



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVANZADA

FACULTAD DE INGENIERIA
EXAMENES PROFESIONALES
60-1-246

177.

Al Pasante señor MARIO VALENCIA DE LA CONCHA,
P r e s e n t e .

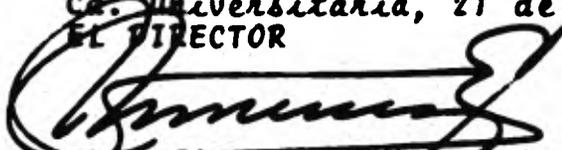
En atención a su solicitud relativa, me es grato transcribir a usted a continuación el tema que aprobado por esta Dirección - propuso el Profesor Ing. Agustín Demeneghi Colina, para que lo desarrolle como tesis en su Examen Profesional de Ingeniero CI VII.

"ESTUDIO DE EVALUACION Y REHABILITACION DE PAVIMENTOS
AEROPUERTO DE MONTERREY, N.L. PISTA SECUNDARIA 16-34"

- I. Introducción.
- II. Estudio de los elementos que forman la estructura de los pavimentos.
- III. Antecedentes.
- IV. Estudios de campo.
- V. Estudios de laboratorio.
- VI. Selección de bancos de materiales.
- VII. Valuación del estado actual del pavimento.
- VIII. Diseño del pavimento en las zonas de ampliación.
- IX. Normas de construcción.
- X. Estudio económico.

Ruego a usted se sirva tomar debida nota de que en cumplimiento de lo especificado por la Ley de Profesiones, deberá prestar Servicio Social durante un tiempo mínimo de seis meses como requisito indispensable para sustentar Examen Profesional; así como de la disposición de la Dirección General de Servicios Escolares en el sentido de que se imprima en lugar visible de los ejemplares de la tesis, el título del trabajo realizado.

A t e n t a m e n t e
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"
Cd. Universitaria, 21 de julio de 1980
EL DIRECTOR


ING. JAVIER JIMENEZ ESPRIU


JJJ/08LH/ser



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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 esta 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.

TESIS CON FALLA DE ORIGEN

CAPITULO I

INTRODUCCION

1.1 OBJETO

Dentro del proceso evolutivo que presenta nuestro país, tratándose de superar el subdesarrollo en el que se encuentra, el gobierno federal por medio de sus diferentes dependencias, se ha avocado a la realización de varios programas dirigidos a una mejor administración de los recursos y satisfacer las necesidades de los diversos sectores del país.

Como sabemos uno de los mayores centros productivos del país se encuentra localizado en la Ciudad de Monterrey, lo cual implica necesariamente de una mayor demanda en obras de infraestructura que coadyuven a su pleno desarrollo.

El intenso movimiento debido al gran volumen de bienes que son manejados, hace necesario el uso de un medio de transporte rápido acorde con las necesidades que se presentan. Este medio es el transporte aéreo, ya en esta ciudad insuficiente.

Actualmente el aeropuerto de la Ciudad de Monte

rrey cuenta en operación con una pista principal y una pista se
cundaria.

El presente estudio se avoca a la rehabilitación y ampliación de la pista secundaria 16 - 34 de tal forma que permi
ta la operación del Boeing 727-200, con peso máximo de 78.5 Tons.

La rehabilitación del pavimento abarca tanto la evaluación como su reacondicionamiento.

Con respecto a la evaluación se han tomado en con
sideración los aspectos fundamentales, como son nivel de servicio, condiciones superficiales del pavimento y capacidad estructural y costo.

El primer aspecto está plenamente fundamentado en la gran demanda del servicio. En cuanto a condiciones superficia
les del pavimento, se realizó un recorrido a lo largo de la pista cuyo objetivo es el de llevar un registro de detalles, en ocasio
nes muy importantes, por ejemplo deformaciones, grietas, despren
dimientos, etc.

En cuanto a la capacidad estructural de un pavi--
mento, esta característica se ha relacionado para fines de evalua
ción, con la medición de la deflexión del pavimento cuya capaci--
dad estructural se desea evaluar.

Existen diversos métodos de evaluación, los cu--
les quedan agrupados en destructivos y no destructivos.

Dentro de los métodos destructivos, cabe destacar la realización de pozos a cielo abierto localizados en lugares es tr at é g i c o s de la pista, con el fin de medir el espesor de las di f e r e n t e s capas que conforman el pavimento, así como analizar su resistencia.

Con respecto a los métodos no destructivos éstos quedan ejemplificados por el deflectómetro tipo "Dinaflex", el cu al es un sistema electromecánico que mide la deflexión debido a fuerzas dinámicas.

Otra alternativa para evaluar la capacidad estruc tural de un pavimento consiste en la ejecución de pruebas de car ga por medio de placas.

Finalmente existe el método de evaluación en base a la Viga Benkelman, que fue el que se utilizó en este proyecto, el cual se basa en la medición de la deflexión de un pavimento ba jo la acción de una carga estática.

