de los vehículos sin embargo existen diferencias sustanciales entre ambos pavimentos derivados principalmente de su operación.

1.1.- Canalización del tránsito de vehículos.

En las carreteras de dos carriles debido a la localización de las ruedas de los vehículos, por lo general la mitad de estas va cercana a la orilla del pavimento, por lo que se refiere a las carreteras de cuatro carriles debido a la velocidad en la cuál tránsitan , el tránsito pesado se canaliza hacia la derecha de la carretera en ambos sentidos.

Está situación plantea una canalización del tránsito en el sentido transversal, de manera que las cargas más grandes se aplica próximas a la orilla del pavimento y en el caso de que se diseñara un pavimento -

PORCIENTO DE OBSERVACIONES DE TRAFICO.



Distancia en metros del ξ a la huella del tren principal

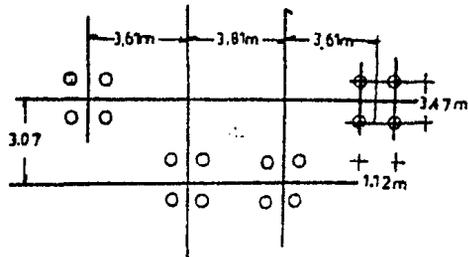
FIGURA II-1-1 Distribución de las huellas del tráfico de aviones con trenes principales de ruedas dobles y en doble tandem

diferencial, el mayor espesor debería quedar ubicado en las orillas de la carretera .

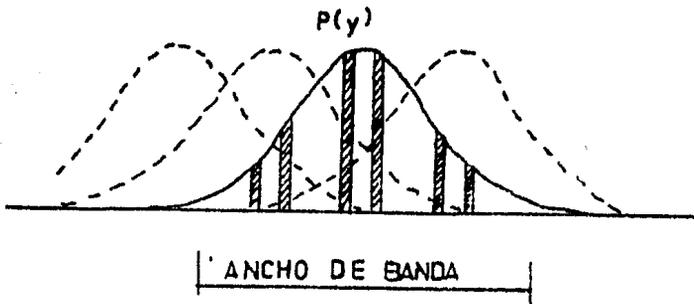
En el caso de los aeropuertos la situación es -- diferente ya que por las características de operación de las pistas y calles de rodaje, estas mismas son -- marcadas con pintura, y en algunas ocasiones con sistemas luminosos a lo largo del eje de la vía.-- debido a esta situación obliga determinantemente a los aeropuertos a que su canalización del tránsito se realice en el centro de la pista y de la calle de rodaje, lo cual implica que sí se diseñan pavimentos diferenciales, en el cuál el mayor espesor se encuentra en la franja central.

Para ilustrar con un ejemplo , en la figura II-1-1 se muestra la concentración del tráfico de Aviones tanto en las calles de rodaje como en pistas, se puede observar que el 75% del tráfico se concentra en una franja central de 2.3 m. de ancho en calles de rodaje y de 11.4 M. de ancho en pistas.

En la figura II-1-2 se presenta la probabilidad de repeticiones de carga de un avión Boeing B-747 en el sentido transversal, puede observarse por el grupo de curvas de distribución normal.



A) TREN DE ATERRIZAJE Y CONFIGURACION DE RUEDAS



B) CURVAS DE PROBABILIDAD DE REPETICION DE CARGAS

FIG. II-1-2

La repetición de cargas en un punto dado estará gobernada por el ancho de las llantas, por el ancho del tren de aterrizaje y por las condiciones de operación, a este conjunto de parámetros se le denomina "ancho de banda" y abarca, para este caso, el 98% de las operaciones en la curva de distribución normal.

En la figura II-1-3 se presentan las probabilidades de repetición en el sentido transversal para diversos aviones .- Se ha observado con anterioridad que el ancho de banda en calles de rodaje con luces de eje varía de 1.80 a 3.65 M. (banda A), cuando no se obtiene esta ayuda visual, la variación es de 3.65 a 6.10 M. (banda B), para pistas con luces de eje varía de 4.60 a 7.60 M. (banda C) y para este aterrizaje normal varía de 10.70 a 13.70 M. (Banda D)

Se puede observar en la figura II-1-3 que puede ver por ejemplo que para un ancho de banda de 6.10 M. su probabilidad P (Y) de repetición de carga es .42 por cada movimiento para un avión B-747.

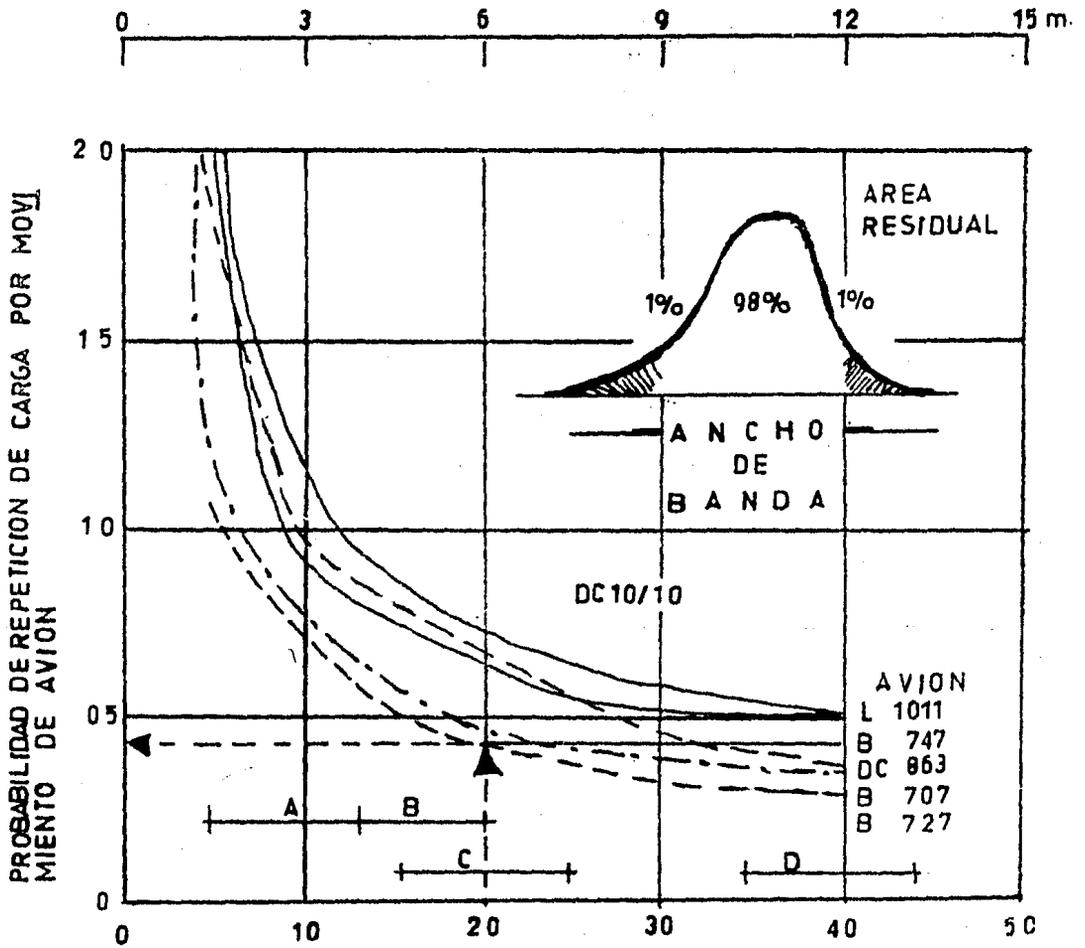


FIG II-1-3 ANCHO DE BANDAS EN PIES.

1.2.- Intensidad de las cargas.

Los camiones más pesados que transitan en una carretera son del orden de 30 a 50 toneladas son - vehículos del tipo semi-trailer, los cuáles incluyendo las ruedas del tractor, llegan a tener hasta 18 llantas, se puede observar en la figura 2-1-4 -

En Aeropuertos un Avión con el mismo peso, -- como por ejemplo el Boeing 727 y el B-737 ó el Douglas DC-9 , tienen únicamente cuatro llantas principales y dos auxiliares.

De lo anterior se deduce que la intensidad de carga por rueda es muy superior en Aeropuertos que en carreteras, máxime si consideramos Aviones tan pesados como el B-747, cuyo peso máximo es de 374- toneladas y únicamente tiene 16 ruedas principales y dos auxiliares.

1-3.- Presión en las llantas.

Esté concepto puede ser considerado como una- consecuencia del anterior, es decir cuando se tiene que mientras en carreteras la presión de inflado de las llantas varía de 1.69 Kg/Cm^2 a 5.62 kg/Cm^2 , en números redondos para aeropuertos estas - presiones son del órden de 14.06 Kg/Cm^2 llegando - en algunos aviones militares a presiones de 28.12 Kg/Cm^2 .

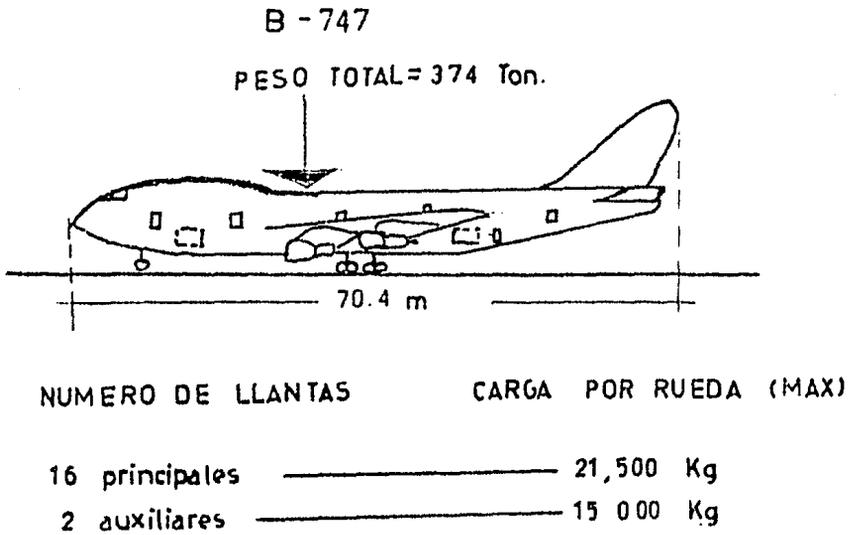
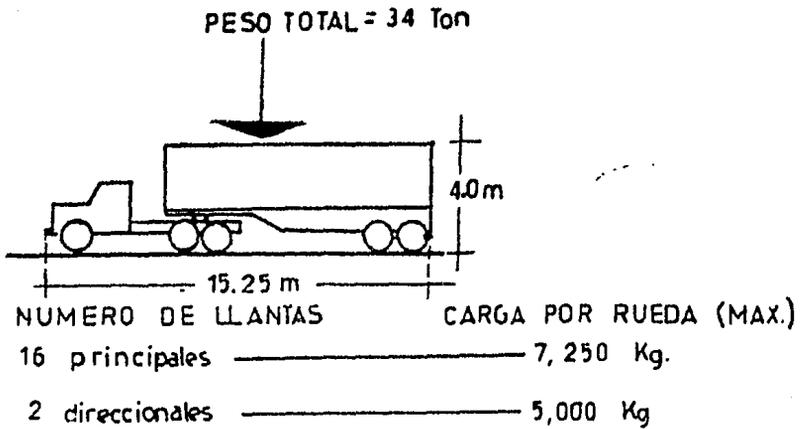


FIG II-1-4^a INTENSIDAD DE LAS CARGAS

1-4.- Frecuencia de tránsito.

En carreteras la separación entre un vehículo y otro subsecuente dependerá de la propia geometría de la carretera y de la velocidad de circulación.

Así, a velocidades medianas (60 Km/hrs.) puede pasar un vehículo cada 1 1/2 segundos en promedio, lo que da un volumen de tráfico por carril de más de 2000 vehículos por hora en condiciones de máxima capacidad.

En Aeropuertos, por razones de control de tránsito aéreo bajo condiciones visuales, la separación que debe existir entre dos aviones sucesivos que se aproximan al aeropuerto no puede ser inferior a la distancia que hay entre el umbral de aproximación de la pista y el punto en donde el avión precedente la desocupa o sea, dependerá del número de calles de rodaje de salida que la pista tenga, de la velocidad de salida y de las condiciones meteorológicas, de operación bajo condiciones de instrumentos, la separación mínima se puede incrementar hasta 5 millas (9260 M.) entre un avión y otro.

Esta situación se presentará solamente bajo-

condiciones de tránsito intenso y en la mayoría de los aeropuertos del mundo la separación es aún mucho mayor, es decir que entre un avión y otro pueden pasar varios minutos y hasta horas.

Existe la circunstancia de que es muy poco -- probable que un determinado punto del pavimento de una pista tenga que soportar una repetición de carga cada vez que ocurra una operación, esto se puede ejemplificar con la figura II-1-5 .

La localización del punto de toma de contacto de un avión es variable, ya que dependerá de los factores tales como el tipo de avión , la técnica del piloto la temperatura y elevación del aeropuerto, la velocidad y dirección del viento.- En el momento de toque el avión lleva una velocidad horizontal de 125 a 145 nudos (230 a 270 Km/hrs.) . -- Con una velocidad vertical descendente de 0.6 a -- 1.80 M/seg.

En la figura II-1-6 aparece como centro de la zona de toma de contacto la línea situada a una -- distancia de 380 M. del umbral de la pista, se ha observado que el 90% de los aterrizajes quedan en una zona de toma de contacto . La distribución -- longitudinal de las líneas de toma de contacto esta representada por la curva de Gaus.

CARRETERAS

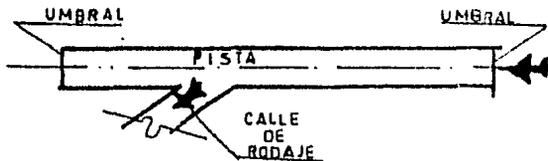


CAPACIDAD MAXIMA POR
CARRIL: 2,000 AUTOMOVILES/HORA
(a 50-60 Km/hr.)



CAPACIDAD MAXIMA.-
Carril de adentro: 2,200 automóviles/hora
Carril de afuera: 1,700 automóviles/hora
(a 60 Km/hr.)

AEROPISTAS



CAPACIDAD PRACTICA HORARIA:-
OPERACION VISUAL(VFR) 45 a 99 op./hr
OP. POR INSTRUMENTOS (IFR) 42 a 53

FIG. II 1-5 FRECUENCIA DEL TRANSITO

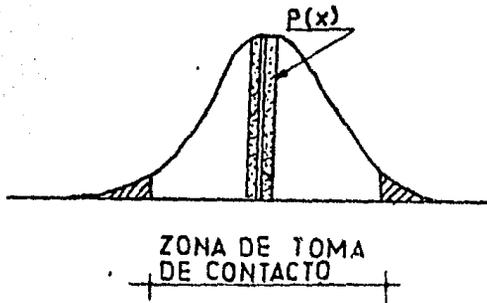
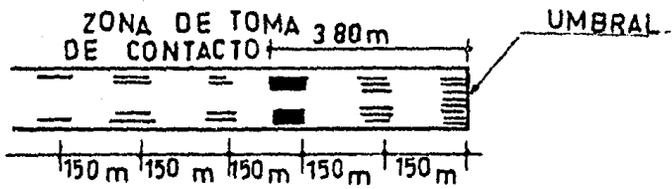
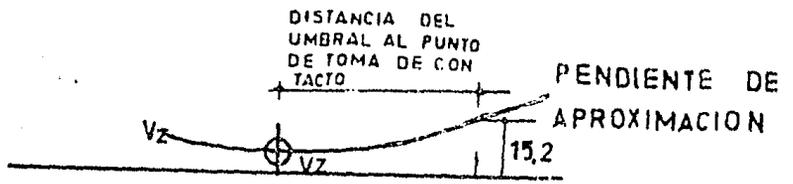


FIG. II 1- 6 DISTRIBUCION LONGITUDINAL DE CARGAS.

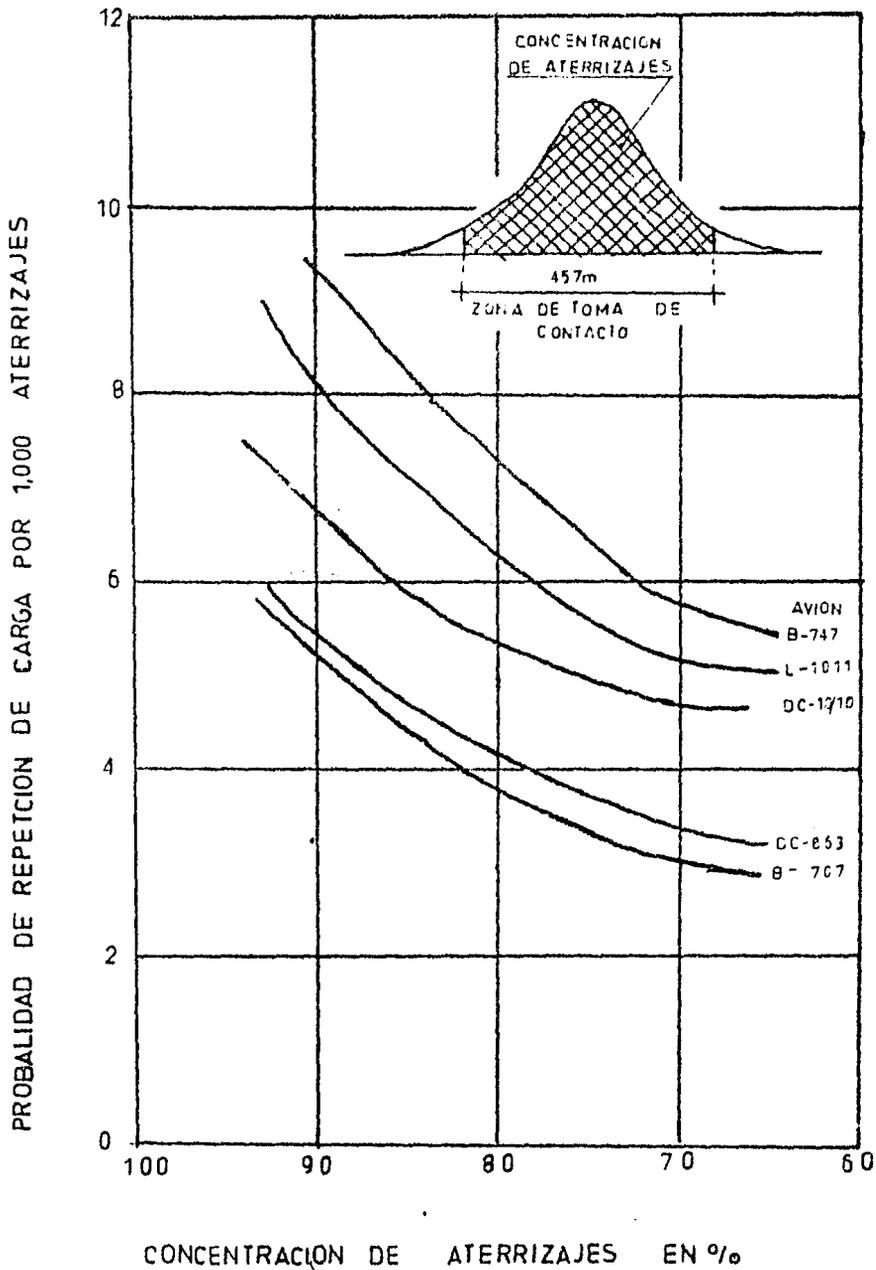


FIG. II-1-7 PROBABIDAD DE DISTRIBUCION LONGITUDINAL EN TOMA DE CONTACTO

La figura II-1-7 presenta la distribución de probabilidad longitudinal de la línea de toma de contacto para diversos aviones, así por ejemplo - la probabilidad de repetición del impacto de aterrizaje en un punto será para el Boeing 747 : -- $0.42 \times 0.0092 = 0.0038$ es decir la probabilidad de aterrizaje normal para que la carga se repita en el mismo punto, es de 0.0038 .

1-5.- Pavimentos diferenciales en sentido longitudinal.

A lo largo de las carreteras el pavimento es tá sujeto a efectos constantes de cada carga, ya que independientemente de la velocidad y efectos de impacto, el peso del vehículo no cambia y solamente para un vehículo en particular se presentaría una reducción en el peso a lo largo de su trayecto por el consumo de combustible, cuyo peso es despreciable comparado con el del propio vehículo

En aeropuertos, la operación de los vehícu-- los se debe considerar bajo otras bases, ya que - al analizar un despegue, a medida que aumenta la- velocidad, se empieza a generar sustentación en - las alas, las cuáles comienzan a liberar el peso- del avión sobre el tren de aterrizaje y consecuen- te sobre el pavimento.

En la figura II-1-8 se ejemplifica este efecto para el caso de un avión B-707-300-C, por lo anterior se puede deducir que en aquellas pistas de aeropuertos que no serán utilizadas como rodajes, es posible en el tramo central (en el sentido longitudinal) reducir el espesor de pavimento ya que las cargas actuantes son menores que al -- inicio de la carrera de despegue (Fig.II-1-9).

Por lo que se refiere al aterrizaje, los pesos no son críticos . Recientes mediciones en -- el aeropuerto de Dayton, E.E.U.U., mostraron que el impacto promedio producido por los aterrizajes normales fué de 65% de la carga estática, pudiendo llegar en el caso de aterrizajes duros a 210% de la carga estática.

1-6.- Condiciones de rugosidad de la superficie de rodamiento.

En trayectos muy largos y a velocidades uniformes los vehículos carreteros pueden entrar en resonancia y se tienen alteraciones de la rugosidad en forma uniforme, como por ejemplo las juntas transversales en los pavimentos de concreto -- hidráulico.

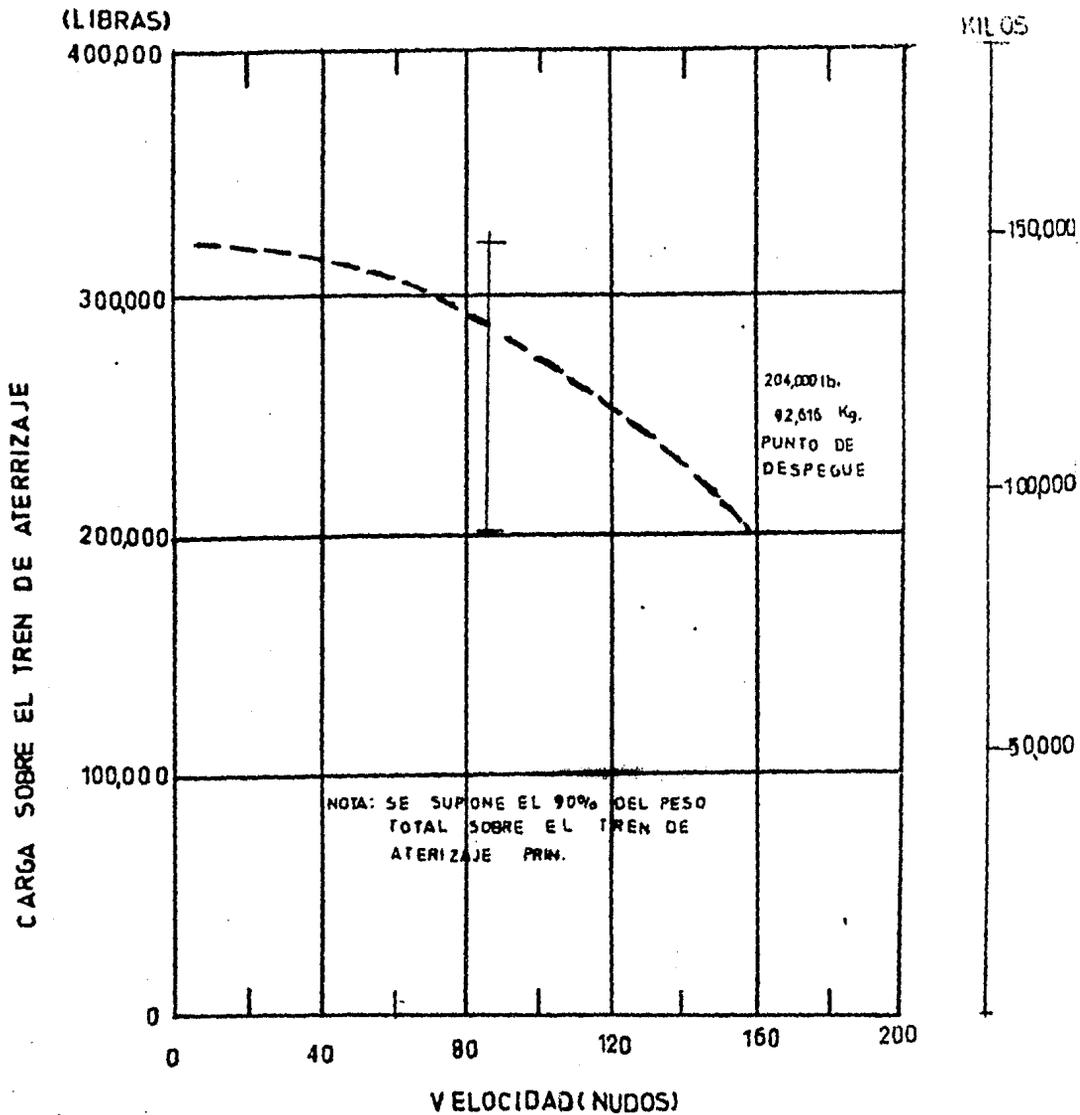


FIG II-1-8 TRANSFERENCIA DE CARGA AL PAVIMENTO DURANTE EL DESPEGUE DE UN AVION BOEING 707-300 C

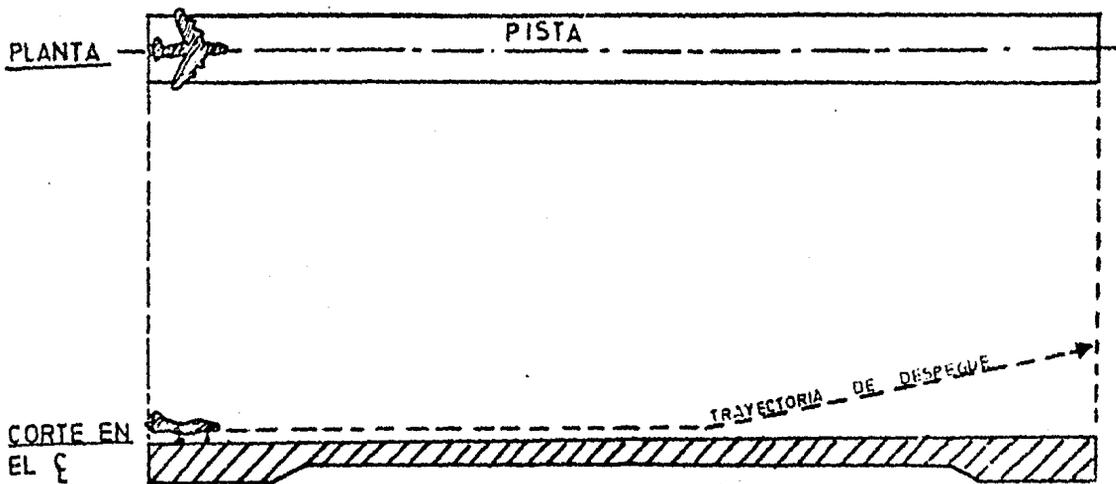


FIG. II-1-9 PAVIMENTO DIFERENCIAL EN SENTIDO LONGITUDINAL DE PISTAS.

Esta resonancia que puede ser notoria o no, la percibe el organismo del conductor y el cerebro, dentro de una caja de resonancia que es el cráneo puede llegar a perder sensibilidad para efectos de reflejos. En estudios sobre el tema se ha encontrado que en algunos accidentes en carreteras este fenómeno puede ser importante; en consecuencia, las condiciones de rugosidad de la superficie de rodamiento para una carretera son aspectos que deben tomarse en cuenta en forma severa, sobre todo en pavimentos rígidos.

En aeropuertos la situación es totalmente diferente ya que las condiciones de rugosidad pueden determinar dos características no deseables para la operación de los aviones sobre la superficie de rodamiento de una pista y que dependiendo de la velocidad en términos generales son :

La primera, que se puede referir propiamente al perfil longitudinal del pavimento y que consiste en las ondas de gran longitud relativa, que provoca oscilaciones al rededor del eje ---

transversal del avión; la segunda, que consiste -- en las ondas de corta longitud relativa (inferior a los 30 M.) y que provoca vibraciones.

Estas dos características pueden provocar -- sobre esfuerzos en la estructura del avión, alteraciones en las lecturas de los Instrumentos e incomodidad para los pasajeros; por su parte el pavimento tendrá que soportar mayores esfuerzos. -- por lo que se refiere a la oscilación del avión, -- el movimiento del tren de aterrizaje se puede asimilar a un movimiento armónico siempre que combinado con la traslación del avión genera una cicloide compuesta con tendencias a una curva sinusoide.

En las Figs. II-1-10 y II-1-11 se ejemplifica este fenómeno para el caso del avión Boeing -- 707-320 B.

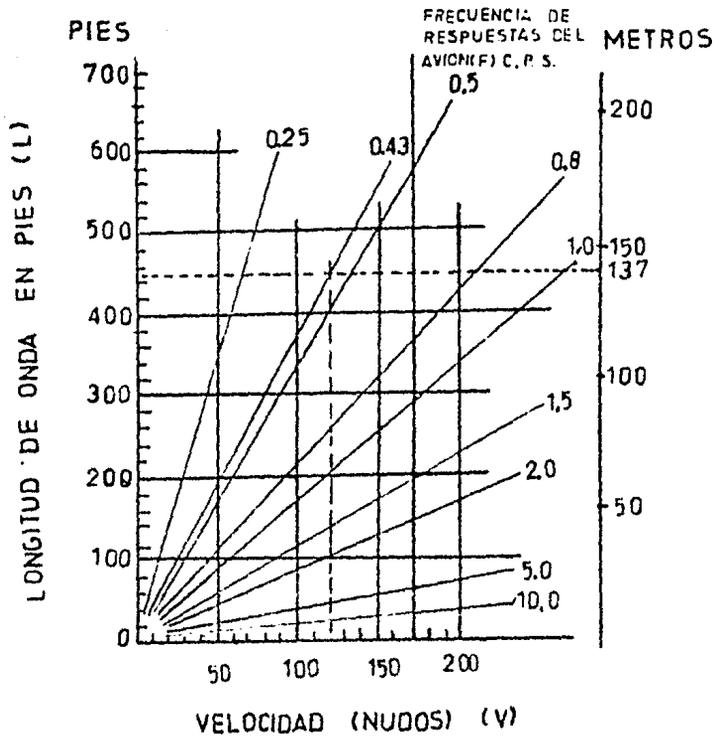


FIG II-1-10 VARIACION DE LA LONGITUD DE ONDA vs VELOCIDAD PARA VARIAS FRECUENCIAS.

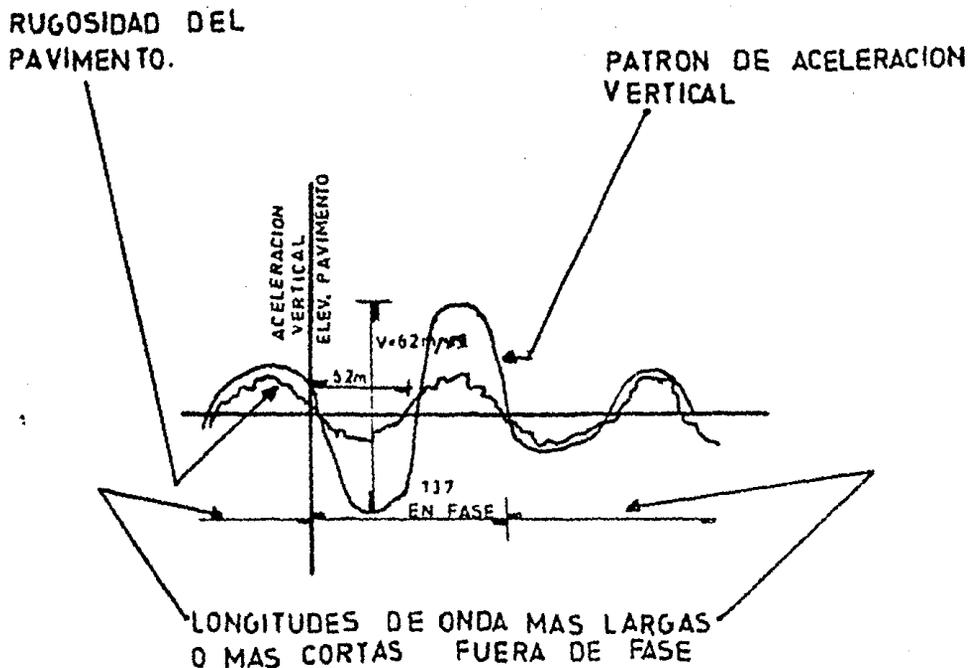


FIG II-1-11 RELACION ENTRE LA ACELERACION VERTICAL Y LA RUGOSIDAD.

En la Fig. II-1-10 se puede observar que para que se produzca la resonancia del avión intervienen la longitud de onda. La velocidad del avión y la frecuencia de respuesta del avión así - se tiene que para una velocidad dada, la longitud de onda aumenta al disminuir la frecuencia de respuesta del avión. Así se tiene, que para una velocidad dada, la longitud de onda aumenta al disminuir la frecuencia de respuesta del avión; para una frecuencia dada la longitud de onda aumenta - al aumentar la velocidad, y para una longitud de onda o para una velocidad dada solo puede haber - una combinación que produzca resonancia.

En la fig. II-1-11 se ha dibujado el momento en que el avión B-707 entra en resonancia cuando la rugosidad de la pista tiene una longitud de onda de 137 M. (450 pies), el avión lleva una velocidad de 120 nudos = 62 m/seg. (203 pies/seg.) y su frecuencia de respuesta es de 0.45 ciclos/seg. independientemente de la investigación del movimiento, el efecto en el avión es que, a oscilaciones extremas el ángulo de ataque de las alas - se cambia en forma arbitraria durante la carrera de despegue, provocando alteraciones en la generación de la sustentación y originando que la longitud de pista se incremente.

Por las oscilaciones el tren de nariz puede llegar a despegarse totalmente y al regresar al pavimento, causar impactos de más del doble de su carga estática.

Adem's, en las simas, también se pueden presentar impactos en el tren principal , que lo transmite al pavimento, con un incremento del peso estático del orden del 65% .

Se puede producir en las cimas del perfil,-- despegues falsos con el consiguiente regreso del avión al pavimento, generando esfuerzos y consecuentemente deformaciones adicionales a la estructura del pavimento. Estos efectos sobre el pavimento están en función de la energía cinética que lleve el avión , la cuál a su vez esta en -- función de la masa y la velocidad.

En la fig. II-1-12 se indica la energía cinética para varios aviones en función de la distancia que lleven a partir del inicio de la carrera de despegue.

En la fig. II-1-13 se presenta un ejem. del impacto producido por la rugosidad del pavimento y los despegues del mismo avión B-727 .

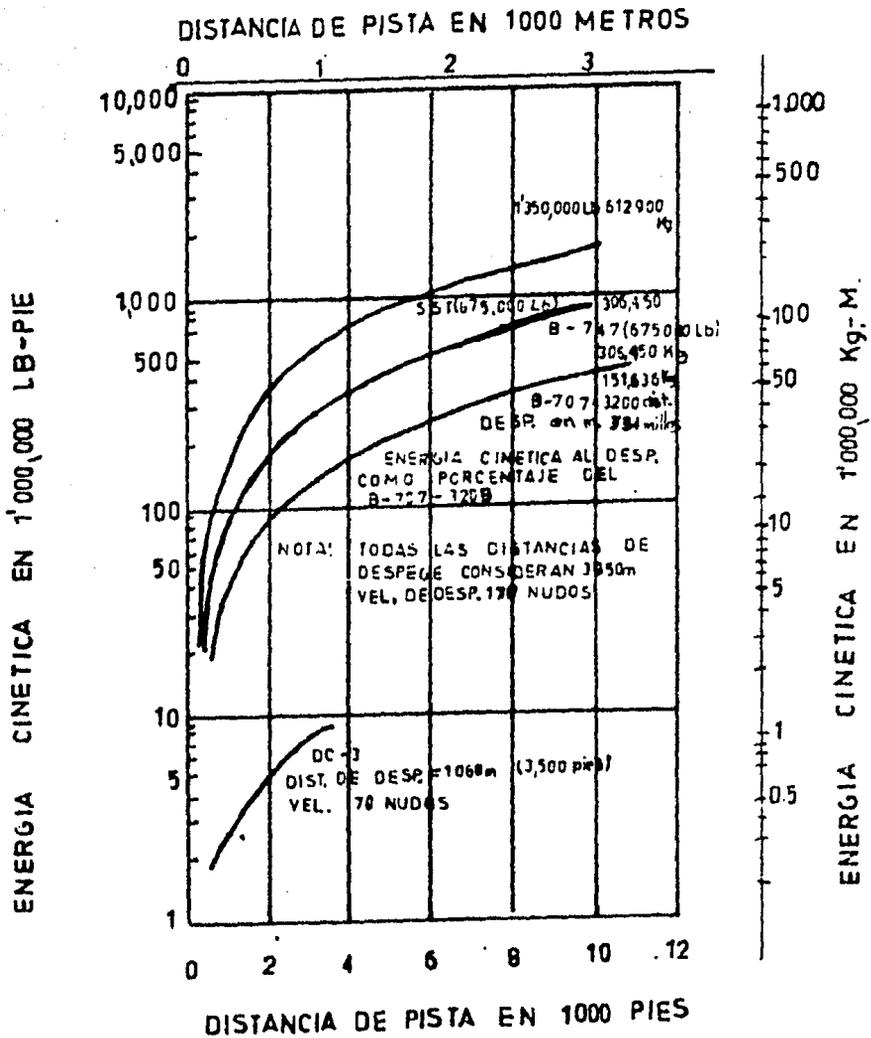


FIG II-1-12 ENERGIA CINETICA Y DISTANCIA DE PISTA

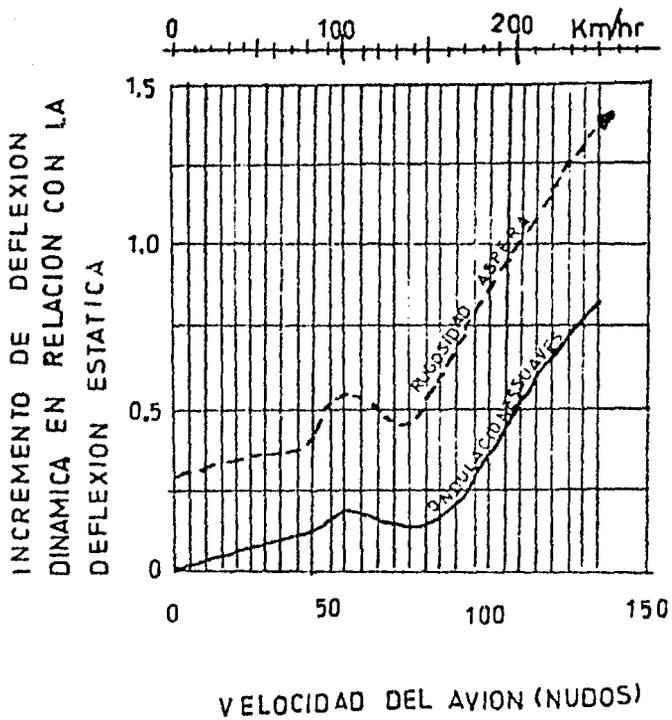


FIG. II 1-13 IMPACTO PRODUCIDO POR LA RUGOSIDAD

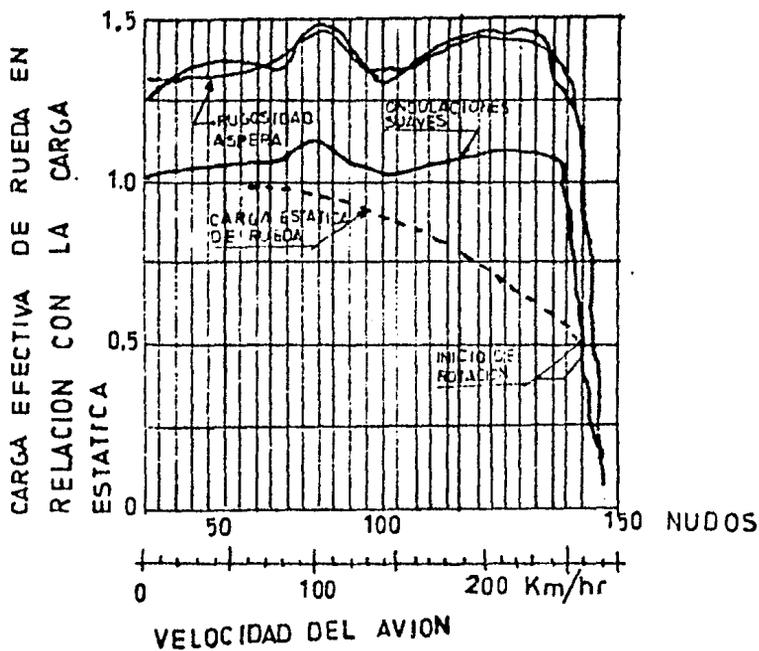


FIG II-1-14 EFECTO DE LA SUSTENTACION DE LAS ALAS EN EL IMPACTO PRODUCIDO POR LA RUGOSIDAD

En la fig. II-1-14 se presenta el efecto de la sustentación de las alas en el impacto producido por la rugosidad del pavimento y los despegues del mismo avión, se observa que el efecto de la sustentación no logra neutralizar el impacto, sin embargo, cuando la superficie del pavimento tiene pocas irregularidades, el impacto se reduce considerablemente.

1-7.-Textura de la superficie del pavimento que afecta el frenado de los vehículos.

Tanto en carreteras como en aeropuertos es muy importante que la textura del pavimento provea un adecuado coeficiente de rozamiento para reducir accidentes. En ambos casos el coeficiente de rozamiento puede ser afectado por la textura principalmente en los pavimentos flexibles, por lluvia, nieve, derrame de combustibles, aceites u otras impurezas, por afloramiento de asfalto (en caso de pavimentos flexibles) y por desgaste de la propia superficie del pavimento ---- (en aeropuertos el desgaste es mucho menor).

El coeficiente de rozamiento se disminuye al incrementarse la velocidad del vehículo. La -

velocidad de circulación en las carreteras de nuestro país, está limitada a 100-125 Km./Hr., en Aeropuertos la velocidad que lleva el avión en el momento que toca la pista es de 230-270 Km./Hr. y en los rodajes de alta velocidad los aviones circulan a velocidades de 90-110 Km./Hr.

Una diferencia entre las carreteras y los Aeropuertos es la circunstancia de que en las zonas de toque de las pistas las llantas de los aviones dejan impregnado un poco de su caucho en la superficie del pavimento, lo que a través de su buen número de aterrizajes, hace que aparezca una película de caucho cubriendo dicha superficie.

El caucho impregnado en grandes cantidades, - en las pistas de mucho tráfico impide el drenaje - de la lluvia proporcionando de esta manera las condiciones para que se produzca el peligroso fenómeno de hidroplaneo, lo que incrementa grandemente las distancias en que pueden detenerse las aeronaves - al efectuar el aterrizaje.

1-8.- Condiciones de Operación.

En cualquier carretera o camino es relativamente fácil modificar la circulación de vehículos, alterando la velocidad de los mismos, para efectuar reparaciones, atender accidentes o efectuar trabajos de mantenimiento rutinarios. En los aeropuertos no es posible considerar esta posibilidad, ya que la velocidad de desplazamiento de los aviones dependerá de su peso y de las necesidades que se tengan de generación, de sustentación o enfrenamiento por lo que no es simple realizar trabajos sobre un pavimento de un Aeropuerto ya que esta en operación.

Esta situación, obliga a pensar que los pavimentos deben ser concebidos pensando que no haya deterioro debido al tránsito de carga o al intemperismo que obligue a realizar grandes trabajos sobre ellos, ya que en este momento la pista debe cancelarse a operaciones y en consecuencia, si el aeropuerto tiene una sola pista, se tendrá que clausurar las operaciones por el tiempo que duren los trabajos.