En el presente estudio la evaluación comprende tan to los resultados obtenidos en el análisis de deflexiones, como los que se obtienen del análisis de la resistencia de los mat er ia les que constituyen cada una de sus capas.

El reacondicionamiento se hizo en base al resul ta do de la evaluación.

Por lo que respecta al proyecto de ampliación es

te se basará en el estudio geotécnico efectuado para tal fin.

1.2 CLASIFICACION

En la República Mexicana, los Aeropuertos se han clasificado atendiendo al Criterio de la Federal Aviation Agency (F.A.A.) de los Estados Unidos de Norteamérica, la cual clasifica a los aeropuertos tomando en cuenta sus radios de acción; a continuación se expresa esta clasificación:

- a) *Aeropuertos de corto alcance.*- Se definen como aquellos cuyo radio de acción no excede de 800 km.
- b) *Aeropuertos de mediano alcance.*- Son aquellos cuyo radio de acción no excede de 1600 km.
- c) *Aeropuertos de gran alcance.*- Son aquellos en los cuales su radio de acción puede ser 3200 km. o más.

Por otra parte, considerando el efecto que la presión de las llantas tiene sobre los pavimentos en los diferentes elementos de una aeropista, se puede establecer un criterio general para la elección del tipo de pavimento.

| <u>CLASE DE AEROPUERTO</u> | <u>MODELO DE AERONAVE PREVISTA</u> | <u>TIPO DE PAVIMENTO</u> |
|----------------------------|------------------------------------|--------------------------|
| Corto alcance | DC - 6 ó similar | Flexible |
| Alcance medio | Boeing 727 ó similar | Mixto |
| Gran alcance | DC - 8 ó similar | Rígido |

CAPITULO II

ESTUDIO DE LOS ELEMENTOS QUE FORMAN LA ESTRUCTURA DE LOS PAVIMENTOS

Se entiende por pavimento, la capa o capas que se encuentran comprendidas entre la capa subrasante y la superficie de rodamiento, las cuales van mejorando su calidad y aumentando su costo cuanto más cerca se encuentran de la superficie de rodamiento, la cual tiene la finalidad de proporcionar una superficie uniforme, resistente al tránsito de las aeronaves, al intemperismo provocado por los agentes naturales y a cualquier otro agente perjudicial.

La función estructural de un pavimento es la de transmitir adecuadamente los esfuerzos a la subrasante, de tal manera que ésta no se deforme perjudicialmente.

2.1 TERRACERIAS Y CAPA SUBRASANTE

Las terracerías constituyen el conjunto de cortes y terraplenes que se construyen en una obra vial hasta alcanzar el nivel de la subrasante.

Estos materiales están constituidos prácticamente por cualquier tipo de suelo, exceptuando aquellos con un alto contenido de materia orgánica o aquellos cuyo rebote elástico sea importante, produciendo deformaciones excesivas en las capas superiores.

Cuando el material de las terracerías es de mala calidad se hace necesario el empleo de una capa con material de mejor calidad al empleado en terracerías, siendo su función primordial formar una transición entre éstas y el pavimento.

Cuando el material de las terracerías sea de buena calidad, la capa subrasante se sujetará a un tratamiento diferente al de las terracerías, para aumentar su resistencia, por ejemplo, mejorando y aumentando su compactación.

Se han adoptado las características y requisitos de uso de los materiales de terracerías, definido en las especificaciones de la Secretaría de Obras Públicas (S.O.P.).

Para determinar las características y requisitos de uso de los materiales que formarán las terracerías y la capa subrasante se deben aplicar los principios y pruebas descritos en el Capítulo V de esta tesis.

2.2 SUB-BASE

En los pavimentos flexibles representa la capa de material seleccionado, comprendida entre la subrasante y la base.

Los materiales empleados para su uso en la capa de sub-base se clasifican en los siguientes grupos:

- a) Materiales que no requieren ningún tratamiento de trituración o cribado.
- b) Materiales naturales que requieren un tratamiento previo de cribado o trituración.
- c) Mezclas de dos o más materiales de los grupos a) y b) o ambas.

Los materiales empleados en la sub-base, por consecuencia, son de mejor calidad que los materiales de terracerías.

La sub-base tiene varias funciones que son:

- 1o.- Absorber las deformaciones perjudiciales en la capa subrasante debidas a cambios volumétricos asociados con cambios de humedad, impidiendo que estas deformaciones se reflejen en la superficie del pavimento.
- 2o.- Sirve de transición entre el material de la capa base generalmente más grueso, y la subrasante más fina que la base, actuando como filtro e impidiendo las incrustaciones o intemperización de ambas capas.
- 3o.- Sirve de dren, desalojando el agua que se infiltre -- por las terracerías, impidiendo el ascenso capilar de ésta hacia la base en los pavimentos flexibles y hacia las juntas del concreto en pavimentos rígidos, impidiendo en este último caso el llamado fenómeno de -

bombeo.