2.- Criterio para poder determinar la necesidad de una rehabilitación .

Este problema se presenta en muchos países-- debido a la necesidad al analizar el estado de -- un pavimento construido anteriormente a fin de -- decidir sobre la necesidad de repararlo y en su-- caso el costo de su operación.

Este problema es muy común en las carrete-- ras de los países en vías de desarrollo, pues en ellos se dan las condiciones de rápida expansión del tránsito, insuficiencia presupuestal en el -- momento de la construcción y la falta adecuada -- de conservación, que contribuyen a generarlo.

Los problemas de rehabilitación de pavimen-- tos pueden ser inmensamente variados y van desde la colocación de riegos de rejuvenecimiento o -- construcción de sobre--carpetas, hasta recons-- -- trucciones integrales.

Las rehabilitaciones por incremento normal-- del tránsito suelen resolverse con el empleo de-- sobrecarpetas, en tanto que las reconstrucciones serán necesarias en pavimentos que muestran --

indicios de falla, consistentes en la aparición de deformaciones excesivas o en niveles muy elevados de deflexión.

El planteamiento de un criterio de rehabilitación es, en rigor, un enlistado de las circunstancias que hacen insatisfactorio el servicio de un pavimento dado., desde luego es algo mucho -- más complicado que la simple aparición de grietas superficiales. En lo anterior insatisfactorio no implica, desde luego la necesidad de una falla catastrófica; puede requerir rehabilitación un pavimento que este soportando adecuadamente muy altos volúmenes de tránsito.

Las siguientes son las principales normas de criterio que suelen considerarse para definir la necesidad de una rehabilitación.

2-1.- Concepto de Índice de Servicio Actual ---
(ISA).

Este concepto se basa para su estudio en una escala que va desde el 0 hasta el 5, y que con base a dicha escala se determinará el estudio en el

que se encuentra la superficie de rodamiento --
considerando que para la escala se tendrán los --
valores de :

- 0 Muy mal
- 1 Cuidado
- 2 Atención
- 3 Prevención
- 4 Bien
- 5 Muy bien

Se considerará hacer una estadística en ba-
se a los valores de la escala antes mencionada,--
se llevará a cabo la encuesta del camino que se
va a estudiar. Esta encuesta se realizará ya --
sea desde una caseta de pago, entrada a un pobla-
do o en una gasolinera.

Para obtener los datos de la encuesta que .
se llevará a cabo , será por unidad considerando
el número de ocupantes de dicho vehículo, toman-
do en cuenta los valores de la escala antes men-
cionada obteniéndose el promedio por unidad, --
que una vez ya terminada la encuesta se sacará--
la media aritmética de todos los promedios por-
unidad , y el resultado será el estado en el --
que se encuentre la superficie de rodamiento.

2-2.- Condición Estructural.

Se refiere principalmente a la capacidad --- del pavimento para soportar las cargas del tránsito en la actualidad y seguirlo haciendo en el futuro próximo, ya que del análisis que se haga de la estructura del pavimento se podrá determinar con más precisión el criterio para su refuerzo o rehabilitación .

En algunas ocasiones al analizar las condiciones estructurales del pavimento nos damos --- cuenta que tiene mucha importancia el procedi- -- miento de construcción de las terracerías, ya -- que es la base principal de la estructura del pavimento.

2-3.- Condiciones de la Superficie.

La apariencia del pavimento (deformaciones grietas etc.) no necesariamente está ligada a la capacidad estructural y desde luego no lo esta -- por una relación única y sencilla, lo cierto es -- que una falta de capacidad estructural se refle- -- jará rápidamente en la apariencia del pavimento.

Muchos defectos en las condiciones superficiales pueden corregirse fácilmente con métodos que no producen ninguna mejoría real en las condiciones estructurales.

2-4.- Seguridad.

Este concepto se valúa generalmente con base a datos estadísticos de accidentes.

Es necesario analizar los datos de construcción, proyecto de obras de drenaje y las condiciones del terreno en el cual se encuentra el camino o aeropista en estudio.

2-5.- Costo.

Se refiere no solo a la erogación necesaria para pagar la rehabilitación, sino también a los costos de conservación y de operación .

El haber definido un método y criterio adecuado , en algunas ocasiones se ve frenado por los incrementos en los costos (mano de obra, equipo, combustible y materiales) por lo que es muy importante considerar el tiempo de iniciación y el de terminación

2-6.- LABORATORIO

Para construir una carretera, camino o aeropista es sumamente importante tener como base desde el inicio de la ejecución de la obra al laboratorio ya que va a ser el mismo, el que nos va a indicar el comportamiento de la estructura del pavimento durante su proceso de construcción, a su vez nos va a determinar cualquier anomalía que se presente en el proceso de construcción de acuerdo al tipo de suelo.

Los datos obtenidos de las pruebas del laboratorio son la base para efectuar un estudio más preciso con el objeto de poder determinar la falla que se presente en el pavimento, estas pruebas (Sondeos a lo largo del camino o aeropista) nos va a indicar la calidad de los materiales de la estructura del pavimento como también sus diferentes espesores de las capas de la estructura del pavimento.

3.- Procedimiento para la determinación de deflexiones.

3-1.- Viga de Benkelman.

Se lo conoce como viga de Benkelman o un -- curvómetro Dehlen, se utiliza para fines de va-- luación con la medición de la deflexión del pavi-- mento cuya capacidad estructural se desea valuar las deflexiones de un pavimento flexible bajo -- una carga estática, la viga Benkelman se muestra esquemáticamente de la fig. II-3-1 .

Consiste en un brazo D fijo se sitúa nive-- lado sobre el pavimento apoyado en tres puntos - (un punto A y dos puntos B) un brazo móvil de - uno está acoplado al brazo fijo por una articula-- ción rotatoria en el punto que se señala.

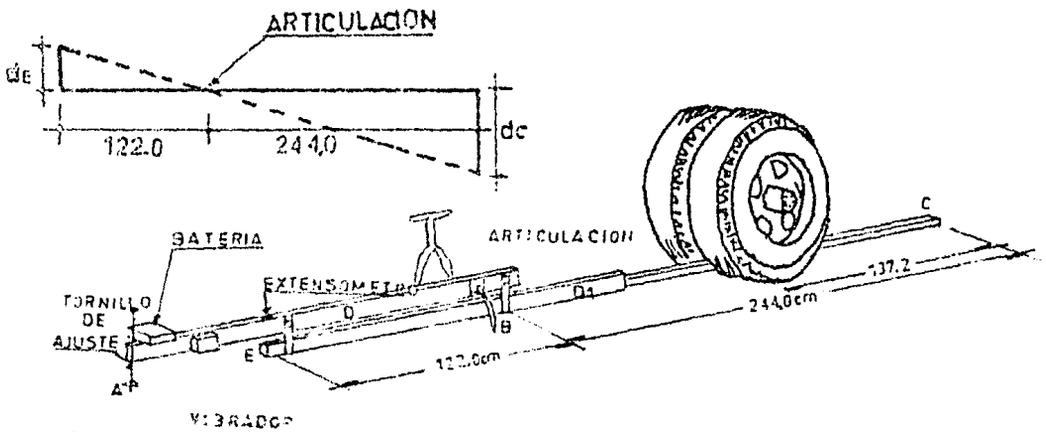


FIG II-3-1

ESQUEMA DEL DEFLECTOMETRO
BENKELMAN

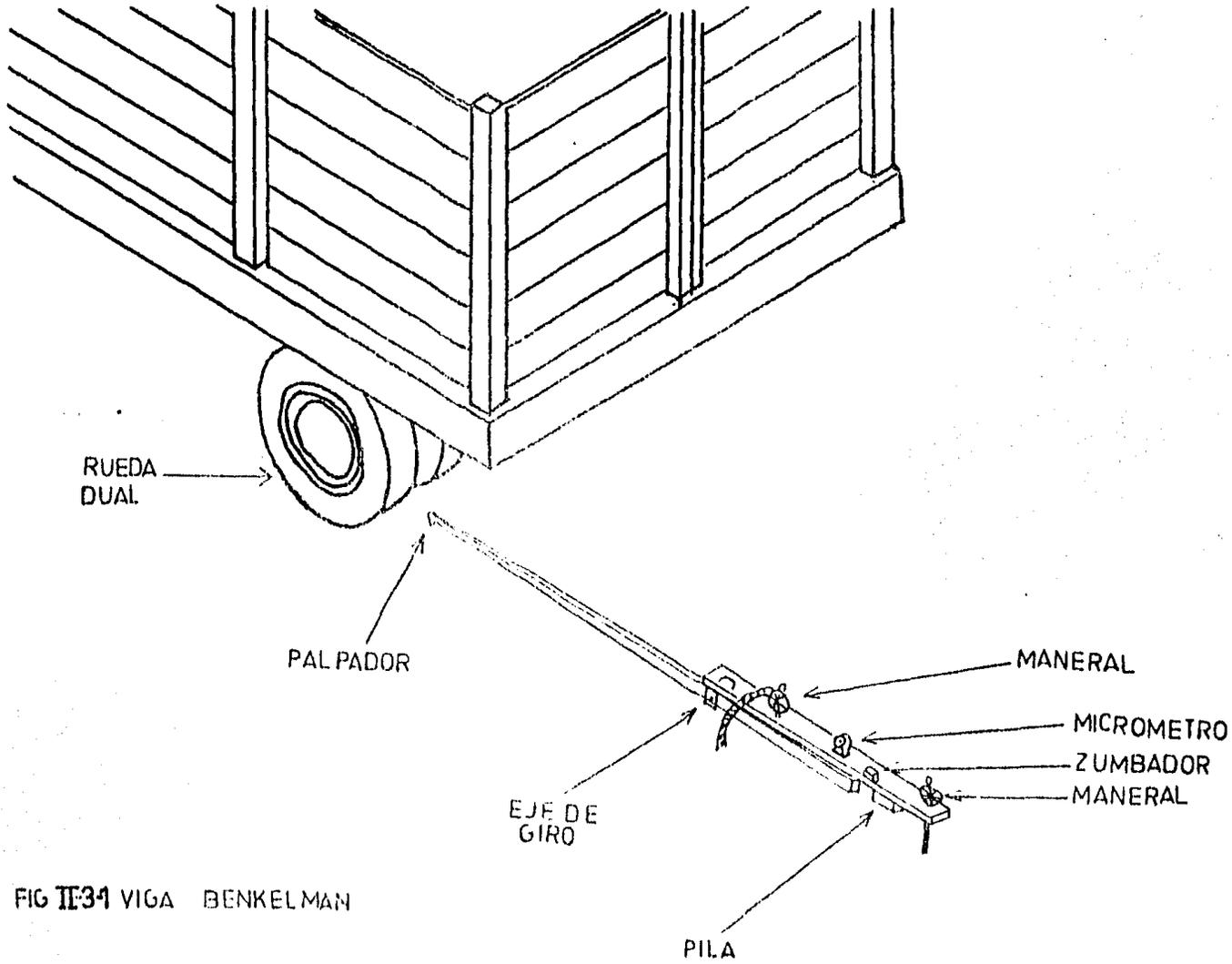


FIG II-34 VIGA BENKELMAN

Este instrumento funciona conforme al principio básico de las palancas. Una solera de 2.4 M de longitud (8 pies) se coloca entre las ruedas duales (de 11 x 22.5 de 12 capas y con una presión de inflado de 70 psi.) de un camión cuya carga por eje aislado (no tandem) es de 18,000 lb. o sea 9,000 lb. de carga, por rueda dual. A medida que el pavimento se deforma, la viga o solera pivotea alrededor de un punto fijo de la viga de referencia la cuál descansa sobre el pavimento en un área alejada de la zona de influencia de la carga. El extremo posterior de dicha viga actúa sobre un extensómetro mecánico el cuál registra la máxima deflexión con una aproximación de 0.001 pulg. Este dispositivo está limitado a medir la deflexión total utilizando solamente vehículos de prueba a velocidades relativamente pequeñas, sin embargo tiene la gran ventaja de la simplicidad y la rapidez.

Las lecturas de las deflexiones se comparan con los límites permitidos, previamente determinados para una sección estructural similar, con un volumen de tránsito en función de la carga --

equivalente de 5,000 lb. por rueda. El tratamiento correctivo para definir la capa necesaria a fin de reducir la deflexión a un nivel de tal manera que el pavimento no llegue a la falla por fatiga, se expresa en función del espesor de grava equivalente y el espesor real requerido se reduce por medio de los factores de grava equivalente correspondiente a los materiales que se van a emplear.

Este procedimiento de análisis del esfuerzo del pavimento esta basado en las experiencias del departamento de carreteras del Estado de California.

3-2.- Dyna-flect.

Este dispositivo consiste en un sistema-electromecánico que mide las deflexiones dinámicas de una superficie o una estructura, causados por una fuerza oscilatoria. Las mediciones son independientes de una superficie fija de referencia.

El sistema Dynaflect está compuesto por un generador de fuerzas dinámicas, un conjun-

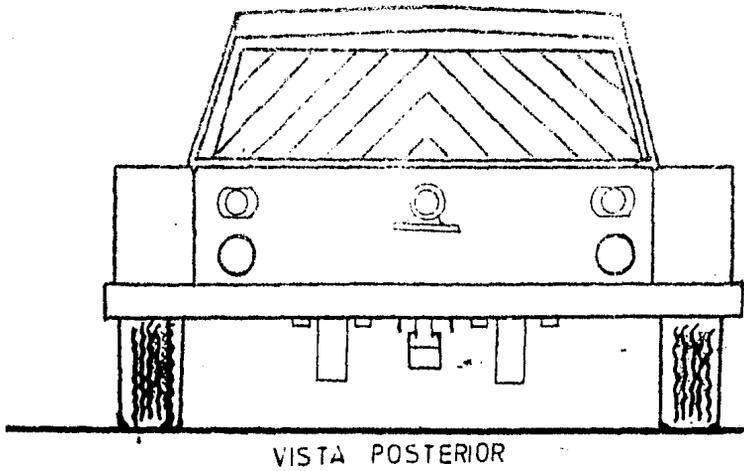
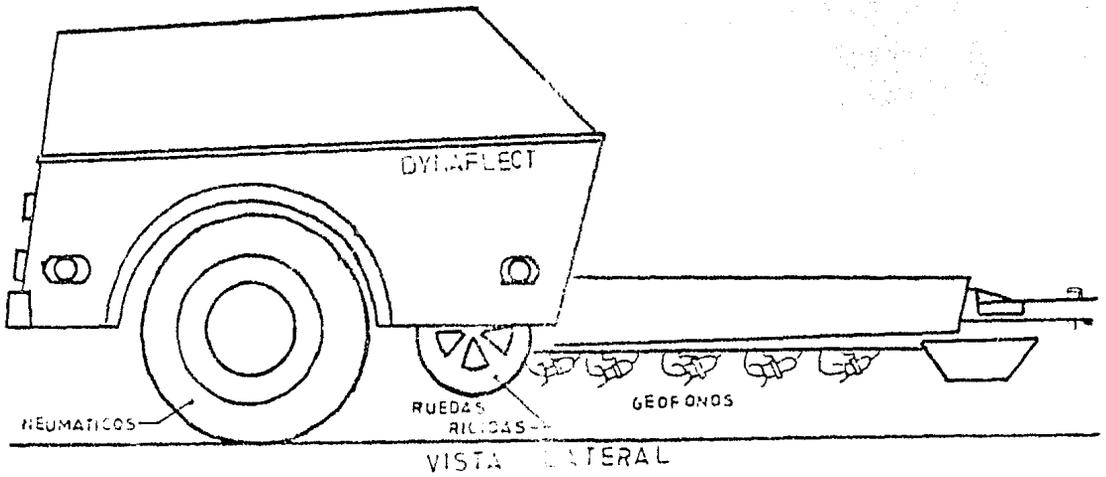
to de aparatos sensitivos montados en un pequeño remolque y un sistema de medición portátil, el cual es normalmente llevado en el vehículo de tracción (Fig. II-3-2).

El generador produce una fuerza vertical, la cuál varía senoidalmente a razón de 8 ciclos /seg. la fuerza total aplicada al material bajo del trailer, consiste en un peso estático — del aparato de 1600 lb. (733.76 Kg.) más la — fuerza dinámica producida por unos volantes — — excentricos que se suman o se restan alternativamente al peso . El rango de la fuerza dinámica es de 1,000 lbs. (453.6 kg.). (fig. II-3-3).

Esta fuerza se aplica al terreno por medio de un par de ruedas rígidas.

El material sobre el cuál descansan las — ruedas presentan deflexiones hacia abajo y hacia arriba sincronizadas con la fuerza repetitiva — de 1,000 lbs. (453.6 kg.) . La amplitud de este movimiento es medida por geófonos los cuáles están en contacto con el terreno (fig. II-3-4)

FIG. II-3-2 REMOLQUE



FRECUENCIA = $N = 8$ cps.
 PERIODO = 0.125 seg.
 Velocidad de propagacion = $N \times L = \frac{1}{P}$

$$L = \frac{K}{N}$$

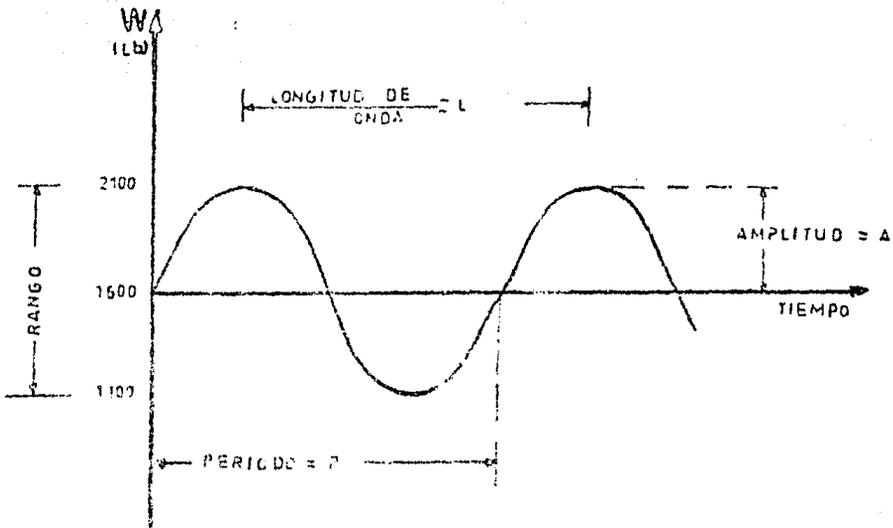
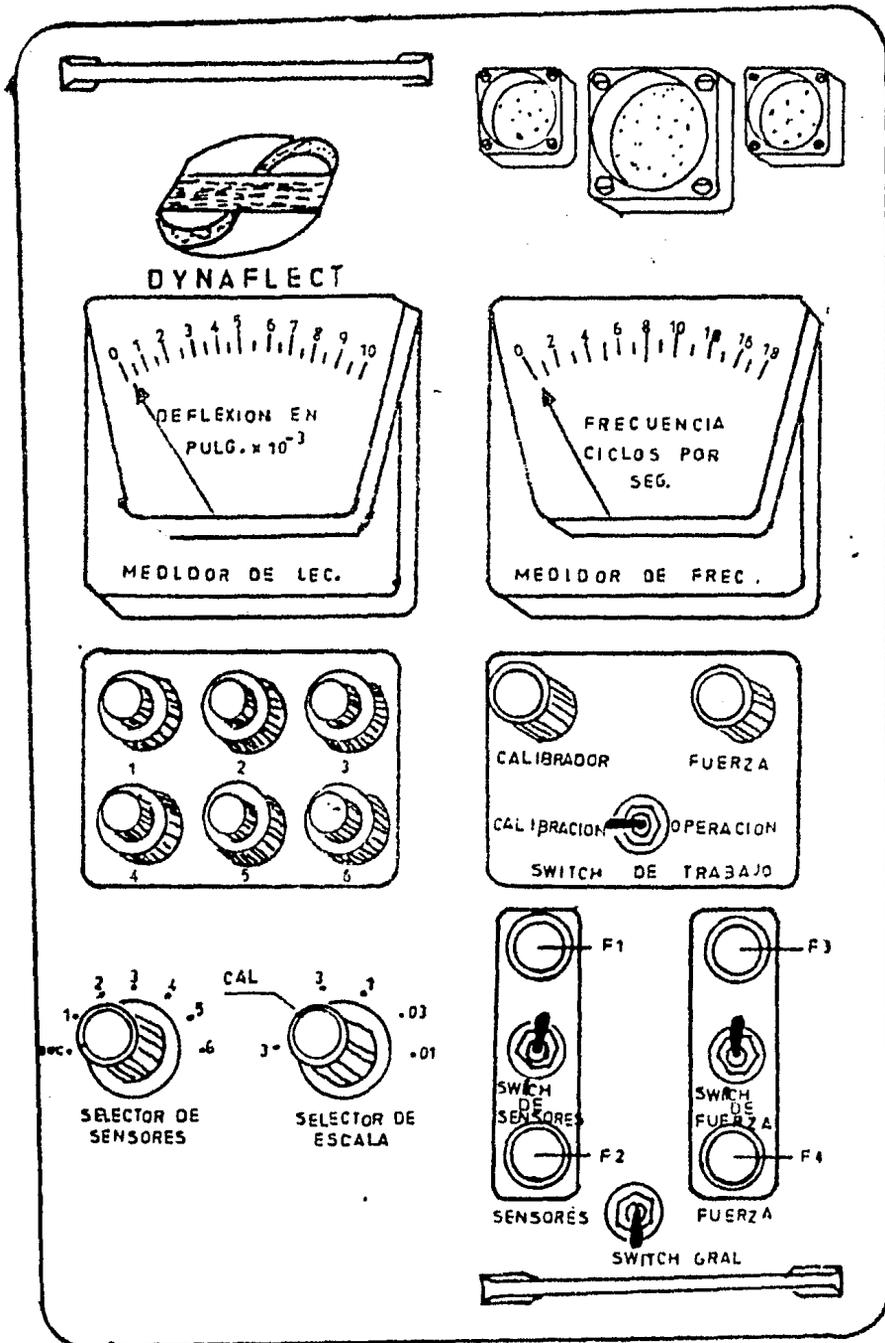


FIG. MOVIMIENTO ONDULATORIO TRANSVERSAL
 II-3-3



CAJA DE CONTROL

- F1.- FOCO VERDE SENSORES ARRIBA
 F2.- FOCO ROJO SENSORES ABAJO
 F3.- FOCO AZUL RUEDAS RIGIDAS ARRIBA Y MOTOR DE FUERZA APAGADO
 F4.- FOCO AMARILLO RUEDAS RIGIDAS ABAJO Y MOTOR DE FUERZA TRABAJANDO.