4o.- Otro fenómeno pero de carácter económico de la sub-base en los pavimentos flexibles es: tomar el espesor del pavimento requerido, con el material más barato - posible de que se dispone.

Los materiales empleados en la construcción de la sub base deben de cumplir los siguientes requisitos.

1o.- Granulometría.- La curva granulométrica del material de la sub-base debe quedar comprendida entre el límite inferior de la zona 1 y el superior de la zona 3, según se muestra en la Figura No. 1 (Condiciones de material para sub-base)

Deberá de adoptar una forma semejante a la de las curvas que limitan dichas zonas, sin presentar cambios bruscos de pendiente; además la relación en peso que pase la malla núm. 200 a el peso que pase la malla -- núm. 40 no deberá ser mayor de 0.65.

2o.- La contracción lineal, el valor relativo de soporte - y el equivalente de arena, deberán cumplir con los requisitos que se describen a continuación.

ANALISIS DE MATERIAL PARA BASE Y SUB-BASE

GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

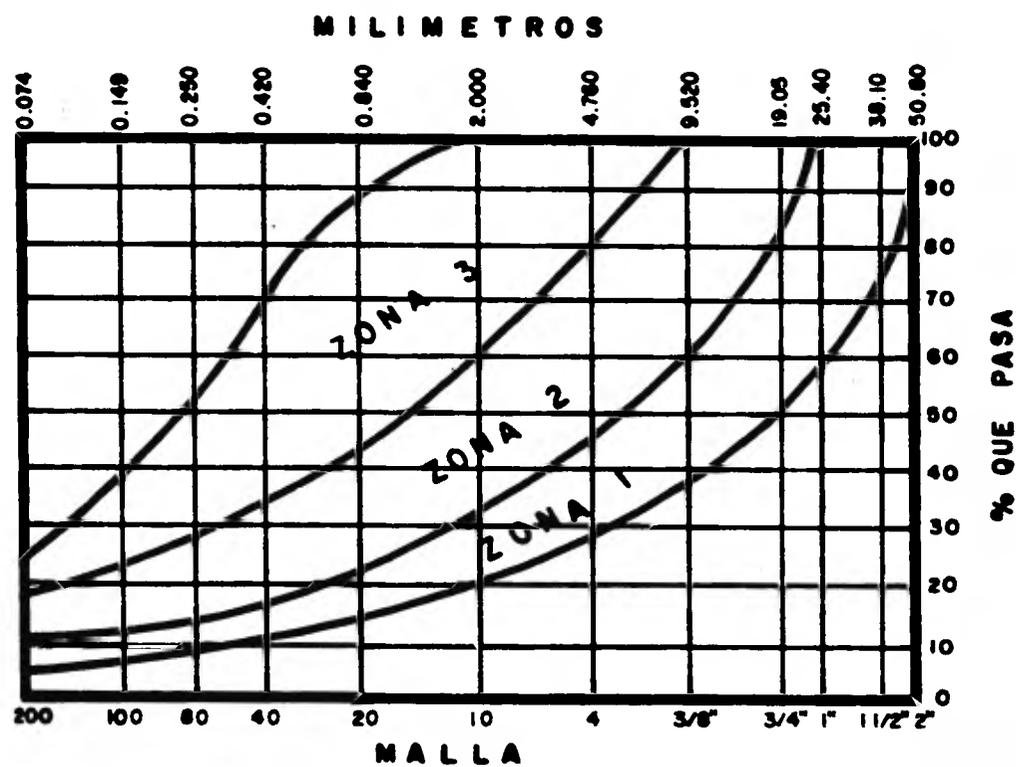


figura N°1

| CARACTERISTICAS | ZONAS EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA | | |
|--|---|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Contracción lineal en por ciento. | 6.0 máx. | 4.5 máx. | 3.0 máx. |
| Valor relativo de soporte estándar saturado. | 50% mín. | 50% mín. | 50% mín. |
| Equivalente de arena en por ciento. | 35 mín. | 35 mín. | 35 mín. |

2.3 BASE DEL PAVIMENTO FLEXIBLE O SUB-BASE DEL PAVIMENTO RIGIDO

En pavimentos flexibles representa la capa de material comprendido entre la sub-base y la carpeta de concreto asfáltico, en pavimentos rígidos es la capa comprendida entre la capa subrasante y las losas de concreto hidráulico.

Los materiales que constituyen la base del pavimento flexible y sub-base del pavimento rígido se clasifican en los mismos tres grupos que corresponden a la sub-base del pavimento flexible descritos con anterioridad.

La base del pavimento flexible tiene las siguientes funciones:

1a.- Proporcionar un elemento resistente que transmita a las capas de sub-base y subrasante los esfuerzos producidos por el tránsito considerando una intensidad apropiada.

2a.- En algunos casos actúa como dren para desalo

jar el agua que se introduce a través de la carpeta o de los acotamientos del pavimento, además impide la ascención capilar del agua procedente de las terracerías.

Funciones de la sub-base del pavimento rígido:

1a.- Sus funciones son análogas a las de la base del pavimento flexible.

2a.- Protege la losa de cambios volumétricos asociados a cambios de humedad en la subrasante, los cuales inducirán esfuerzos adicionales - en la losa.

3a.- Proporciona una superficie de apoyo para la losa y permite llevar a cabo la ejecución -- del colado con comodidad.

La capa de sub-base del pavimento rígido no tiene ningún fin estructural ya que la losa debe tener la capacidad suficiente para soportar las cargas.

El construir una buena sub-base en pavimentos rígidos permite controlar el efecto de bombeo, lo cual es de suma - importancia en el diseño de este tipo de pavimento.

Los materiales empleados en la construcción de la base de pavimentos flexibles y/o sub-base de los pavimentos rígidos deberán cumplir con las siguientes especificaciones:

1a.- Granulometría.- Debe cumplir los mismos requisitos descritos para la sub-base del pavimento flexible.

2a.- El tamaño máximo de las partículas de material no deberá ser mayor de 50 mm. (2").

3a.- De límite líquido, de contracción lineal, -- equivalente de arena y valor relativo de soporte, deberá el material cumplir con lo que se indica a continuación:

| CARACTERISTICAS | ZONA EN QUE SE CLASIFICA EL MATERIAL DE ACUERDO CON SU GRANULOMETRIA | | |
|--|--|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| Límite líquido en por ciento. | 30 Máj. | 30 Máj. | 30 Máj. |
| Contracción lineal en por ciento. | 4.5 Máj. | 3.5 Máj. | 2.0 Máj. |
| Valor relativo de soporte estándar saturado en por ciento. | 100 Min. | 100 Min. | 100 Min. |
| Equivalente de arena en por ciento. | 50 Min. | 50 Min. | 50 Min. |

2.4 SUPERFICIE DE RODAMIENTO

En el pavimento flexible la superficie de rodamiento será una carpeta de concreto asfáltico que estará constituida con agregados pétreos de tamaño máximo de 3/4" y un grado mínimo de compactación del 95% con respecto a la prueba Marshall. En el pavimento rígido, la superficie de rodamiento, la formarán losas de concreto hidráulico.

Su función primordial es la de proporcionar una superficie de rodamiento adecuada al tránsito de vehículos, así como proteger la base de posibles infiltraciones a ésta o a las capas inferiores, evitando su destrucción.

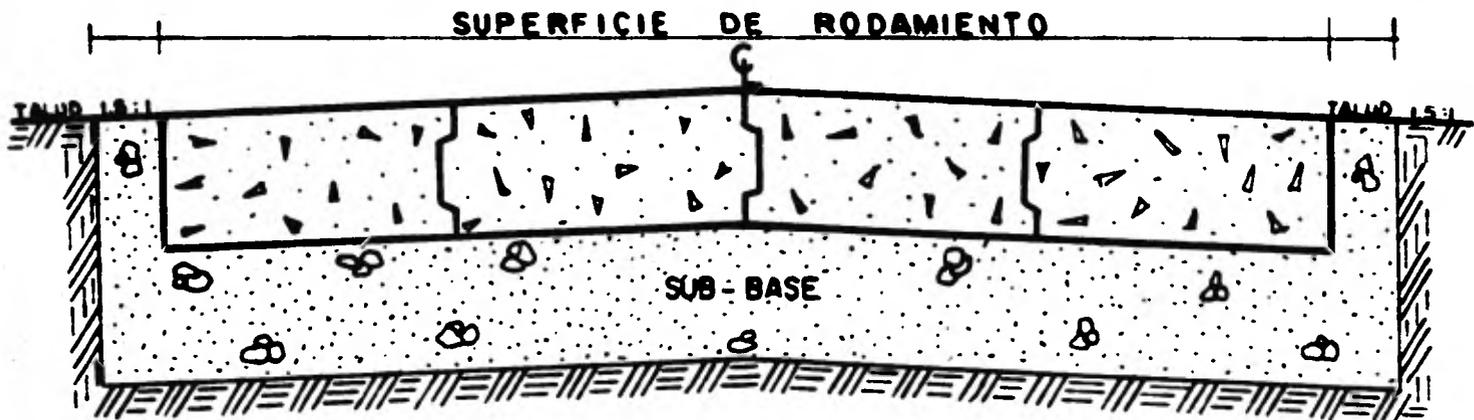
Así mismo, la capa de rodamiento contribuye, en cierto modo, a aumentar la capacidad de soporte del pavimento, especialmente el espesor es apreciablemente mayor de 3".

Deberá preverse el uso de aditivos para mejorar la adherencia entre el material pétreo y el asfalto, en caso de que no pase las especificaciones correspondientes.

Las funciones de las losas para pavimentos rígidos son las mismas de la carpeta en el pavimento flexible, además tiene la función estructural de soportar y transmitir en el nivel adecuado los esfuerzos que se le apliquen.