FIG II-3-5

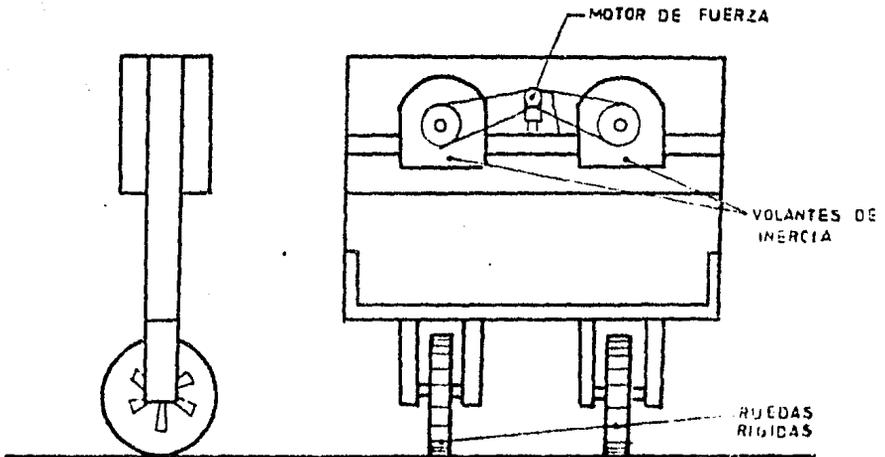
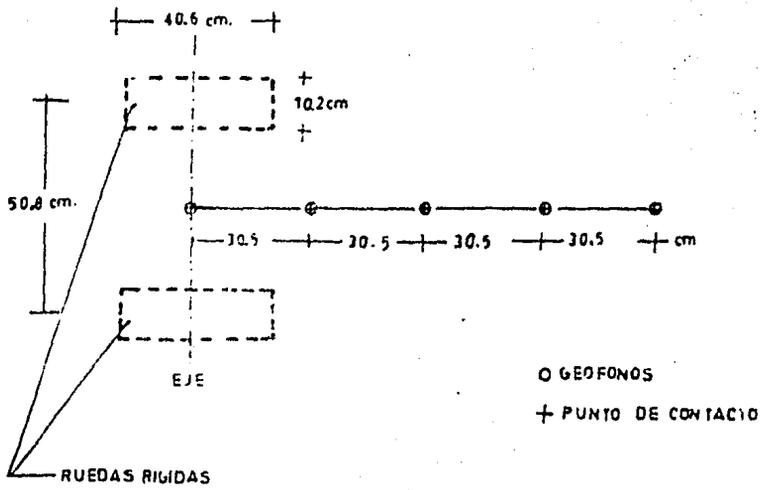


FIG. II-3-6 UBICACION DE GEOFONOS, Y SISTEMA DE CARGA VIBRATORIA

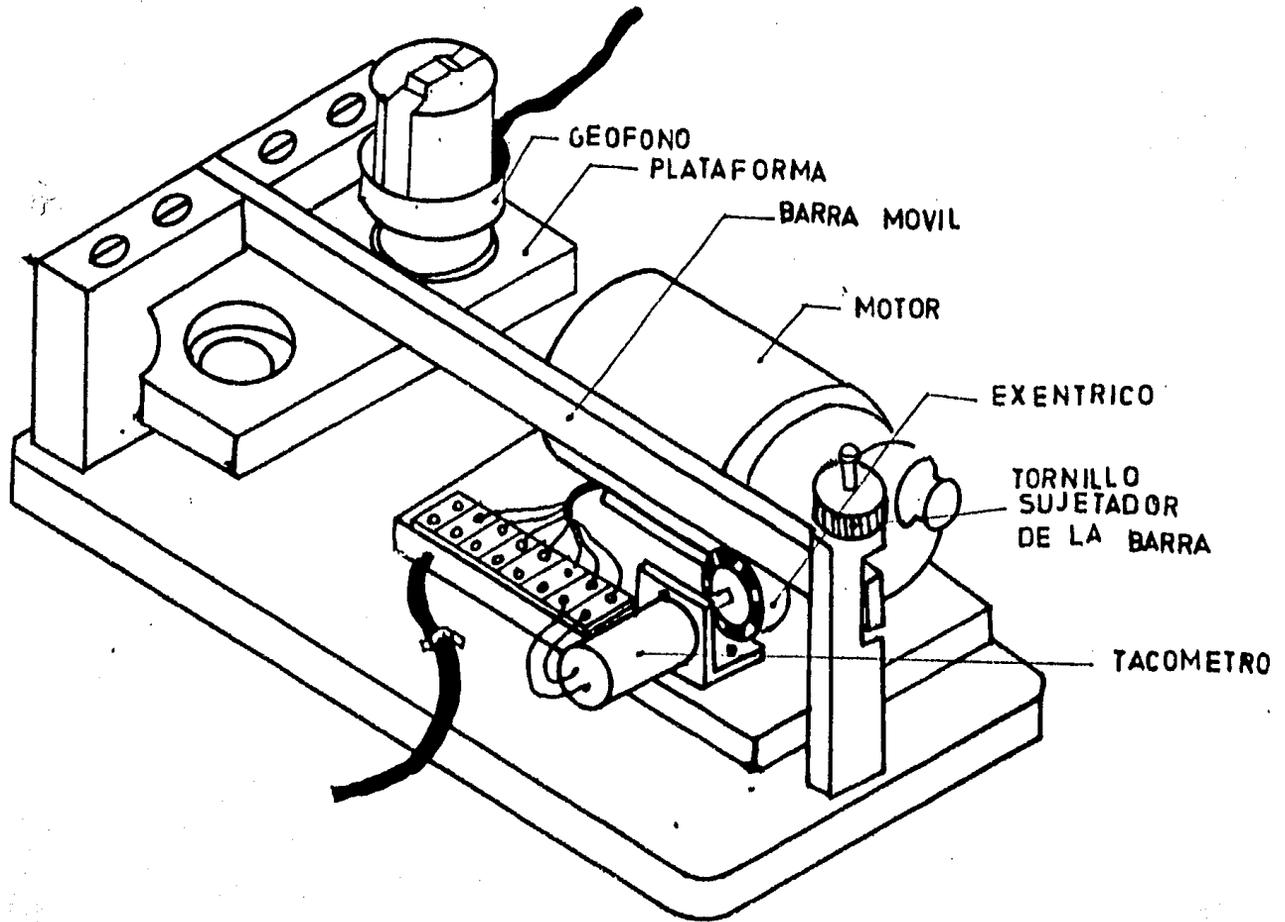


FIG II-3,7 CALIBRADOR DE GEOFONOS

Dado que el movimiento es cíclico la determi
nación de su amplitud, no requiere un sistema de-
referencia fijo. Debido a estó, el sistema Dyna-
flect está libre de errores que afectan a los de-
más métodos, que requieren puntos de referencia -
locales para sus mediciones ya que al emplear una
referencia inicial la cuál puede considerarse co-
mo localizada en el centro de gravedad de la tie-
rra.

Las mediciones de las deflexiones son leídas
en un medidor de la unidad de control la cuál es-
ta localizada a un lado del conductor del vehícu-
lo o del operador del equipo.

La evaluación de este pavimento por el méto-
do de deflexiones en tramos previamente selecció-
nados, nos permite obtener una serie de valores -
de los cuáles es necesario conocer un valor carac-
terístico utilizando métodos estadísticos, podrá-
determinarse la deflexión característica del tra-
mo, corrigiendo los valores por temperatura utili-
zando la gráfica de la figura II-3-8.

El perfil de deflexiones de las 5 lecturas--
obtenidas en casa estación, puede dibujarse so--
bre una gráfica semilogarítmica en donde el eje--
de las ordenadas en escala logarítmica represen--
ta los valores de la deflexión y el eje de las --
abscisas (en escala natural) corresponde al kilo--
metraje de cada estación. Los perfiles forman --
familias de curvas que representan diferentes --
condiciones de comportamiento de la estructura --
del pavimento.

Los perfiles de las deflexiones proporcio--
nan ciertas características, que pueden ser fá--
cilmente identificadas y que sirven para hacer --
una evaluación más técnica del pavimento .

Algunas de estas características son :

- a).- La deflexión leída en el sensor No.1 es el--
primer indicador de resistencia o debilidad.
- b).- Dependiendo de la forma de la curva; una --
curva cóncava indica que la capa superficial es--
la más débil de la estructura.

Una forma convexa indica que las capas infe--
riores son las que se pres ntan con mayor debili--
dad.

- c).- Dependiendo de la pendiente de la curva; --
pendientes muy inclinadas indican debilidad, --

pendientes tendidas indican resistencia.

d).- Los sensores más cercanos a las ruedas rígidas en donde se aplica la carga nos dan el conocimiento de las capas superficiales, los sensores más alejados indican las características de las capas de apoyo .

Analizando los perfiles de la fig. II-3-9 se puede observar lo siguiente.

a).- La buena uniformidad de la familia de curvas, significa un comportamiento adecuado de las diferentes capas que constituyen el pavimento.

b).- La forma convexa en la parte superior de la curva indica que las capas inferiores son las que presentan mayor debilidad, sin embargo las curvas presentan la forma cóncava en su parte inferior lo que significa que la capa intermedia (base) es la más débil del sistema.

c).- La deflexión máxima disminuye cuando se aumenta el espesor de carpeta de concreto asfáltico , el espesor de carpeta es de 3 pulg. del kilometraje 1+000 al 1+100 y de 4 pulg. de espesor del kilometraje 1+180 al 1+240.

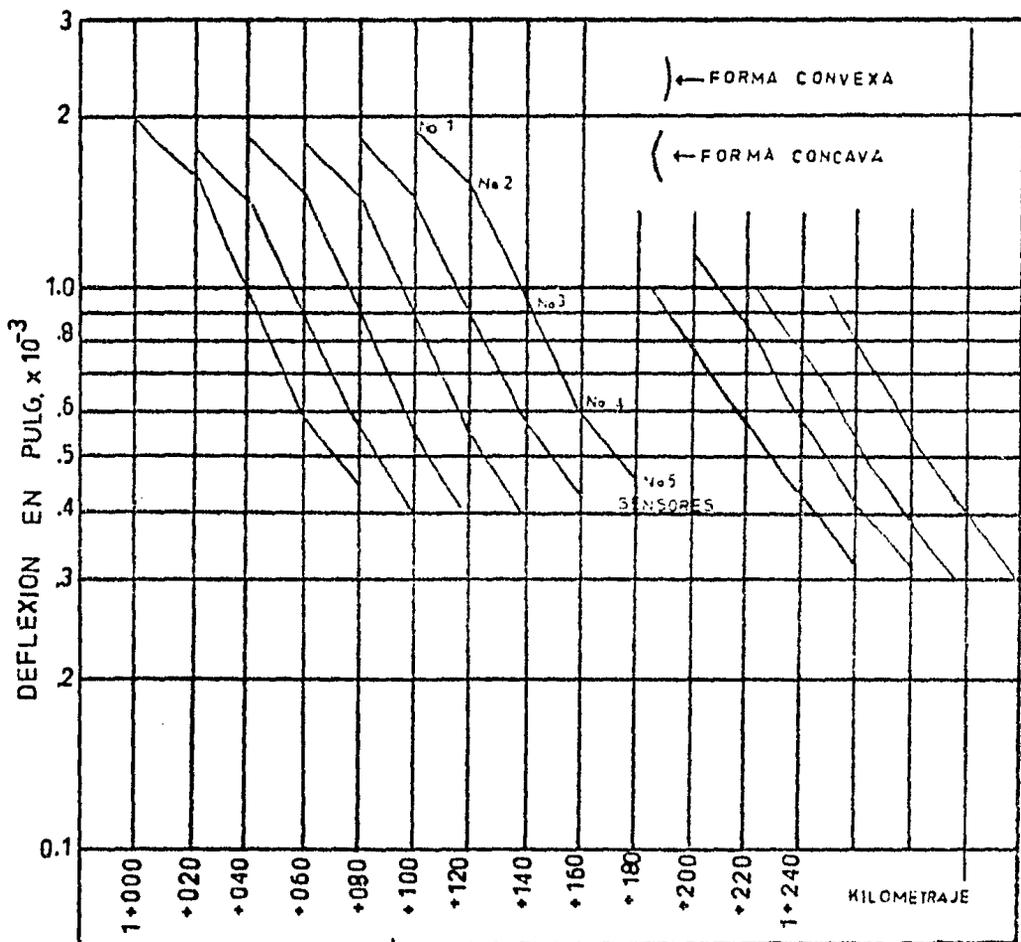


FIG. I-39 CURVA TÍPICAS DEL PERFIL DE LOS CINCO GEOFONOS

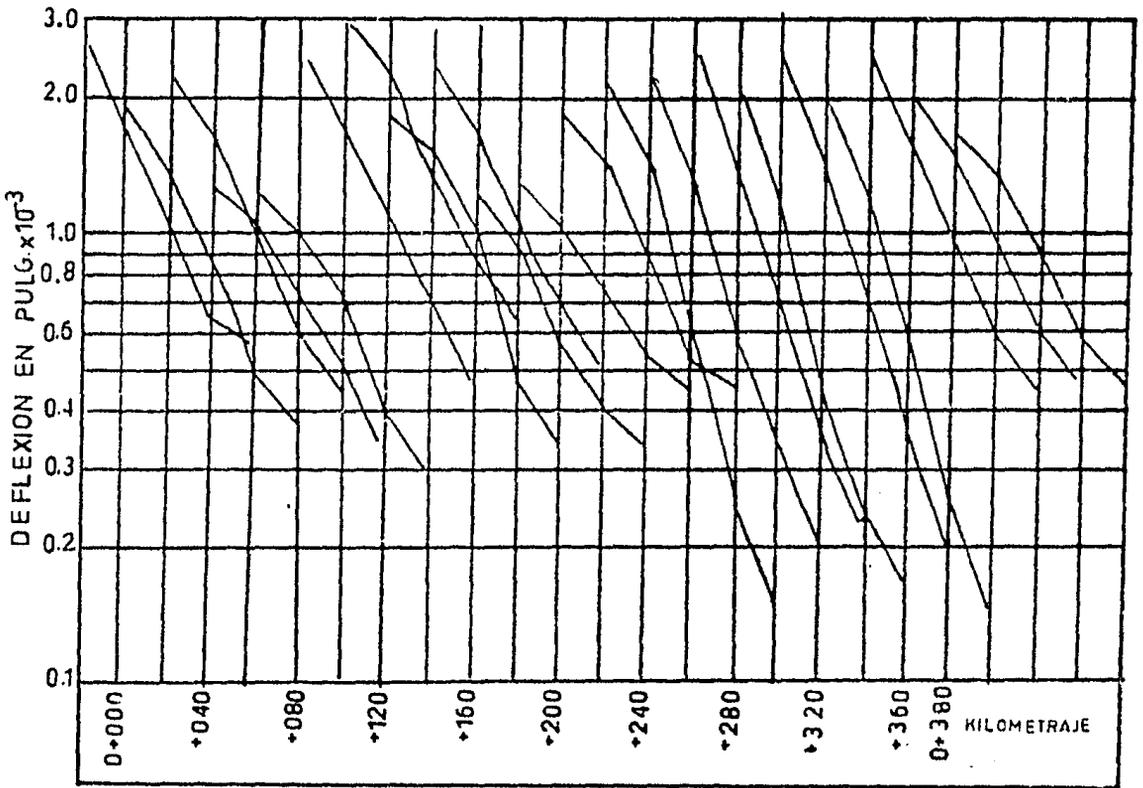


FIG. 10 CURVAS TÍPICAS DEL PERFIL DE LOS 5 GEOFONOS

Analizando los perfiles de la figura II-3-10 se puede observar:

a).- La deflexión del sensor No. 1 es muy heterogénea revelando un comportamiento inadecuado del -- conjunto.

b).- La mala uniformidad en la familia de curvas-- significando resistencias muy variables en el tra-- mo , este caso requiere un estudio más detallado-- de pruebas de laboratorio para determinar la re-- sistencia y calidad de los materiales que se com-- ponen la estructura del pavimento así como pesos-- volumétricos y contenido de humedad en el lugar.

c).- La pendiente inclinada de las curvas indica-- debilidad de toda la estructura.

Correlación entre las deflexiones Viga Ben-- kelman y Dynaflect.

La gráfica de la fig. II-3-11 presenta las -- características de correlación entre las deflexió-- nes determinadas con viga Belkenman y las del Dy-- naflect.

La curva correspondiente a un peso de 6.8 -- ton. (15,000 lbs.) por eje simple, fue elaborada--

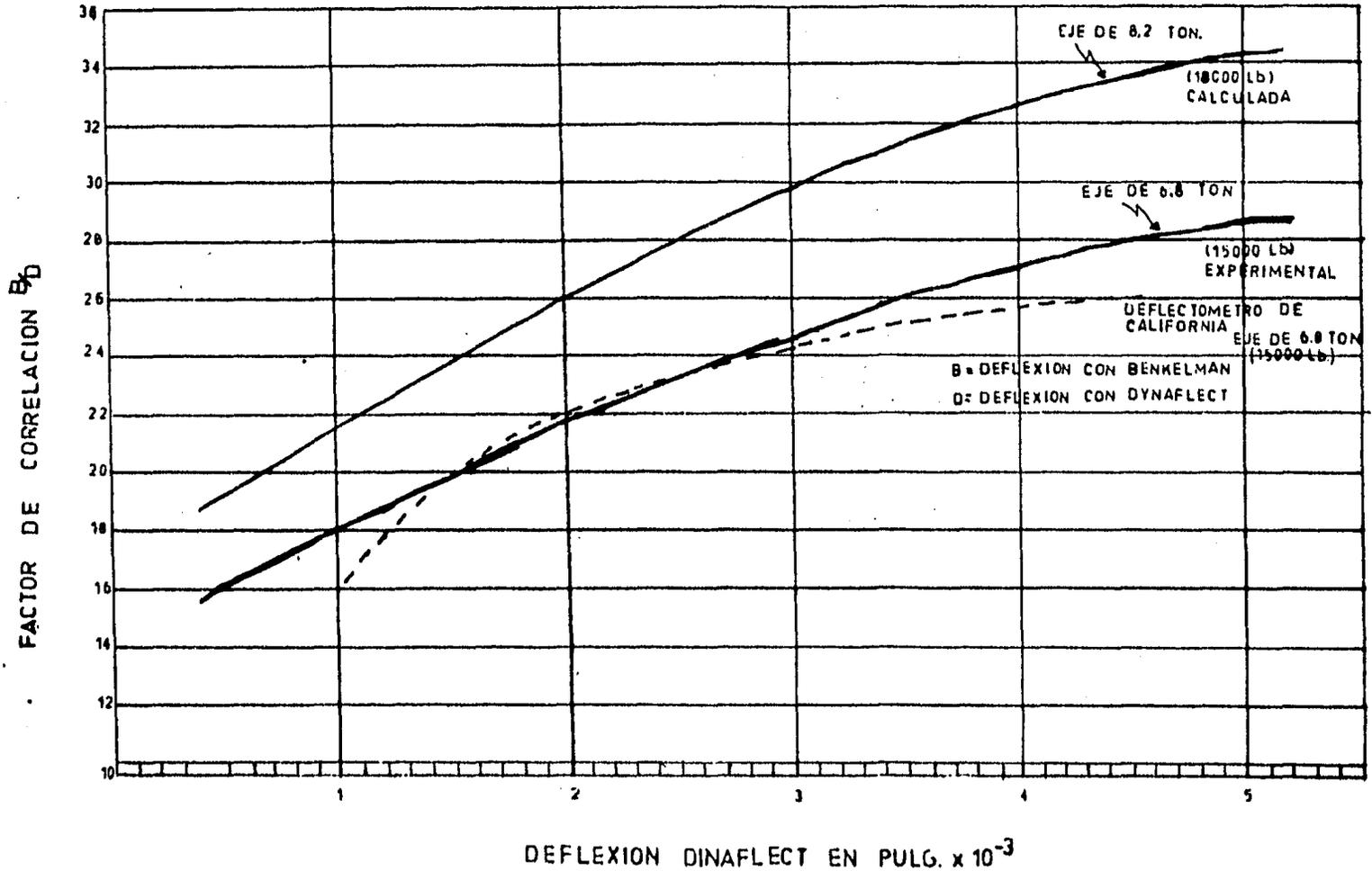


FIG. 11. VARIACION DE LA CORRELACION DE DEFLEXIONES

V. BENKELMAN — DYNAFLECT.

mediante los resultados obtenidos en forma experimental (Presentada por ROADS AND STREETS EN USA).-- Mientras que la curva de la parte superior representa la correlación de ambas reflexiones considerando un eje simple de 8.2 ton. (18,000 lbs.). -- calculada sobre la base de suponer que las deflexiones son proporcionales a las cargas que las -- producen en un determinado rango de variación.

Esta hipótesis a quedado demostrada en forma experimental mediante resultados obtenidos en la prueba de SANCP.

La curva superior de la gráfica a quedado -- confinada en sus proporciones correspondientes -- a los extremos, mediante determinaciones hechas -- en el pavimento de la autopista México-Cuernavaca

La curva punteada corresponde a la correlación entre el deflectómetro de California y el -- Dynaflect para un eje simple de 6.8 ton. (15,000 libras).

Representa un grupo de valores de la deflexión con una desviación estándar de 0.5 .

En general estas correlaciones indican que el factor de correlación B/D depende de la magnitud de la deflexión medida.

Por lo que se refiere al equipo a utilizar para la medición de las deflexiones, la selección esta basada en su disponibilidad, costo y necesidad de avance, el costo de una Viga Benkelman es considerablemente menor que el de un Deflectógrafo dinámico tipo Dynaflect, pero -----

la rapidez y eficiencia en la determinación de las lecturas de deflexión que puede lograrse con este último equipo es mucho mayor que cuando se utiliza una viga Benkelman.