En la Figura No. 2, se observan las secciones típicas de los dos tipos de pavimentos.

SECCION TRANSVERSAL DE UN PAVIMENTO RIGIDO



SECCION TRANSVERSAL DE UN PAVIMENTO FLEXIBLE

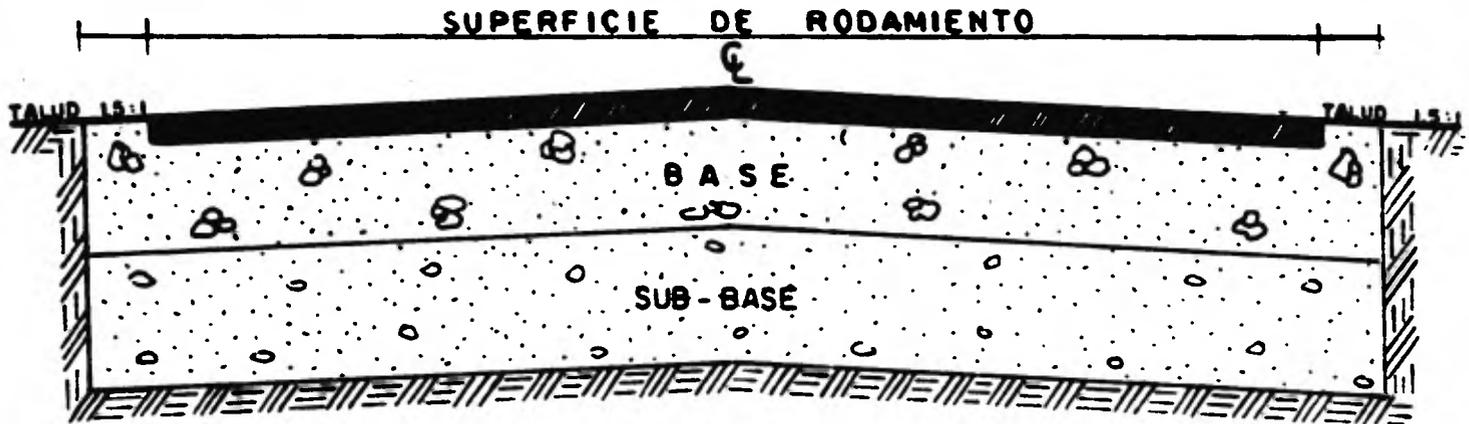


fig nº2 SECCIONES TIPICAS DE PAVIMENTOS

CAPITULO III

ANTECEDENTES

3.1 ELEMENTOS DE CIRCULACION Y OPERACION

El Aeropuerto Internacional de Monterrey, se localiza a 3066 m. a la derecha del Km. 20 + 355 del camino Monterrey - Ciudad Miguel Hidalgo, con origen en la Ciudad de Monterrey, -- contando con los siguientes elementos de circulación y operación:

| <u>ELEMENTO</u> | <u>GEOMETRIA</u> |
|---------------------------|------------------|
| Pista Principal | 3000 m. x 45 m. |
| Pista Secundaria 16-34 | 1700 m. x 30 m. |
| Plataforma de Operaciones | 445 m. x 100 m. |
| Plataforma de Avionetas | 180 m. x 90 m. |
| Rodaje No. 1 | 390 m. x 23 m. |
| Rodaje No. 2 | 592 m. x 23 m. |

3.2 ESTRUCTURAL ACTUAL DEL PAVIMENTO

En cuanto a la estructuración del pavimento en la pista secundaria 16-34, según antecedentes proporcionados por el

Departamento de Proyectos Civiles de la Dirección General de Aeropuertos de la S.A.H.O.P., está constituido por una carpeta de concreto asfáltico de 7 cm., una base hidráulica de 20 cm., una subbase hidráulica de 20 cm. y una capa subrasante de 50 cm.

3.3 CONDICIONES DE OPERACION

Originalmente esta pista se diseñó para permitir la operación de la aeronave DC-6 con peso máximo de 50 Ton., pudiendo operarse en forma eventual aeronaves del tipo del Boeing - 727. Ahora bien, el señalamiento de la pista secundaria no está muy bien resuelto, pues las franjas laterales blancas marcan un ancho de pista de 45.00 m. y no de 30.00 m. que es lo correcto, por lo que las aeronaves invaden parte del acotamiento, el cual está estructurado en forma muy diferente al cuerpo central de la pista, ocasionando con esto deformaciones de la carpeta en las áreas de pivoteo, las cuales están muy localizadas, aunque no se encuentran en una situación crítica, debido quizá a que la operación de aeronaves grandes no es muy frecuente, lo que no deja de ser inconveniente.