3-3.- Método LCN.

Es el procedimiento de valuación estructural para aeropistas desarrollado en Inglaterra, y que fundamentalmente consiste en determinar, mediante una prueba de placa, el denominado "Número de Clasificación por carga" (LCN) este número es representativo de la capacidad estructural del pavimento.

El LCN es un sistema para clasificar tanto el pavimento de un Aeropuerto como a los aviones que lo operan; en el sistema se comparan las características de las aeronaves con la capacidad estructural de los pavimentos.

El LCN del pavimento resulta de un estudio de campo que se fundamenta en la realización de pruebas de placa; el LCN de las aeronaves depende de la geometría y disposición de las ruedas, de la presión de inflado y de las características del propio pavimento. Se considerará que una

aeropista es apropiada para la operación de una-
aeronave cuando el LCN del pavimento es mayor --
que el de la aeronave.

En rigor tanto el LCN de la aeropista como-
el LCN de la aeronave se obtienen haciendo de --
los parámetros que se han mencionado anteriomen-
te.

El propio procedimiento de evaluación pre--
senta algunas normas de criterio respecto de lo-
anterior; así por ejemplo, se establece que --
cuando el LCN del aeronave de diseño sea de 1.1-
a 1.25 veces el LCN del pavimento puede permitir
se, con cierta confiabilidad, unas 3,000 opera--
ciones adicionales antes de proceder a una nueva
evaluación así mismo cuando el LCN del aeronave-
sea superior al doble del LCN del pavimento. es-
te sólo podrá utilizarse en casos de emergencia.

CAPITULO III

METODOS DE CALCULO PARA LA DETERMINACION DEL REFUERZO O PARA PROGRAMAR LA REHABILITACION.

Después de haber sido analizado el camino o pista de aterrizaje, se determinó que es necesario el refuerzo del pavimento debido a que es lo más conveniente, se requiriera cuantificar la magnitud de dicho refuerzo.

Se establecerán las normas y especificaciones a que tendrá que sujetarse su construcción, se debe de considerar si es necesario la reparación de las obras de drenaje (puentes, obras de alivio, cunetas, contracunetas, lavaderos, drenes para asegurar un comportamiento satisfactorio.

Siempre al diseñar el refuerzo se considerará para las condiciones estructurales más críticas de acuerdo como se haya encontrado el camino en estudio esto difiere si se toma en cuenta el costo para efectuar la rehabilitación ya que se opta por lo general a utilizar el refuerzo en tramos pequeños, de acuerdo a sus diferentes condiciones de capacidad estructural, que son procedimientos constructivos poco prácticos que a su vez repercuten desfavorablemente en los costos.

Para poder llegar a un proyecto satisfactorio es necesario determinar la necesidad del refuerzo y que este sea el de menor costo posible

En un pavimento flexible que tiene capas estabilizadas con materiales como asfalto, cemento cal, etc. los espesores del refuerzo deben ser proporcionados por una sobrecarpeta de concreto-asfáltico o una combinación de ésta y capas de material granulado.

Los métodos que se mencionan utilizan las deflexiones que fueron medidas en la superficie del pavimento utilizando la viga de Benkelman -- bajo la acción de la carga correspondiente a un eje simple con arreglo de llantas en dual, si estas deflexiones fueran obtenidas por el deflectografo dinámico (Dynalect) hay una relación que nos permite transformar a deflexiones tipo Benkelman, como se vé en la Fig. III-3-1 .

En la figura III-3-1 se puede observar la correlación dada por el fabricante del Dynalect para pruebas de viga Benkelman con eje cargado - con 6.8 toneladas (15,000 lbs.), también aparece la viga Benkelman cargada con eje de 8.2 toneladas (18,000 lbs.) .

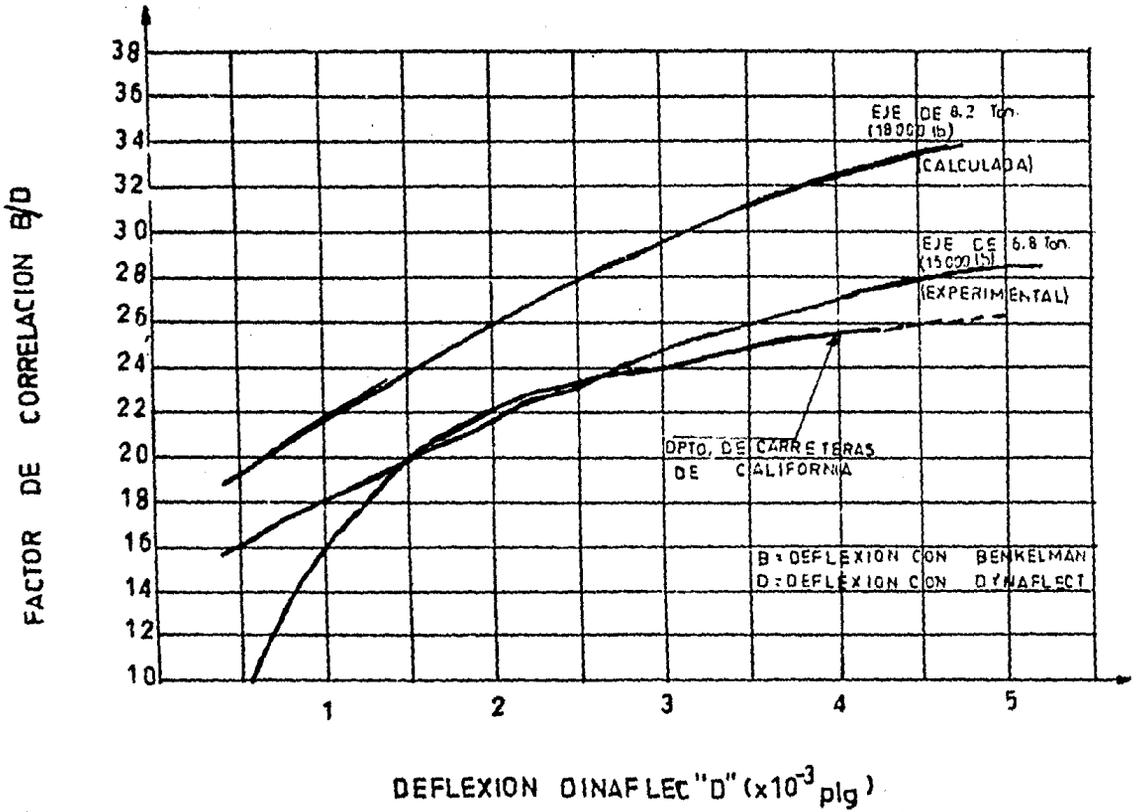


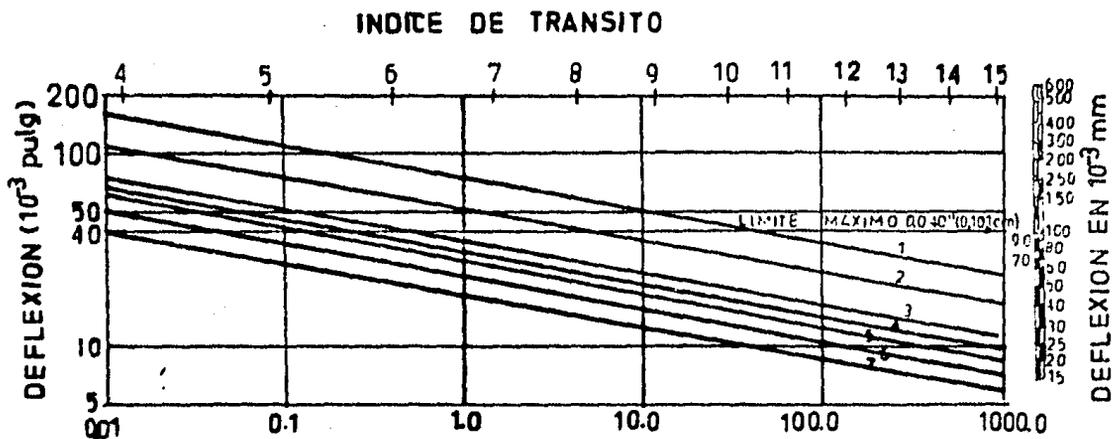
FIG III-3-1 CORRELACION OPERACIONAL ENTRE LA VIGA BENKELMAN Y EL DISPOSITIVO DYNAFLECT (La curva para eje de 15000lb es proporcionada por el fabricante del Dynaflect)

Está gráfica se obtuvo un tanto teórica - estableciendo un coeficiente de correlación - - entre ambas deflexiones Benkelman y se acepta - que la deflexión Dynaflect varía también de un caso a otro en la misma proporción se indica -- también la correlación experimental a que llegó el departamento de carreteras de California entre eje de 6.8 ton. (15,000 lbs.) sobre la viga Benkelman y el Dynaflect.

3-1.- Método de California.

Fué desarrollado con base en la observación del comportamiento de pavimentos reforzados, y - consiste en establecer un límite máximo de de- - flexión que pueda permitirse a la estructura del pavimento, como una medida de su capacidad es- - tructural, está en función de dicho límite del - espesor de la capa asfáltica de rodamiento y al número de aplicaciones de una carga por rueda de 2270 kg. (5,000 lbs.) que el pavimento ha de so- - portar.

Es necesario determinar el nivel de defle- - xión tolerable de la superficie del pavimento fi- - gura III-3-2 , los espesores de la capa asfálti- - ca representados por las rectas, el eje de las - abcisas corresponde al número de repeticiones de una carga por rueda de 2,270 kg. (5,000 lbs.), - para cualquier caso el límite máximo de defle- - xión permisible es de 40 milésimos de pulgada.



CARGA POR RUEDA EQUIVALENTE A (2270kg) EN MILLONES

TIPOS DE SUPERFICIES DE RODAMIENTO	ESPESOR: (cm)
1.-TRATAMIENTO SUPERFICIAL _____	1.2
2.-CONCRETO ASFALTICO _____	3
3.-CONCRETO ASFALTICO _____	6
4.-CONCRETO ASFALTICO _____	7.5
5.-CONCRETO ASFALTICO _____	9
6.-CONCRETO ASFALTICO _____	10
7.-CONCRETO ASFALTICO _____	15
7.-BASE TRATADA CON CEMENTO _____	15

FIG III-3-2 GRAFICA PARA LA DETERMINACION DEL NIVEL TOLERABLE DE DEFLEXION EN EL METODO DE CALIFORNIA

Cuando encontremos una base tratada con cemento de 15 ó más centímetros de espesor se usará la curva 7 .

No se puede aplicar el método de California a otros países nada más porque el espesor de sus carpetas es el mismo, para poderlo aplicar positivamente es necesario valorar el pavimento siguiendo los pasos siguientes:

a).- Hacer el análisis de tránsito, y con la gráfica de la fig. III-3-2, hasta llegar al número de ruedas de carga equivalente de 2,270 kgrs. (5,000-lbs.) se podrá calcular la deflexión tolerable del tipo Benkelman .

b).- Se mediran las deflexiones reales del pavimento en estudio, para tal fin se utilizarán la viga Benkelman (en caso de utilizar el Dynaflect se usara la gráfica de la fig. III-3-1) y de un camión lastrado con 6,810 kgrs. (15,000 lbs.) en su eje trasero (dual).

La medición sera con intervalos de 8 m., esto varía de acuerdo a las condiciones del pavimento que se analiza.

c).- Una vez ya obtenidas las deflexiones reales del pavimento, determinará dicho valor, tal que un

20% de las deflexiones medidas resulten mayor, - y el 80% restante menor. Esta deflexión estadística se representará por δ_{80} .

d).- δ_{80} deberá compararse con la deflexión tolerable que se obtuvo en el paso a).

Al hacer la comparación hay que tener presente que la máxima deflexión tolerable será --- 0.101 cm. (0.040 pulg.) .

En caso de que δ_{80} sea menor que la deflexión tolerable, en esta situación no será necesario ningún refuerzo en el pavimento como no sea un riego de sello o un riego de rejuvenecimiento pero en caso que δ_{80} resulta mayor que la deflexión tolerable deberá determinarse un porcentaje de reducción en la deflexión medida, según la siguiente expresión :

$$R_{\delta} = \frac{\delta_{80} - \delta_{Tol.}}{\delta_{80}} \quad 100$$

e).- Con el valor de R_{δ} se entra a la gráfica de la fig. III-3-3 para obtener los espesores de grava que se requiere como refuerzo del pavimento.

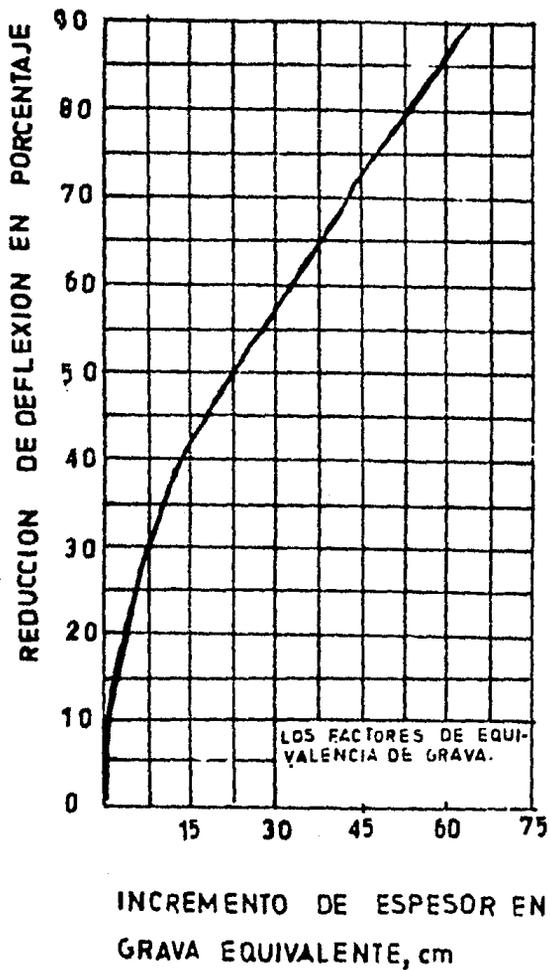


FIG.III-33 INCREMENTO DEL ESPESOR DE UN PAVIMENTO (grava equivalente) EN FUNCION DEL COEFICIENTE DE REDUCCION DE DEFLEXIONES

Es necesario una vez ya calculado y obtenido el espesor de la carpeta de concreto asfáltico, volver a calcular el nivel tolerable de deflexión, para compararlo con la deflexión real medida con la viga Benkelman en el campo; el nivel de deflexión tolerable debe resultar ya mayor que la deflexión real, en caso que no fuera así es necesario hacer otro tanteo, hasta llegar a un espesor de grava equivalente como refuerzo, que convertido en concreto asfáltico, - entramos ala tabla número III-3-1 para poder encontrar el coeficiente de un nivel de deflexión tolerable, igual o mayor a deflexión del campo .

Esté nuevo cálculo es necesario cuando cambia el espesor hipotético de la carpeta del pavimento, también debe cambiar en base a la fig. III-3-2 , el nivel tolerable de deflexión que debe exigirse a dicho pavimento.

Como ejem: determinar la sobrecarpeta del pavimento con los siguientes datos.

TIPO DE MATERIAL	INDICE DE TRANSITO	FACTOR DE GRAVA EQUIVALENTE
CARPETA DE CONCRETO ASFALTICO	5	2.5
	6	2.3
	7	2.2
	8	2.0
	9	1.9
	10	1.8
	11	1.7
	12	1.6
	13	1.6
	14	1.5
BASE ESTABILIZADAS CON ASFALTO		1.2
BASES TRATADAS CON CEMENTO	A	1.7
	B	1.5
	C	1.2
BASES GRANULARES DE MATERIAL TRITURADO		1.1
SUB-BASES Y BASES GRANULARES NATURALES		1.0

TABLA III-1 FACTORES DE GRAVA EQUIVALENTE
PARA DIVERSAS ESTRUCTURAS
DE PAVIMENTOS FLEXIBLES

Tramo	Viga Benkelman Deflexiones	IT	Apariencia
1	0.064 en pulg.	6.5	Carpeta agrietada en forma de piel- de cocodrilo.

La determinación de la deflexión permisible - del pavimento tomando en cuenta el fenómeno de la fatiga del concreto asfáltico para un espesor de - carpeta y un índice de tránsito que se obtiene su- sando la correlación de la fig. III-3-2

$$\delta_{\text{permisible}} = 0.039 \text{ pulg.} < \delta_c = 0.064 \text{ pulg.}$$

Por lo tanto el pavimento requiere una sobre carpeta suponiendo que se coloca una sobrecarpeta de 3 pulg. de concreto asfáltico, la deflexión -- permisible para este nuevo espesor será utilizando la correlación de la fig. III-3-2

$$\delta_p = 0.030 \text{ pulg.}$$

La reducción de la deflexión obtenida median te está sobrecarpeta será:

$$\delta_c - \delta_p = 0.064 - 0.030 = 0.034$$

Poniendola en porcentaje con respecto ala de flexión característica.

$$\frac{\delta_c - \delta_p}{\delta_c} \times 100 = \frac{0.034}{0.064} \times 100 = 53\%$$

En la correlación de la figura III-3-3, y con el porcentaje de reducción de la deflexión - obtendremos el sobre-espesor requerido en terminos de grava equivalente, en este caso se requiere un aumento de 10.5 de pulg. de grava equivalente a fin de reducir deflexiones en un 53% los factores en grava equivalente para los diferentes materiales son :

- 1" CA = 1.9" G.E.
- 1" BTC = 1.72 G.E
- 1" BTC (clase D) = 1.22" G.E
- 1" BTL = 1.2" G.E.

Donde:

CA = Concreto asfáltico

BTC = Base tratada con cemento

BLL = Base tratada con cal

G.E.= Grava equivalente.

La carpeta asfáltica supuesta de 3 pulgs. - de espesor, convertida a términos de grava equivalente será: $3 \times 1.9 = 5.7$ pulg. por lo tanto - será necesario colocar (10.5" - 5.7") igual ---- 4.8" de grava equivalente adicional a las 3 pulg. de concreto asfáltico .

Una posible reconstrucción podrá ser en la si-

guiente forma:

Colocar 3 pulg. de concreto asfáltico y una base hidráulica de 5 pulg. de espesor directamente sobre el pavimento existente.

3-2.- Método del Instituto Norteamericano del asfalto.

Esta basado en un límite de deflexión a la estructura del pavimento. Esta en función de la intensidad de aplicaciones de carga durante el estudio del pavimento.

Como primer paso será el de determinar el número de tránsito para diseño.

Segundo paso es obtener las deflexiones del pavimento, por medio de la viga Benkelman o el Dynaflect .

Tercer paso: el tramo que se va a analizar no de ser mayor de 15 puntos por km. o en su caso será de 10 en cada sección de prueba, considerando que el camino que se le asignan características de deterioro más o menos uniforme.

La deflección se obtiene bajo una carga de 4100 kg. (9,000 lbs.) en un sistema dual de llantas (8,200 kg. por eje del vehículo).

Se consideran los puntos estudiados aleatoriamente para calcularse la media aritmética de todos los valores obtenidos, así como la desviación estándar del conjunto de valores de acuerdo a la sección en estudio.

La Deflexión será :

$$\delta_c = (\bar{x} + 2 s) F_c$$

Donde:

\bar{x} = media aritmética de los valores individuales de la deflexión.

s = desviación estándar de los mismos valores en el mismo tramo.

f = Factor de ajuste por temperatura de la carpeta.

c = Factor de ajuste varía con el periodo del año en el cuál se hacen las mediciones (c=1 para el periodo que representan las condiciones más críticas del pavimento).

La fig. III-3-4 nos indica, para calcular el valor del coeficiente de ajuste por la temperatura de la carpeta.

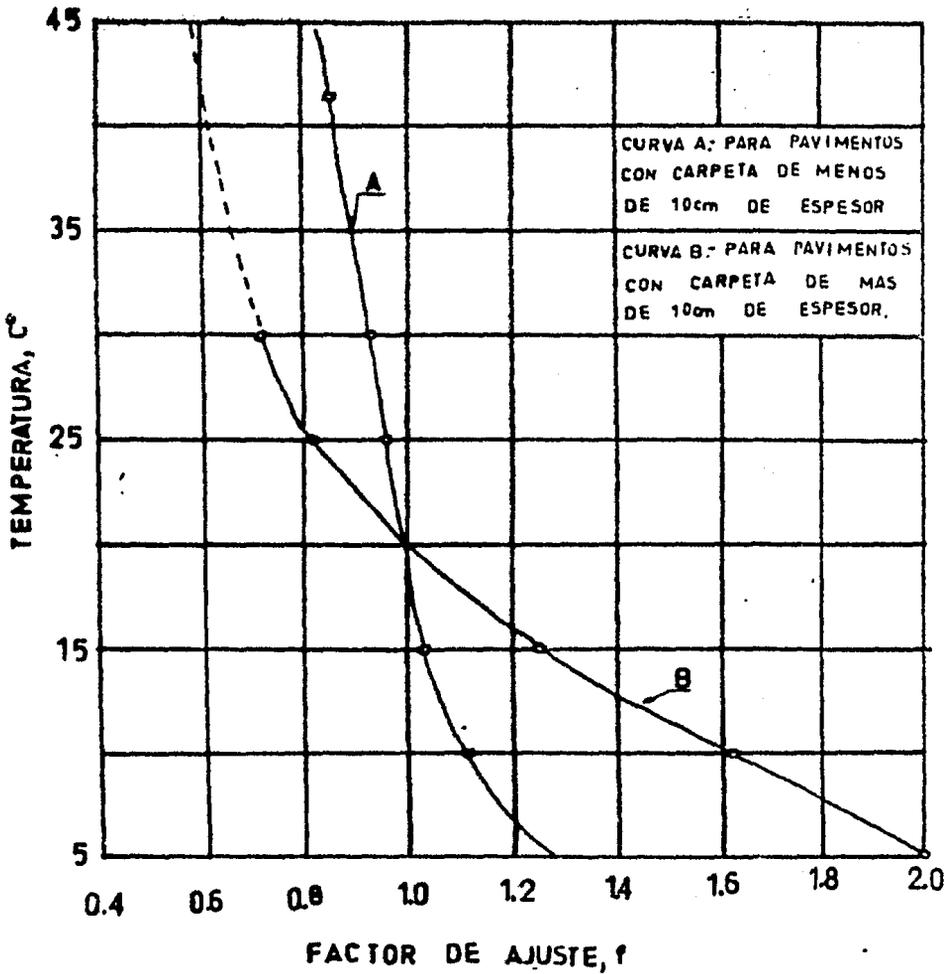


FIG.III-3-4 FACTORES DE CORRECCION POR TEMPERATURA
 EN LA DEFLECCION DE VIGA BENKELMAN

El coeficiente de ajuste se considera ($c=1$) en la época del año más crítico, o también tomando lecturas en el transcurso del año, calculando en cada caso la relación entre las lecturas tomadas y la correspondiente al periodo crítico, llevar estas lecturas es muy tardado por lo que resulta muy difícil llevar a cabo ya que es urgente la conservación del pavimento por el tránsito

Obteniendo los datos de la deflexión característica, el número de tránsito para diseño podremos entrar a la gráfica de la fig. III-3-5 -- donde se calcula el espesor del concreto asfáltico que el pavimento necesita como refuerzo.

El Instituto Norteamericano del Asfalto --- proporciona un criterio en el que estimando el tiempo en el cual un pavimento en buen estado va a llegar a necesitar un refuerzo considerando la deflexión característica actual y la tasa del crecimiento anual del tránsito en base en la fig. III-3-6 -

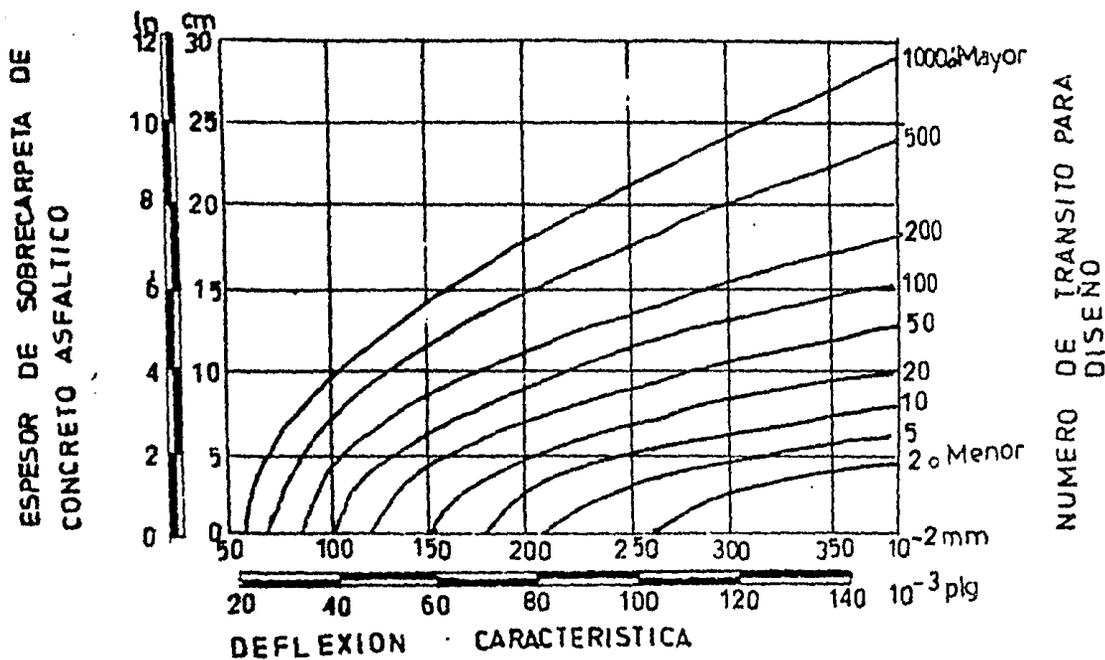


FIG. III-3-5 ESPESOR DE SOBRECARPETA DE REFUERZO EN FUNCION DE LA DEFLEXION CARACTERISTICA DEL PAVIMENTO

Es decir para entrar a la fig. III-3-6 es necesario contar con los datos de la deflexión característica, con esto podremos obtener el número de tránsito para diseño más alto que puede tener el camino si no requiere reparación.

Se va a comparar el número de tránsito para diseño más alto con el número de tránsito para diseño, en caso que último sea menor que el calculado en base a la gráfica III-3-6, en este caso el pavimento en estudio no requiriera refuerzo pronto, si coinciden ambos datos es que es necesario el refuerzo, en el caso que el pavimento tiene un número de tránsito mayor que el calculado en la gráfica. En ese caso el refuerzo ya se debió de haber ejecutado desde con anterioridad.

Si el número de tránsito para diseño del pavimento sea menor que el calculado con la gráfica de la fig. III-3-6, si se conoce la tasa de crecimiento anual del tránsito (tabla III-2), estimar el tiempo que habrá de transcurrir hasta que el pavimento tenga el número de tránsito igual al calculado en la gráfica de la fig. III-3-6 obteniéndose el lapso en el que el pavimento

PERIODO DE DISEÑO AÑOS	TASA DE CRECIMIENTO ANUAL DEL TRANSITO					
	0	2	4	6	8	10
1	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
2	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
4	0.20	0.21	0.21	0.22	0.22	0.23
6	0.30	0.32	0.33	0.35	0.37	0.39
8	0.40	0.43	0.46	0.50	0.53	0.57
10	0.50	0.55	0.60	0.66	0.72	0.80
12	0.60	0.67	0.75	0.84	0.95	1.07
14	0.70	0.80	0.92	1.05	1.21	1.40
16	0.80	0.93	1.09	1.28	1.52	1.80
18	0.90	1.07	1.28	1.55	1.87	2.28
20	1.00	1.21	1.49	1.84	2.29	2.86
25	1.25	1.60	2.08	2.74	3.66	4.92
30	1.50	2.03	2.80	3.95	5.66	8.22
35	1.75	2.50	3.68	5.57	8.62	13.55

TABLA. III-2 FACTORES DE CORRECCION DEL NTI,
PARA OBTENER EL NTD.

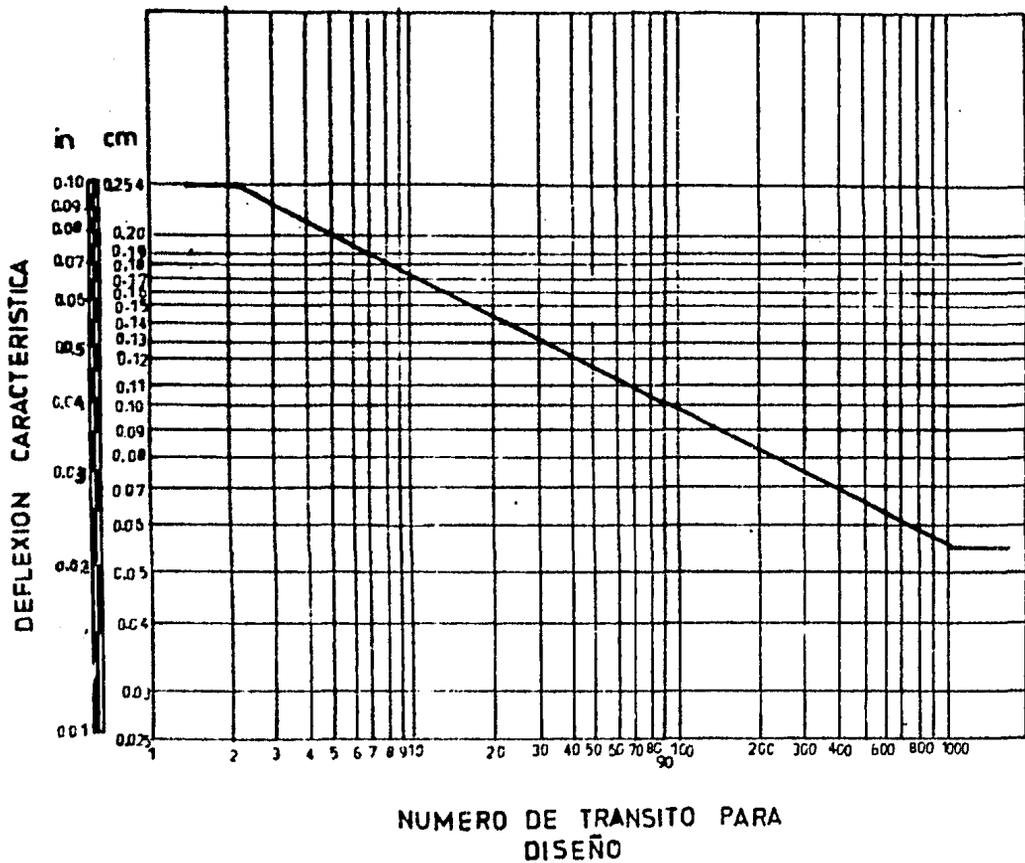


FIG III-3-6 NUMERO DE TRANSITO LIMITE (a partir del que se requiere refuerzo) PARA UNA DEFLEXION CARACTERISTICA DADA.

requiera conservación.

3-3.- Método Canadense.

Este método es exclusivamente para aeropistas, para este método partiremos de la expresión de Mc.Leod

$$e = K \log. \frac{p}{s}$$

Donde:

e = espesor total del pavimento, hasta el nivel superior de la capa subrasante en centímetros.

K = Constante de diseño, en cm. depende del diámetro del área cargada supuesta circular.

p = Carga de la rueda de diseño, en Kgs.

s = Soporte de la subrasante en Kgs.

Siempre se tendrá el dato de la carga de la rueda de diseño, debido a que este dato es proporcionado por el fabricante de las llantas.

Para encontrar el valor de e será necesario efectuar los sondeos de carácter exploratorio, para encontrar a K es necesario entrar a la gráfica de la fig. III-3-7.

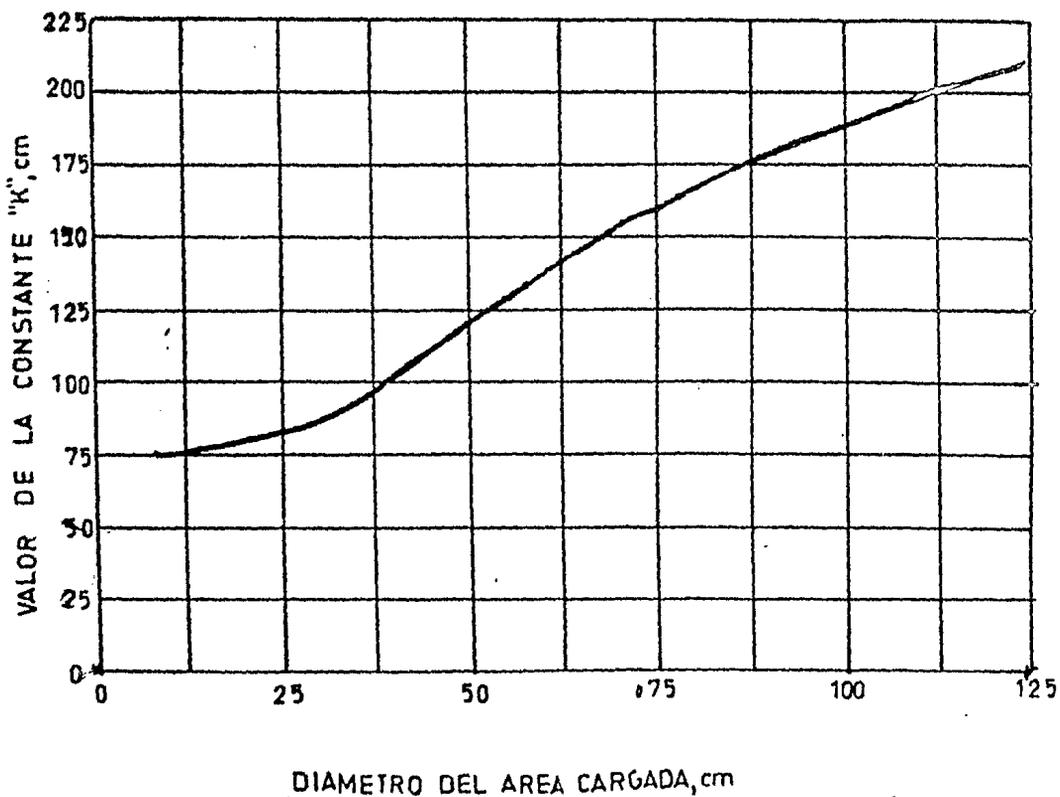


FIG. III-3-7 VALORES DE LA CONSTANTE DE DISEÑO 'K' EN FUNCION DEL AREA CIRCULAR CON QUE SE APLICA LA CARGA.

Va s estar en función del diámetro del área que aplique la carga, ya sea una placa de prueba o la llanta del avión.

En caso que la carga la aplique el avión, - conociendo la carga equivalente y la presión de inflado con la que opera el avión obtendremos el área de contacto que suponemos circular, obtendremos el diámetro.

Al hacer una prueba de placa, el diámetro - será conocido, y (s) puede operarse como una incognita.

En caso que se efectuara la prueba de placa en la superficie de rodamiento, p será 10 repeticiones de carga con una deflexión de 1.27 cm. -- (0.5 pulg.), con estos valores se obtiene s .

Las pruebas de placa, pueden ser sustituidas por la realización de mediciones con la viga Bonkelman; de estas pruebas que se han realizado en Canada con buenos resultados como se puede -- observar en la fig. III-3-3.

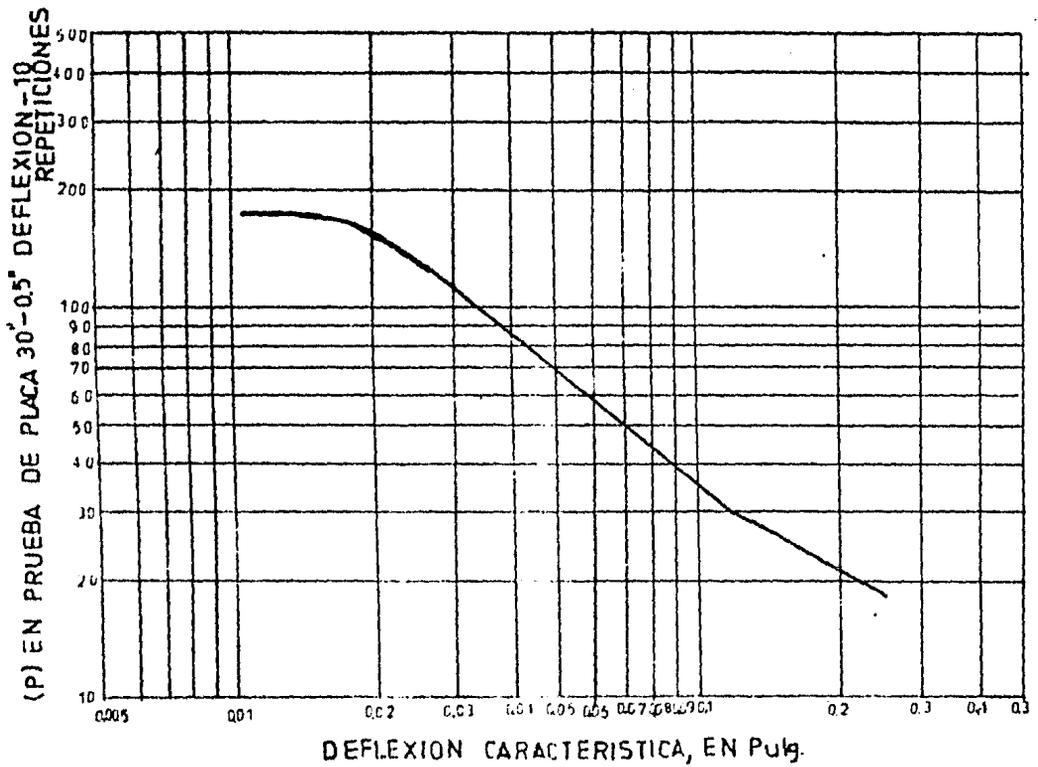


FIG. 3-8 CORRELACION ENTRE RESULTADOS DE PRUEBAS DE PLACA Y MEDIDAS DE DEFLEXION CON VIGA BENKELMAN

Considerando la correlación entre la viga -
Benkelman y Dynaflect. Estos dispositivos son -
para valuar el soporte en el método de Canada.

En este método se define la deflexión con -
la viga Benkelman con la expresión .

$$\int c = \bar{x} + 2 s$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética de las lecturas

s = Desviación estandar.

Para obtener s partiremos de la fórmula de -
 $e = K \log. \frac{p}{s}$ con los datos de la aeronave --
crítica de operación y su equivalente rueda de -
diseño, una vez ya obtenido el soporte que debe -
rá de tener un pavimento, para operar convenientemente bajo la aeronave crítica y durante el -
número de operaciones para las que se estime que debe diseñarse el pavimento, a este valor de soporte se le llamará Sn .

Para calcular el factor de sobrecarga será-

$$fs = \frac{Sn}{s}$$

Las experiencias de este método indican que -
el número de operaciones que puede llegar a tener la aeropista estan en función del factor de -

sobrecarga, haciendo la indicación que después - de dicho número de operaciones el pavimento debe rá reforzarse, en caso de que se hiciera una ing pección cuidadosa, y el resultado indicara que - no han progresado las deformaciones, en ese caso sera posible permitir un ciclo de operaciones -- adicionales.

La tabla III-3 recoge la experiencia del Ca nada entre el factor de sobrecarga y el número - de operaciones permisibles antes del refuerzo.

Este método nos indica el momento en que el refuerzo va a ser necesario, el espesor por co locar debe de resultar de la aplicación de un -- procedimiento de diseño de pavimentos que nos in dica el espesor necesario para la condición de - carga que se tenga.

FACTOR DE SOBRECARGA	NUMERO DE OPERACIONES ENTRE INSPECCIONES
MENOR DE 1.25	3,000
1.25 A 1.50	300
1.50 A 2.00	30
MAYOR DE 2	USAR EL PAVIMENTO EN CASO DE EMERGENCIA

TABLA III-3 CORRELACION ENTRE EL FACTOR DE SOBRECARGA (f_g) Y EL NUMERO DE OPERACIONES PERMISIBLE ANTES DEL REFURZO.

Estudio de Deflexiones.

De los datos obtenidos del tramo de prueba- (Irapuato-Pénjamo) seleccionados se determinaron las deflexiones con equipo Dynaflect en estaciones a cada 20 m. de separación. Las lecturas obtenidas de los 5 Geófonos se anotan en sus registros correspondientes, como los registros de la figura III-3-9.

El conocimiento de la deflexión característica involucra un análisis estadístico de las lecturas del sensor No. 1. El concepto estadístico fija una serie de normas matemáticas para coleccionar, presentar y procesar los datos al repetir varias veces un experimento, también proporciona las reglas para el diseño, tomando decisiones cuando aparecen en el problema situaciones de incertidumbre.

Los conceptos que intervienen en el cálculo estadístico son los siguientes.

a).- Medidas de centralización.

Media aritmética.- Se le define como el promedio que se sitúa al valor central del conjunto de datos ordenados; según su magnitud se representan por \bar{X} .

DEFLEXIONES DINAMICAS CON EQUIPO DYNAPLECT

NOMBRE Iranuato-Penjamo CARRIL Derecho
 ORIGEN Iranuato, Gto. Tramo Km 35 + 000 A Km 35 + 500

KM	SENSOR 1			SENSOR 2			SENSOR 3			SENSOR 4			SENSOR 5		
	LEC	FAC	DEF												
35 + 000	2.5	1.0	2.5	6.1	0.3	1.2	3.4	0.3	1.0	2.2	0.3	.60	1.2	0.3	.30
+ 020	3.2	1.0	3.2	2.2	1.0	2.2	3.4	0.3	1.0	2.0	0.3	.60	1.2	0.3	.30
+ 040	2.8	1.0	2.8	2.0	1.0	2.0	3.6	0.3	1.0	2.2	0.3	.60	1.3	0.3	.30
+ 060	3.0	1.0	3.0	2.2	1.0	2.2	3.6	0.3	1.0	2.0	0.3	.60	1.2	0.3	.30
+ 080	2.2	1.0	2.2	5.0	0.3	1.5	3.0	0.3	0.9	1.8	0.3	.54	1.2	0.3	.30
+ 100	3.0	1.0	3.0	7.5	0.3	2.3	4.6	0.3	1.4	3.0	0.3	.90	2.0	0.3	.60
+ 120	3.3	1.0	3.3	2.6	1.0	2.6	4.7	0.3	1.4	3.0	0.3	.90	2.0	0.3	.60
+ 140	3.1	1.0	3.1	2.4	1.0	2.4	4.4	0.3	1.4	2.9	0.3	.87	2.0	0.3	.60
+ 160	3.0	1.0	3.0	2.2	1.0	2.2	4.1	0.3	1.2	2.5	0.3	.75	1.6	0.3	.48
+ 180	3.1	1.0	3.1	2.4	1.0	2.4	4.7	0.3	1.4	3.0	0.3	.90	2.2	0.3	.60
+ 200	2.6	1.0	2.6	2.0	1.0	2.0	3.7	0.3	1.1	2.3	0.3	.60	1.5	0.3	.45
+ 220	2.5	1.0	2.5	1.8	1.0	1.8	3.3	0.3	.99	2.1	0.3	.63	1.3	0.3	.39
+ 240	3.2	1.0	3.2	2.4	1.0	2.4	4.2	0.3	1.3	2.7	0.3	.71	1.3	0.3	.54
+ 260	2.7	1.0	2.7	2.0	1.0	2.0	4.1	0.3	1.2	2.7	0.3	.81	1.9	0.3	.57
+ 280	2.3	1.0	2.3	1.9	1.0	1.9	4.0	0.3	1.2	2.3	0.3	.74	2.1	0.3	.63
+ 300	2.5	1.0	2.5	2.0	1.0	2.0	4.3	0.3	1.3	3.0	0.3	.90	2.2	0.3	.60
+ 320	2.9	1.0	2.9	2.3	1.0	2.3	4.5	0.3	1.3	2.3	0.3	.84	1.9	0.3	.57
+ 340	2.7	1.0	2.7	2.0	1.0	2.0	3.9	0.3	1.2	2.6	0.3	.78	1.2	0.3	.54
+ 360	2.7	1.0	2.7	2.1	1.0	2.1	4.0	0.3	1.2	2.7	0.3	.81	1.6	0.3	.54
+ 380	2.9	1.0	2.9	2.2	1.0	2.2	4.2	0.3	1.4	3.3	0.3	.99	2.5	0.3	.75
+ 400	3.4	1.0	3.4	2.5	1.0	2.5	4.5	0.3	1.3	2.9	0.3	.87	2.0	0.3	.60
+ 420	2.1	1.0	2.1	4.7	0.3	1.4	2.8	0.3	.84	1.2	0.3	.54	1.3	0.3	.39
+ 440	2.7	1.0	2.7	2.0	1.0	2.0	3.2	0.3	1.1	2.4	0.3	.72	1.0	0.3	.48
+ 460	2.7	1.0	2.7	2.1	1.0	2.1	3.9	0.3	1.2	2.6	0.3	.78	1.2	0.3	.54
+ 480	2.6	1.0	2.6	1.2	1.0	1.2	3.2	0.3	1.1	2.5	0.3	.75	1.8	0.3	.54
35 + 500	3.3	1.0	3.3	2.4	1.0	2.4	3.9	0.3	1.2	2.3	0.3	.69	1.5	0.3	.45

OBSERVACIONES _____

FIG. III-3-9

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N X_i}{N} = \frac{\sum X}{N}$$

Donde:

X_i = Valor de cada uno de los datos.