3.4 CONDICIONES ACTUALES DE LOS PAVIMENTOS

Aparentemente la superficie de rodamiento actual está en buenas condiciones, salvo por las depresiones que se presentan, las cuales originan encharcamientos en época de lluvias: estas depresiones según se pudo deducir en el campo, se deben a deficiencias durante el proceso constructivo en cuanto a la colo-

cación del concreto asfáltico se refiere, pues no se aprecian agrietamientos que induzcan a pensar en una falla de tipo estructural; así mismo, según información local, al efectuar pruebas de permeabilidad en estas zonas, el valor de este coeficiente resulta prácticamente nulo y el agua desaparece por evaporación dejando manchas.

En la Figura No. 3 se enlistan los tipos y manifestaciones de fallas en los pavimentos flexibles.

En el Plano No. 1 (Estado Actual de la Superficie de Rodamiento) se muestra la localización de los detalles levantados en el campo a lo largo de la pista 16-34.

TIPOS Y MANIFESTACIONES DE LAS FALLAS DE LOS PAVIMENTOS FLEXIBLES

| TIPO | MANIFESTACION | CAUSAS |
|-----------------------------------|-------------------------------|---|
| Fracturamiento | Agrietamiento | <ul style="list-style-type: none"> -Exceso de carga (insuficiencia estructural) -Repetición de carga (fatiga) -Cambios de temperatura -Cambios de humedad (defecto constructivo) -Ondulamiento por fuerzas horizontales (deficiencia estructural o defecto constructivo) -Contracción |
| | Destrucción por agrietamiento | <ul style="list-style-type: none"> -Exceso de carga (insuficiencia estructural) -Repetición de carga (fatiga) -Cambios de temperatura -Cambios de humedad (defecto constructivo) |
| Deformación | Deformación permanente | <ul style="list-style-type: none"> -Exceso de carga (insuficiencia estructural) -Proceso de deformación viscosa (fatiga, insuficiencia estructural y defecto constructivo) -Aumento de compacidad (defecto constructivo) -Rotura de granos -Consolidación -Expansión |
| | Falla | <ul style="list-style-type: none"> -Exceso de carga (insuficiencia estructural) -Aumento de compacidad (defecto constructivo) -Rotura de granos -Consolidación -Expansión |
| Desintegración (falta de carpeta) | Remoción | <ul style="list-style-type: none"> -Pérdida de adherencia en la carpeta -Reactividad química -Abrasión por efecto de tránsito |
| | Desprendimiento | <ul style="list-style-type: none"> -Pérdida de adherencia en la carpeta -Reactividad química -Abrasión por efecto del tránsito -Degradación de los agregados |

FIGURA No. 3

tal causa el brazo D₁ girará en torno a la articulación con respecto al brazo D previamente nivelado (se supone que las dimensiones de la viga son tales que la posición del brazo D no es afectada por la deformación del pavimento) y de esta manera el extensómetro que se señala indicará una lectura. Si se retiraran ahora las llantas cargadas, el punto C se recuperará en lo que a deformación elástica se refiere y por el mismo mecanismo anterior el extensómetro indicará otra lectura.

Con las dos lecturas del extensómetro es posible determinar cuánto se movió el punto E en la operación y con la geometría de la viga se obtendrá correspondientemente la recuperación elástica del punto C al retirar las llantas, tal y como se muestra en la Figura No. 5. Nótese que en realidad se ha medido la recuperación del punto C al remover la carga y no la deformación al colocar ésta.

El equipo necesario es el siguiente:

a) Viga Benkelman con las siguientes características:

| | Pies | Pulgs. |
|---|------|--------|
| - Longitud del brazo de prueba (desde el pivote hasta el punto de prueba) | 8 | 0+0.02 |
| - Longitud del brazo (desde el pivote hasta el medidor) | 4 | 0+0.02 |
| - Distancia desde el pivote hasta las patas frontales | 0 | 10 |
| - Pintura blanca o aluminio en | | |

fig. N°5 Recuperación elástica de la Viga Bentelmen

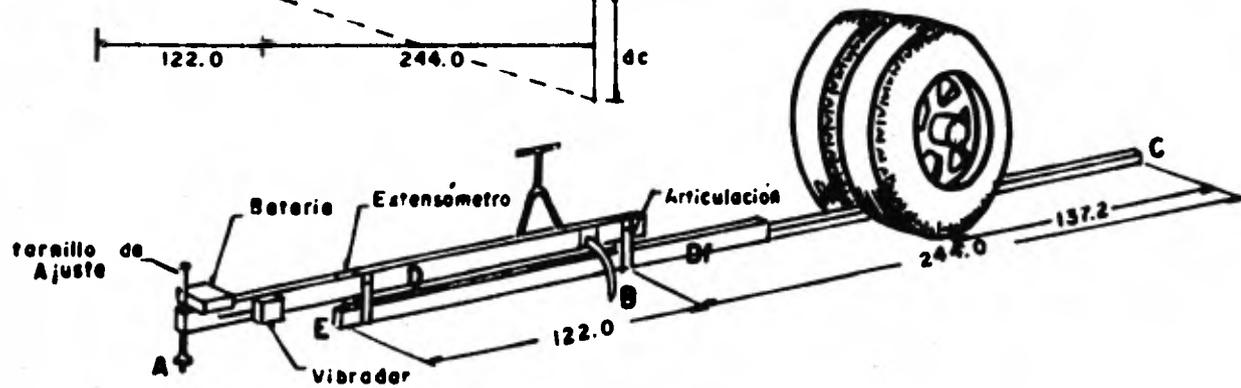
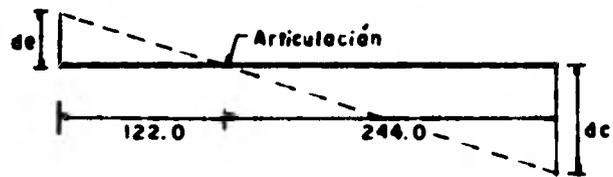