N = Número de datos de la muestra.

MODA.- La moda es una serie de datos que es aquel valor que se presenta con mayor frecuencia. La moda puede no existir, incluso si existe puede no ser única.

PERCENTIL.- Si una serie de datos se coloca en orden de magnitud los valores que dividen los datos en cien partes iguales se llama percentiles - y se representan por:

$$P_1, P_2, \dots P_{80}, \dots P_{99}$$

b).- Medidas de dispersión.

Rango.- El rango de un conjunto de números es la diferencia entre el mayor y el menor de todos - - ellos.

Desviación estándar.- Es otra medida de dispersión o sea el grado en que los datos numéricos tienden a extenderse al rededor de un valor medio se define como la raíz cuadrada del cuadrado medio de las desviaciones a la media.

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}}$$

Variación estándar.- Se define como el cuadrado de la desviación estándar de un conjunto de datos.

$$v = S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N}$$

Coefficiente de dispersión.- Se define por la relación.

$$V = \frac{S}{\bar{X}}$$

que es independiente de las unidades utilizadas.

Por esta razón es útil para comparar distribuciones donde las unidades pueden ser diferentes un inconveniente del coeficiente de dispersión es que deja útil cuando \bar{X} está próxima a 0.

c).- Cálculo de la Deflexión característica (δ_c).

Como ejemplo para determinar δ_c se tomaron los datos de la figura III-3-9 del (sensor -- No. 1) tramo No. 6, comprendido entre los km. 35+000 al km. 35+500.

El cálculo puede ser determinado en cuatro formas diferentes, con resultados muy parecidos.

Caso 1.- Criterio de California $\delta_c = P_{80}$ cálculo gráfico.

Caso 2.- Criterio de California, $f_c = P_{80}$ cálculo matemático.

Caso 3.- Criterio del Instituto de Asfalto.

Caso 4.- Criterio Canadiense.

TRAMO no. 6 Km. 35+000 al Km. 35+500.

Datos (Valores del sensor No. 1 x 10^{-3} pulg.)

2.1 2.2 2.3 2.5 2.5 2.5 2.6 2.6 2.7 2.7
 2.7 2.7 2.7 2.8 2.9 2.9 3.0 3.0 3.0 3.1
 3.1 3.2 3.2 3.3 3.3 3.4

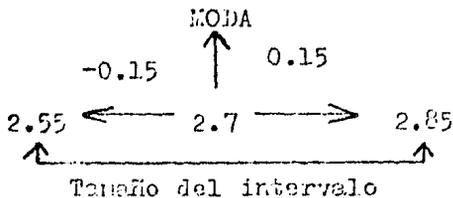
N = 26

Rango = 3.4 - 2.1 = 1.3

Moda = 2.7

Caso 1.- CRITERIO DE CALIFORNIA, CALCULO GRAFICO
 DEL PERCENTIL 80.

$$\frac{1.3}{4 \text{ intervalos}} = 0.3 \text{ tamaño del intervalo}$$



Intervalos reales de clase	Frecuencia	Frecuencia Acumulada	Frecuencias Relativas - Acum. (%)
1.95-2.25	2	2	7.7
2.25-2.55	4	6	23 .2
2.55-2.85	8	14	54 .0
2.85-3.15	7	21	81 .0
3.15-3.45	5	26	100..0

$$\sum 26$$

Caso 2 .- CRITERIO DE CALIFORNIA, CALCULO MATEMATICO DEL PERCENTIL 80 UTILIZANDO EL METODO CLAVE.

(Los intervalos de clase siempre deberán ser iguales.

Las ecuaciones por utilizar son las sig:

$$\bar{X} = A + C \frac{\sum fU}{\sum f}$$

$$S = C \sqrt{\frac{\sum f U^2}{\sum f} - \left[\frac{\sum fU}{\sum f} \right]^2}$$

$$V(\%) = \frac{S}{\bar{X}} \times 100$$

P_{80} = Límite real inferior de clase x

$$+ \left[\frac{0.8 \sum f - \sum fx-1}{f x} \right] C$$

$$U = \frac{x - A}{C}$$

Donde:

\bar{x} = Media aritmética

S = Desviación estándar

$V(\%)$ = Coeficiente de dispersión en porcentaje.

P_{80} = Percentil 80

U = Transformación de la variable x según la expresión

$x = A + cu$ (siempre es un número entero + ó -)

A = Corresponde al valor de una marca de clase -- cualquiera.

C = Tamaño de los intervalos reales de clase.

f = Frecuencia

$\sum f$ = Suma total de las frecuencias = x ó nú
mero total de datos.

Intervalos reales de-clase	marcas de clase.	Frecuencias f	$u = \frac{x-A}{C}$	fu	fu ²
1.95-2.25	2.1	2	-2	-4	8
2.25-2.55	2.4	4	-1	-4	4
2.55-2.85	A 2.7	8	0	0	0
2.85-3.15	3.0	7	1	7	7
3.15-3.45	3.3	5	2	10	20

$$\sum f = \quad 26 \qquad \qquad \qquad 9 \quad 39$$

$$C = 2.25 - 1.95 = 0.3$$

$$\bar{x} = 2.7 + 0.3 \frac{9}{26} = 2.7 + 0.104 = 2.8$$

$$s = 0.3 \sqrt{\frac{39}{26} - \left[\frac{9}{26}\right]^2} = 0.3 \sqrt{1.5 - 0.12} = 0.3 \sqrt{1.38}$$

$$s = 0.3 \times 1.18 = 0.354$$

$$V = \frac{0.354}{2.8} \times 100 = 12.5 \%$$

$$\sum f \times 0.8 = 26 \times 0.8 = 20.8$$

Frec. f	Parcial de f
2	2
4	6
8	14 $\rightarrow \sum fx-1$
fx 7	21 \rightarrow clase x
5	26

$$F_{80} = 2.85 + \left[\frac{0.8 \times 26 - 14}{7} \right] 0.3 = 2.85 + 0.29$$

$$= 3.14$$

$$c = 3.14 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

Caso 3.- CRITERIO DEL INSTITUTO DE ASFALTOS.

Teniendo los datos agrupados del valor menor al mayor se determina el lugar que correspondería al 80 de los valores de la deformación característica (δ_c).

$$N = 26$$

$$0.8 \times N = 20.8 = 21 \text{ lugar}$$

$$\delta_c = 3.1 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

Caso 4.- CRITERIO CANADIENSE.

La determinación de la deflexión característica está dada por la expresión:

$$f_c = \bar{x} + 2S$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{n-1} \left[\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n} \right]}$$

Agrupando los datos del tramo número 6 (lecturas del sensor 1).

$$\begin{aligned} n &= 26 \\ \sum x &= 73 \\ \sum x^2 &= 207.96 \end{aligned}$$

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n} = \frac{73}{26} = 2.8$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{25} \left[207.96 - \frac{(73)^2}{26} \right]}$$

$$S = \sqrt{\frac{1}{25} (207.96 - 205)} = \sqrt{\frac{2.96}{25}}$$

$$S = 0.118$$

$$s = 0.345$$

$$V = \frac{0.345}{2.8} \times 100 = 12.3 \%$$

$$\delta_c = 2.8 + 2 \times 0.345 = 2.8 + 0.69$$

$$\delta_c = 3.5 \times 10^{-3} \text{ pulg.}$$

CAPITULO IV

CASOS PRACTICOS DE AMPLIACION EN NUESTRO PAIS DE LOS METODOS DE DEFLEXIONES.

CASO ACAPULCO-ZIHUATANEJO

4-1.- Introducción

Fallas típicas en pavimentos flexibles.

En la tecnología de pavimentos actual en el mundo se ha reconocido que los pavimentos flexibles se deterioran presentando tres formas típicas de fallas.

- a).- Falla funcional.- Este tipo de falla se presenta cuando la superficie de rodamiento tiene tales condiciones que no permiten un tránsito cómodo a la velocidad de proyecto. La forma de valorar esta falla se lleva a cabo mediante la determinación del índice de Servicio Actual, tal como se estableció en los tramos de prueba.
- b).- Falla estructural.- Generalmente se desarrolla por la acumulación sucesiva de las deformaciones permanentes que se producen por el peso del tránsito (Fig. IV-1-1), manifestandose, además, - desplazamientos laterales y agrietamientos longitudinales, en su estado más avanzado.
- c).- Falla por fatiga.- Cuando el pavimento queda apollado sobre terracerías por deformaciones



FIG. IV-11 FALLA ESTRUCTURAL TIPICA EN PAVIMENTO FLEXIBLE



FIG IV 12 FALLA POR FATIGA AGRIETAMIENTO
RETICULAR

elásticas muy altas, la aplicación sucesiva de las cargas producen esfuerzos de tensión excesiva y repetidos en la superficie, con el consiguiente agrietamiento reticular de la superficie. A este fenómeno se le conoce con el nombre de resistencia o "rebote elástico" y se presenta en suelos tales como son los limos, elásticos (MH) o suelos con alto contenido de mica. Los agrietamientos, conocidos popularmente como "piel de cocodrilo" (fig. IV-1-2), se producen como una consecuencia de la fatiga del pavimento, es decir por efecto de la acción repetitiva de las cargas.

Es obvio que ningún pavimento presenta, en general, un solo tipo de falla de los que se han mencionado, sino que su manifestación es una compleja combinación de las diversas causas que concurren.- De aquí se desprende la dificultad para poder determinar con precisión las causas de falla en un pavimento dado.

4-2.- Caso Acapulco-Zihuatanejo.

Como una consecuencia del desarrollo regional propiciada por la construcción de la carretera Costera del Pacífico, se hizo necesaria la adaptación del tramo Acapulco-Zihuatanejo .

Este tramo se aloja en la planicie costera localizada entre la Sierra de Guerrero y el Océano -

Pacífico; su topografía corresponde a un lomerío de suave a fuerte, exceptuando los puntos en la que la planicie desaparece (Km 170+000 a Km. -- 180+000 aproximadamente), en donde el camino se aloja en camino montañoso.

El terreno está constituido por arenas limo-
sas (SM) con alto contenido de mica, las cuales son producto de la desintegración de los grani-
tos que constituyen la roca basal que da origen a la formación denominada Batolito de Guerrero, -
mostrando afloramientos de diorita metamorfozada en algunas partes.

La superficie original de rodamiento tiene-
salvo algunos tramos cortos y muy localizados, -
una conformación aceptable. Los taludes de los-
terraplenes, sin embargo, han presentado proble-
mas de erosión, dada la naturaleza de los mate-
riales con los que construyeron. En la fig. IV-
2-1 se muestra una vista del camino en sus con-
diciones originales.

En los estudios preliminares efectuados se
llevaron a cabo diversas pruebas tanto de campo-
como de laboratorio.



FIG IV - 2-1 UN ASPECTO DEL TRAMO
ACAPULCO - ZIHUATANEJO

De dichos estudios se pudieron deducir, entre otras, las siguientes conclusiones:

a).- Existe la necesidad de elevar la rasante en diversos tramos del camino, en virtud de que en ellos existen problemas de drenaje superficial - en zonas inundables. Esto presupone que en muchos casos la reconstrucción del pavimento es -- inevitable.

b).- El nivel de servicio en los tramos pavimentados es relativamente aceptable, considerando - que la superficie de rodamiento está constituida por mezclas asfálticas en el lugar o por carpe--tas de un riego. El Índice de Servicio Actual - fluctuó de 1.2 a 3.5 con un Índice promedio en - todo el tramo de 2.8. . Estos valores pueden ob- servarse en la fig. IV-2-2 podría considerarse - que un Índice de servicio de 2 para este tipo de camino, representa un valor límite.

c).- Los deterioros típicos que se muestran en - la mayor parte de la superficie de rodamiento -- actual, son grietas reticulares del tipo "piel - de cocodrilo". Sólo en tramos cortos y localiza- dos (Km. 80 al 105 y 122 al 135) se presentaron

deformaciones longitudinales y desplazamientos-
trasversales.

De hecho se presentaron baches en un por-
centaje relativamente reducido. En los tramos-
en donde sólo se encuentra colocada una carpeta
de un riego, los deterioros típicos consistie-
ron en desprendimientos superficiales de la mi-
gma.

d).- La estructura del pavimento está constituí-
da por una base hidráulica de 12 a 30 cm. de es-
pésor con valores predominantes de 15 cm. En -
algunos sitios se pueden encontrar bajo esta --
estructura una capa de unos 12 cm. de espesor a
manera de sub-base, pero cuyas características-
mecánicas, sobre todo en lo que se refiere a su
granulometría, son deficientes.

La subrasante por su parte está constituí-
da por arenas limosas, de origen granítico. Su-
alto contenido de mica, así como el comporta- -
miento que han exhibido los pavimentos a lo lar-
go de su operación, indican que este material -
es resistente en cierto grado . No obstante --
la estructura no ha presentado evidencias de una

de una resistencia al esfuerzo cortante baja si no por el contrario podría calificarse de buena desde este punto de vista.

e).- Durante la actual reconstrucción del tramo se presentaron algunos problemas en la capa subrasante que también está constituida por las -- mismas arenas limosas, producto de la desinte--gración del granito de la región. Estos proble--mas consistieron esencialmente en la aparición--de grietas reticulares (figs. IV-2-3 y 2-4), -- así como en una consistente pérdida de compacta--ción con el tiempo.

Es pertinente indicar que ambas manifesta--ciones son evidencia de la resistencia del mate--rial y, además, que este fenómeno se agrava -- cuando estos materiales se compactan con un con--tenido de agua elevada tendencia, por lo demás--común y corriente entre nuestros contratistas -- cuando se trata de compactar materiales areno--sos.



FIG IV-2-3 APARICION DE GRIETAS RETICULARES
EN LA NUEVA CAPA SUB RASANTE.



FIG. IV-2-4 APARICION DE GRIETAS RETICULARES
EN LA NUEVA CAPA SUB RASANTE

4-3.- Procedimientos de evaluación de pavimentos por fatiga.

Desde sus inicios, la tecnología de pavimentos ha contado con elementos suficientes para dictaminar el carácter resistente de algunos suelos. Fueron las pruebas de placa, introducidas por el Dr. Norman McLeod, en Canadá, quienes permitieron, al analizar las graficas de esfuerzo-deformación correspondientes, conocer el fenómeno ya mencionado.

a).- Prueba de placa.- La evaluación de pavimentos o terracerías construidas mediante las pruebas de placa, consisten esencialmente en colocar una serie de placas en forma piramidal, con diámetros que van desde 30 pulgadas hasta 6 pulgadas, sobre las que se coloca un sistema de control de carga (gato hidráulico), apoyado en un sistema que se supone rígido para poderle transmitir, a la superficie de prueba, la carga correspondiente. Un sistema adicional de control de deformaciones, consistente en una serie de extensómetros apoyados en un puente lo suficientemente alejado de la zona de influencia --

de la carga, es colocado en un arretlo convenien
te para conocer la elástica de las deformaciones
producidas por el sistema (fig. IV-3-1).

La elástica obtenida es similar a la que --
presentaria una rueda en la superficie de roda--
miento, como se ilustra en la fig. IV-3-2 y en --
la que se explica el por qué de la generación --
del sistema de grietas reticulares.

El procedimiento de evaluación por fatiga --
basado en pruebas de placa tiene, sin embargo, --
el grave inconveniente de la lentitud de la prue
ba y el riesgo serio de tomar un solo valor como
representativo de un tramo de camino relativamen
te largo.

b).- Prueba de deflexiones con Viga Benkelman.--
En Canadá también fue inventado el deflectómetro
conocido con el nombre de Viga Benkelman, cuya --
sencillez de operación ha resultado rápidamente
a las pruebas de placa. Es pertinente aclarar--
que en algunas ocasiones se combina con pruebas--
de placa para hacer análisis de correlaciones --
más verídicos.

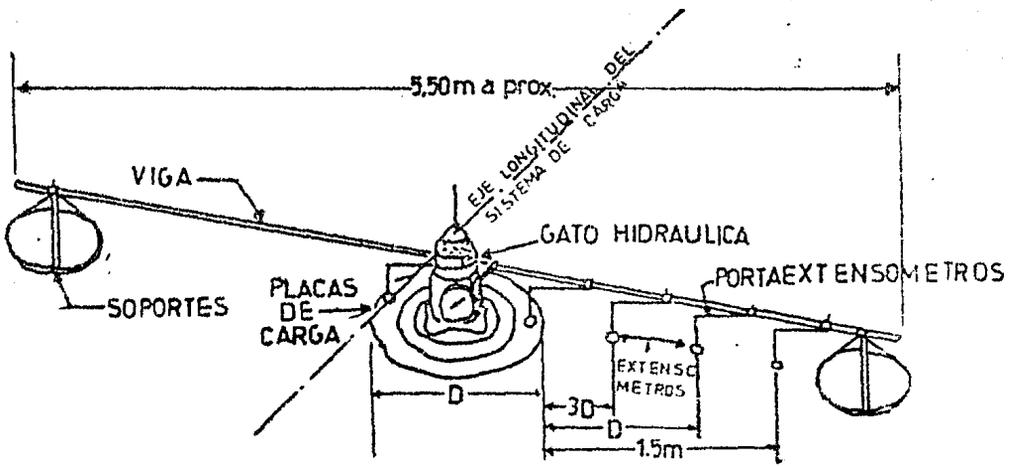


FIG IX-3-1 SISTEMA PARA LAS PRUEBAS DE PLACA.

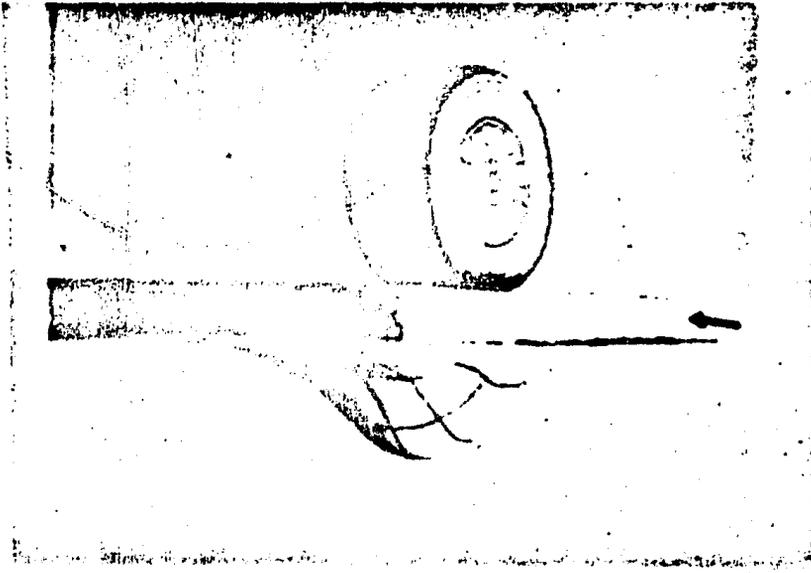


FIG IV 3 2 ELASTICA DE DEFORMACIONES BAJO
UNA CARGA RODANTE

El dispositivo consiste esencialmente de dos barras. Una de ellas es una barra fija que se considera estar fuera de la zona de influencia de la carga aplicada.

La barra móvil se apoya en un pivote sobre la barra fija y en la superficie de rodamiento en el extremo libre o detector. El otro extremo transmite el movimiento del detector a un extensómetro colocado en él y sobre la barra fija, puesto que el pivote se encuentra entre ambos extremos.

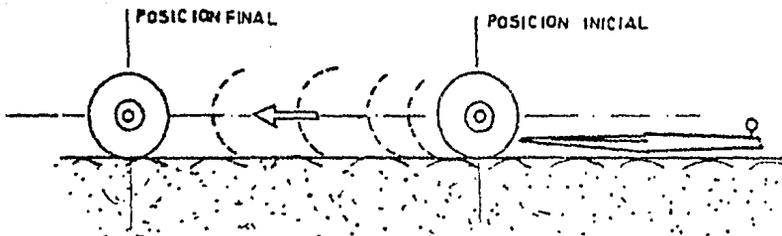
El procedimiento ideado en Canadá normalizando por la SAHOP y extendido a otras Instituciones, quienes lo han modificado levemente, -- consistente en esencia en colocar una carga de curvación (rodada doble) preestablecida, a una presión de inflado también determinada.