fig. N°4 Viga Bentelmen

fig. N°5 Recuperación elástica de la Viga Bentelmen

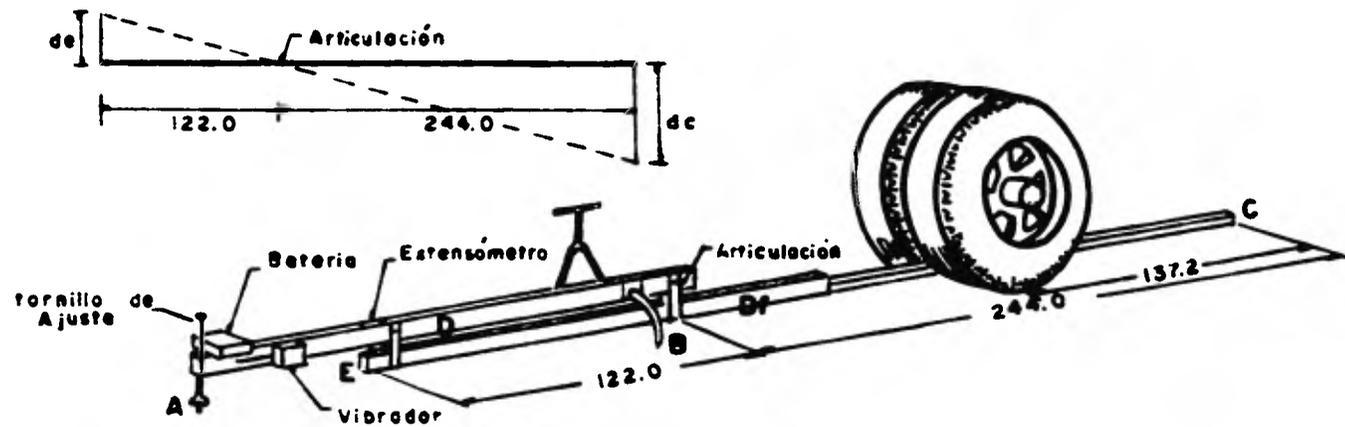


fig. N°4 Viga Bentelmen

la viga para reducir los --
efecto de temperatura.

- b) Vehículo cuya carga sea de 8.2 Ton., repartida igualmente sobre los dos pares de ruedas del - eje trasero. Las dos llantas de cada par, deberán estas separadas como mínimo 5.08 cm. (2"). Las llantas deberán de ser de 10 x 20 con huella de 30.48 cm. (12") inflados a una presión de 80 lb/in²
- c) Medidor de presión de llantas.
- d) Medidor de temperaturas superficial en los pavimentos.

El procedimiento en términos generales es como si

gue:

- a) Las medidas realizadas se efectuaron según dos ejes paralelos al eje central de la pista 16-34, situados a una distancia tal que siempre se estuviera dentro de la zona de trabajo más crítica del pavimento. Estas determinaciones se hicieron a cada 50 m.
- b) El par de llantas del camión se centra sobre - el punto marcado, aceptándose una diferencia - de 7.6 cm. (3").

- c) La Viga Benkelman se coloca entre el par de -- llantas y se sitúa en el punto de prueba selec cionado.
- d) Se nivela la viga.
- e) Se conecta el vibrador y se registra la lectu- ra inicial en el extensómetro.
- f) Inmediatamente después de tomar la lectura, se conduce el camión lentamente durante (30') 9m. o más.
- g) Se registra la lectura final. Cuando la aguja del extensómetro ya no se mueva, se apaga el - vibrador.
- h) Se mide la temperatura de la superficie del pa vimento de la siguiente manera:
 - h.1) En un punto localizado a una distancia no menor de 25.4 cm. (10") se realiza un pe- queño orificio de unos 3 cm. de profundi- dad.
 - h.2) Se llena el orificio con asfalto y se in- serta el termómetro.
 - h.3) Se lee la temperatura en el termómetro.
En este instante se registra la temperatu

ra del aire.