Cuando la Viga Benkelman es colocada entre las dos llantas de la carga, el detector se encontrará en la posición de la máxima deformación producida por la misma carga. Debido al relajamiento de esfuerzos y deformaciones que se producen en el pavimento y las capas subya--

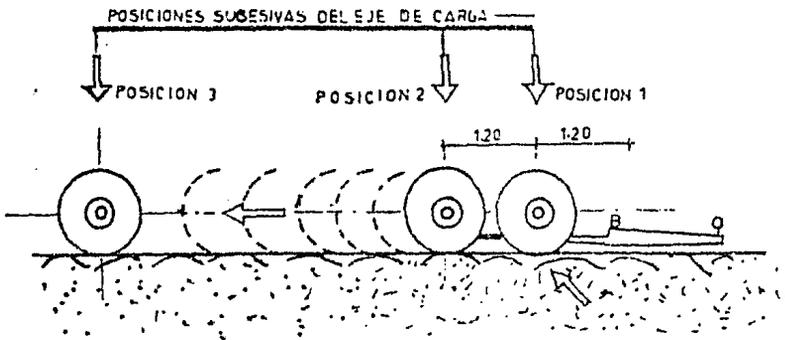
centes, se permite la deformación del sistema,-- hasta que ésta tenga una velocidad uniforme y -- pequeña, después del rebote, que se puede leer-- en el extensómetro de la viga. Nuevamente es -- necesario que la recuperación de la deformación tenga un valor pequeño, en lo que se refiere a-- su velocidad.

De esta manera queda definida la deflexión de rebote, la cual también es una medida de la-- deformabilidad elástica del sistema pavimento -- terracerías, o sea la resistencia del material

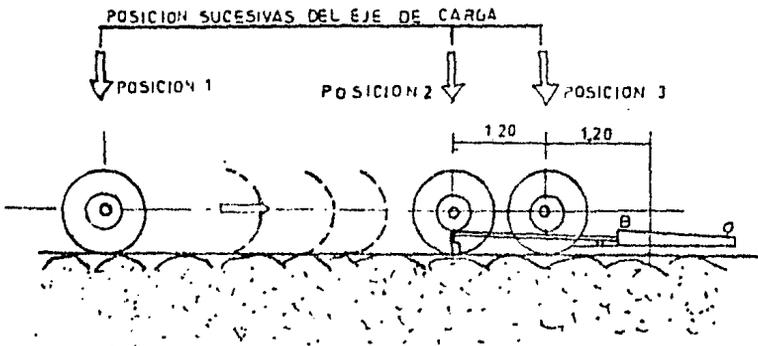
c).-- Prueba de deflexiones con Dynaflect.-- Recientemente se han desarrollado sistemas para -- determinar la deflexión dinámica de los pavimen-- tos . Uno de esos sistemas lo constituye el -- aparato denominado Dynaflect que ha sido adqui-- rido por la Secretaría para realizar estudios y proyectos de pavimentos construidos.



a) METODO ESTATICO (DEFLEXION DE REBOTE)



b) METODO DINAMICO (EN MOVIMIENTO DE SALIDA)



c) METODO DINAMICO (EN MOVIMIENTO DE ENTRADA)

FIGUY-3-3 TIPOS DE ENSAYE PARA DETERMINAR DEFLEXION CON VIGA BENKELMAN

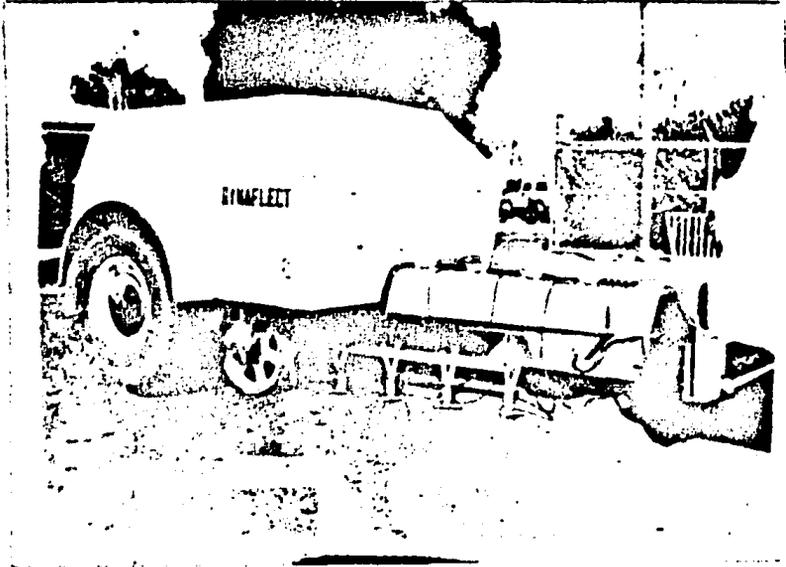


FIG. IV-3-4

DYNAFLECT

4-4.-- Revisión del proyecto de pavimento en el tramo Acapulco-Zihuatanejo.

En la figura IV-2-2 se presenta esquemáticamente el tipo de refuerzo requerido, proyectado originalmente en forma convencional por el sistema usual, conociendo el valor relativo de soporte de la subrasante, así como la estructuración de los pavimentos originales. Como puede observarse el proyecto consistió en colocar desde una sobrecarpetta hasta reestructurar totalmente el pavimento, colocando una sub-base hidráulica de 12 cm. , base de 15 cm. y carpeta de 5 cm.

En vista de los problemas que se presentaron durante la reconstrucción que se llevo a cabo en dicho tramo, así como a la sospecha que se tenía de la resistencia de los materiales, se creyó oportuno realizar la revisión de dicho proyecto por el criterio de falla por fatiga utilizando la Viga Benkelman como el Dynaflect.

La evaluación se llevo a cabo eligiendo tramos de prueba representativos, con condiciones de superficies similares, con deterioros semejantes y estructuraciones también comparables.

De esta manera fue posible veintiocho tramos de prueba a lo largo del camino cuyos resultados se encuentran en la tabla IV-1. Adicionalmente y con fines de correlaciones se efectuaron también mediciones con viga Benkelman, debido a que el procedimiento indicado por el Dynaflect correlaciona dichos valores como se muestra en la fig. IV-4-1 .

En la misma fig. se indican los valores de las deflexiones obtenidos en los diversos tramos de prueba, tanto con Dynaflect como con viga Benkelman. Dichos valores corresponden a las deflexiones características de cada tramo de prueba (el 80% de las medidas son iguales o inferiores a la deflexión característica).

De acuerdo con los datos de tránsito emanados de los estudios de planeación, se puede considerar un índice de tránsito de 8 a 9, dependiendo del tramo.

Con los datos anteriormente citados se realizó la revisión de los espesores propuestos en el proyecto original; de esta revisión se des-

T A B L A I
 RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL PAVIMENTO POR DEFLEXIONES EN EL TRAMO ACAPULCO
 ZIHUATANEJO DE LA CARRETERA COSTERA DEL PACIFICO.

TRAMO DE KM A KM	ESPESOR REQUERIDO C.A		ESPESOR DE PROYECTO			ESPESORES RECOMENDADOS		
	DYNAFLECT	V. BENKELMA (CM)	S.B.H.	B.H. (CM)	C.	S.B.H.	B.H. (CM)	C.
10+000 a 23+000	5	0	--	12	5	--	12	5
23+000 a 28+000	8	21	--	12	5	12	15	7
28+000 a 34+000	0	0	--	12	5	--	15	5
34+000 a 38+000	3	0	--	15	5	--	15	5
38+000 a 52+000	11	9	--	15	5	--	12	5
52+000 a 60+000	12	7	--	15	5	--	15	5
60+000 a 65+000	12	4	--	12	5	--	12	5
65+000 a 80+000	10	13	--	20	5	--	20	5
80+000 a 105+000	25	21	12	15	5	12	15	7
105+000 a 122+000	10	3	--	15	5	--	15	5
122+000 a 135+000	22	11	12	15	5	12	15	5
135+000 a 146+000	7	0	--	20	5	--	20	5
*146+000 a 160+000	--	--	--	12	5	--	12	5
160+000 a 200+000	3	0	--	--	5	--	--	5

* No se hicieron mediciones por estar el pavimento escarificado y sin compactar.

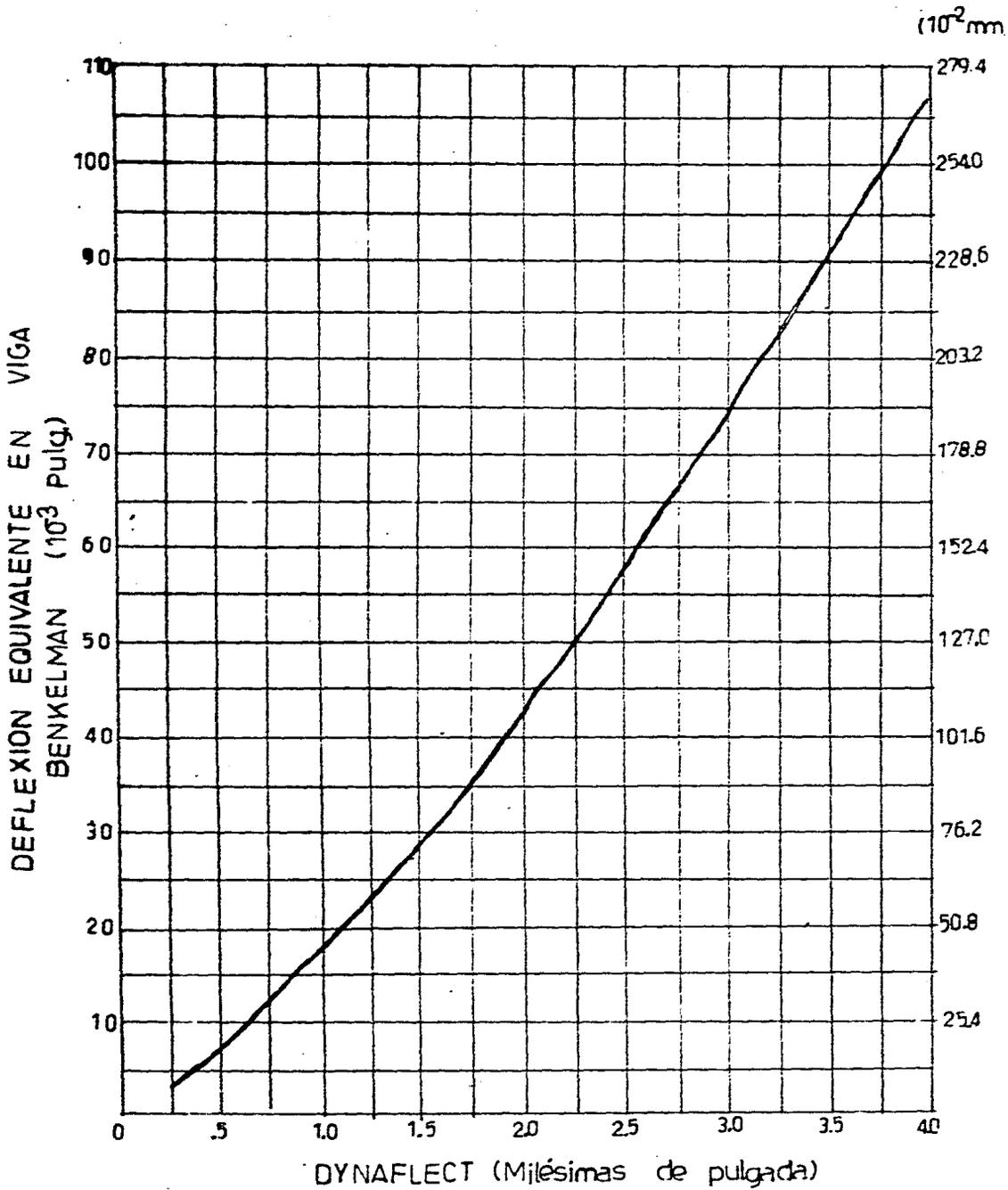


FIG. IV-41 GRAFICA DE CONVERSION VIGA BENKELMAN-DYNAFLECT

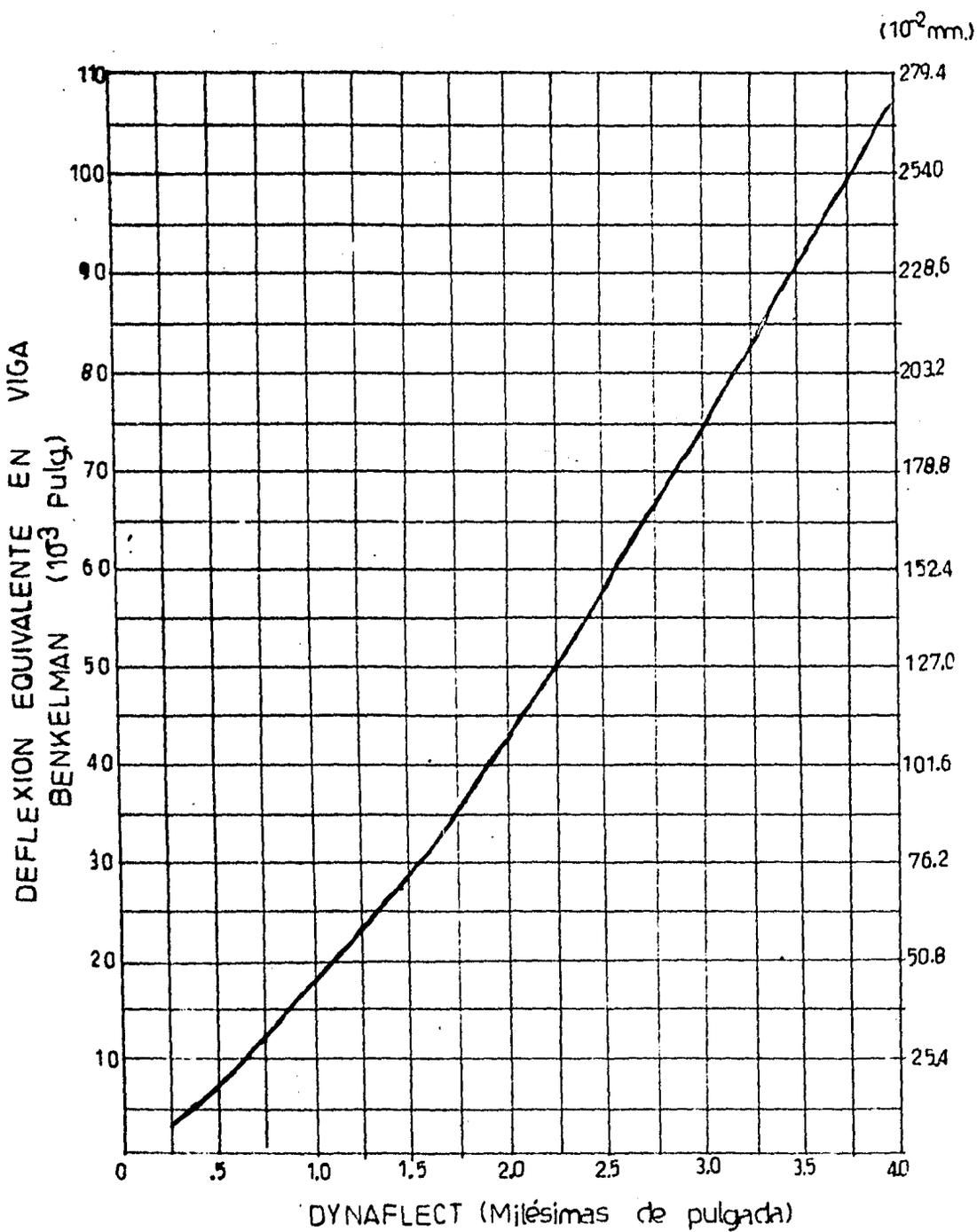
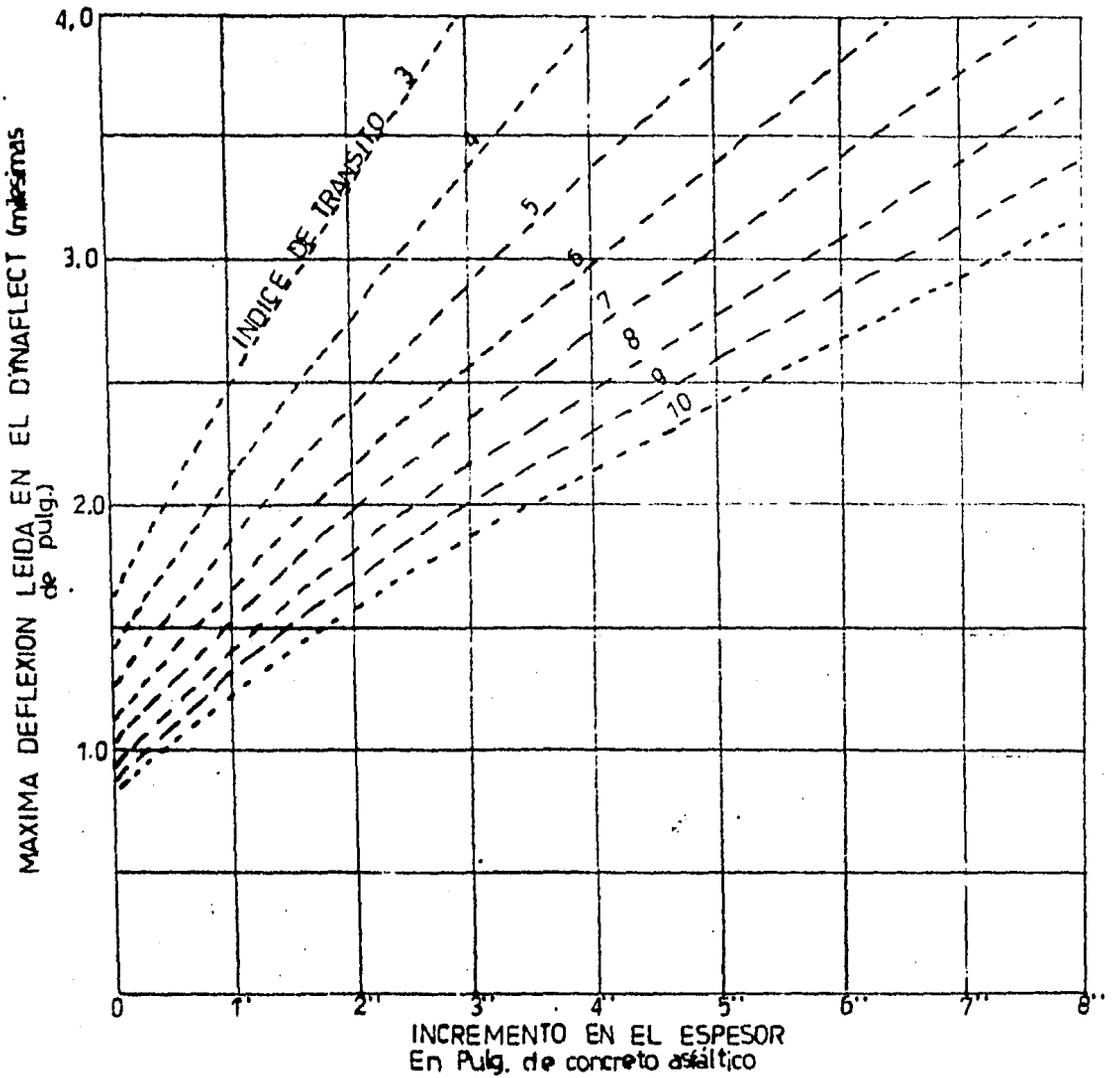


FIG. IV-41 GRAFICA DE CONVERSION VIGA BENKELMAN-DYNAFLECT

prenden los resultados que se anotan en la tabla IV-1 y de la cual se puede deducir que, en términos generales, las estructuras propuestas serán capaces de resistir los efectos por fatiga. No obstante, hubo necesidad de recomendar el refuerzo de algunos tramos cuyas deflexiones elásticas fueron críticas.

Para dicha revisión se empleó primordialmente la grafica de diseño que se muestra en la figura IV-4-2 adicionalmente fue necesario hacer la recomendación de compactar la nueva capa subrasante con humedades menores o iguales a la optima con el objeto de minimizar el fenómeno de resistencia.



ESPEORES RECOMENDADOS DE SOBRECARPETA DE CONCRETO ASFALTICO USANDO LOS VALORES MAXIMOS LEIDOS EN EL DYNAFLECT, PARA EL INDICE DE TRANSITO PREVISTO.

FIG. IV-42 GRAFICA DE DISEÑO DE SOBRECARPETA EMPLEANDO EL APARATO DYNAFLECT

CAPITULO V

C O N C L U S I O N E S

La mayoría de los estudios efectuados en caminos y aeropistas indican que su problema en cuanto al estado del pavimento (estructura del pavimento) se debe principalmente a la mala ejecución de los trabajos de terracerías y pavimentos ocasionada -- por la mala supervisión y la poca asistencia en el período en cual se ejecutaron los trabajos, esta -- falta de atención y planeación es producto de la -- mala organización de jefes y supervisores, ya que -- en algunos casos ni siquiera conocen los caminos -- y por lo tanto menos los problemas que se presenta -- ron en la construcción del camino o aeropista.

Otro factor muy importante es la mala planeación del mantenimiento y conservación del camino, -- ya que por lo regular no se efectúa cuando lo re -- quiere, si no cuando ya es de verdad muy crítico -- para el tránsito, ocasionando con esto un mayor -- costo en su ejecución.

Cuando se hayan efectuados los estudios co -- rrespondientes para poder determinar las deforma -- ciones con cualquiera de los métodos (Viga Benkel -- man y Dynaflect) es muy importante llevar a cabo --

los trabajos para su refuerzo o rehabilitación - en el mismo período que se efectuaron las pruebas ya que dejar de realizar los estudios y trabajos por más tiempo, será necesario volver hacer nuevamente el estudio para determinar su deformación.

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

- 1.- Principales Of. Paviment. Design.
Yoder E.J.
- 2.- La Ingenieria de suelos en las vías terrestres
Tomo II
M. Ing. Alfonso Rico Rodríguez
Ing. Hermilo del Castillo Mejía.
- 3.- Consulta de estudios realizados por la SANOF -
en diversos caminos y aeropistas de la red Na-
cional.
- 4.- Informe 240 del Instituto de Ingenieria sobre-
experiencias del comportamiento de pavimentos-
en la pista circular de pruebas del propio - -
Instituto.
- 5.- Mecánica de suelos
Tomo II
Dr. Ing. Eulalio Juárez Badillo
M. Ing. Alfonso Rico Rodríguez
- 6.- Diversos artículos sobre el tema que han pú- -
blicado tanto en México como en el extranjero.