- i) Se checa la presión de las llantas en caso necesario.
- j) Se determina el espesor de las capas del pavimento.

Cálculos

Se resta la lectura final de la inicial, la recuperación total es la deflexión del pavimento durante la prueba -- (La relación de la Viga Benkelman es 4 a 1, sin embargo, el extensómetro está especialmente calibrado para leer directamente la deflexión sin hacer dicha conversión).

En el Plano No. 2 se presentan las variaciones de las deflexiones a lo largo de la pista en estudio.

4.2 PROSPECCION DE LOS PAVIMENTOS ACTUALES

Con el fin de evaluar las características estratigráficas, así como de clasificación, calidad y resistencia que -- presentan las diferentes capas que estructuran los pavimentos, se realizaron un total de nueve pozos a cielo abierto distribuidos -- convenientemente dentro de la pista, obteniéndose un muestreo alterado de las diferentes capas para su estudio en el laboratorio, además, se efectuaron determinaciones de pesos volumétricos "in situ", tanto en la base, sub-base, así como en la capa subrasante que permitieron definir el porcentaje de compactación que poseen --

dichas capas.

4.3 TRABAJOS DE EXPLORACION EN LAS ZONAS DE AMPLIACION

En las zonas de ampliación de la pista, que quedan ubicadas después de las cabeceras, se realizaron un total de 4 pozos a cielo abierto, con el objeto de definir la estratigrafía del subsuelo y obtener un muestreo que permita estudiar las características de clasificación, calidad y resistencia del terreno de cimentación.

En el Plano No. 3 (Estratigrafía), se muestra el perfil geológico del terreno según los ejes topográficos de las zonas de ampliación.

4.4 BANCOS DE MATERIALES

Para poder seleccionar los materiales susceptibles de utilizarse en la rehabilitación de los pavimentos, así como en la construcción de ellos en las zonas de ampliación, se visitaron y muestrearon los siguientes bancos:

- 1.- "AEROPUERTO"
- 2.- "TOPO CHICO"
- 3.- "MATERIALES TRITURADOS, S. A."
("LAS MITRAS")

CAPITULO V

ESTUDIOS DE LABORATORIO

5.1 PRUEBAS A LAS QUE FUERON SUJETOS LOS MATERIALES PROCEDENTES DE LOS POZOS REALIZADOS EN PISTA, ZONA DE AMPLIACION Y BANCOS DE MATERIALES

A. PRUEBAS DE IDENTIFICACION

- Límites de Atterberg
- Granulometría
- Equivalente de Arena

B. PRUEBAS DE CALIDAD

- Proctor S.O.P.
- Compactación Estática
- Porter Estándar
- Pesos Volumétrico "in situ"

C. PRUEBAS DE DISEÑO

- Porter Modificada

D. PRUEBAS PARA CONCRETOS ASFALTICOS

- Desgaste tipo Los Angeles

- Afinidad con el asfalto
- Porcentaje de partículas alargadas y en forma de laja.
- Prueba Marshall

5.2 PRUEBAS DE IDENTIFICACION

LIMITES DE ATTERBERG

En un material en suspensión, al ir disminuyendo su contenido de agua en forma gradual, éste va cambiando su consistencia y puede llegar a estar en cualquiera de los estados definidos por Atterberg.

- 1.- Estado líquido, con las propiedades y apariencia de una suspensión.
- 2.- Estado semilíquido, con las propiedades de un fluido viscoso.
- 3.- Estado plástico, en el que el suelo se comporta plásticamente.
- 4.- Estado semisólido, en el que el suelo tiene la apariencia de un sólido, pero aún disminuye de volumen al estar sujeto a secado.
- 5.- Estado sólido, en que el volumen del suelo no varía con el secado.

Las fronteras entre estos estados son arbitrarias y se determinan mediante los llamados límites de consistencia, los cuales a su vez son determinados por los procedimientos idea-

dos por Atterberg.

En mecánica de suelos lo que interesa es el contenido de agua en el cual el suelo se encuentra dentro del estado plástico. La plasticidad de un material queda definida cuando es capaz de soportar deformaciones rápidas, sin rebote elástico, sin variación volumétrica apreciable y sin desmoronarse ni agrietarse.

Las fronteras de las que se hablaba en párrafos anteriores son las siguientes:

Límite líquido.- Se define como el contenido de agua en el cual el suelo pasa del estado semilíquido al estado plástico.

El procedimiento para determinar lo es mediante el uso de la copa de Casagrande (Figura No. 6), que es un recipiente de bronce o latón con un tacón solidario del mismo material; el tacón y la copa giran en torno a un eje fijo unido a la base. Un movimiento hace que la copa caiga periódicamente, golpeándose contra la base del dispositivo, que es de hule duro o micarta 221. La altura de caída de la copa es por especificación de 1 cm.

En la copa se coloca el suelo y se procede a hacerle una ranura trapezoidal con las dimensiones indicadas en la Fig. No. 6.

Para hacer la ranura debe usar-

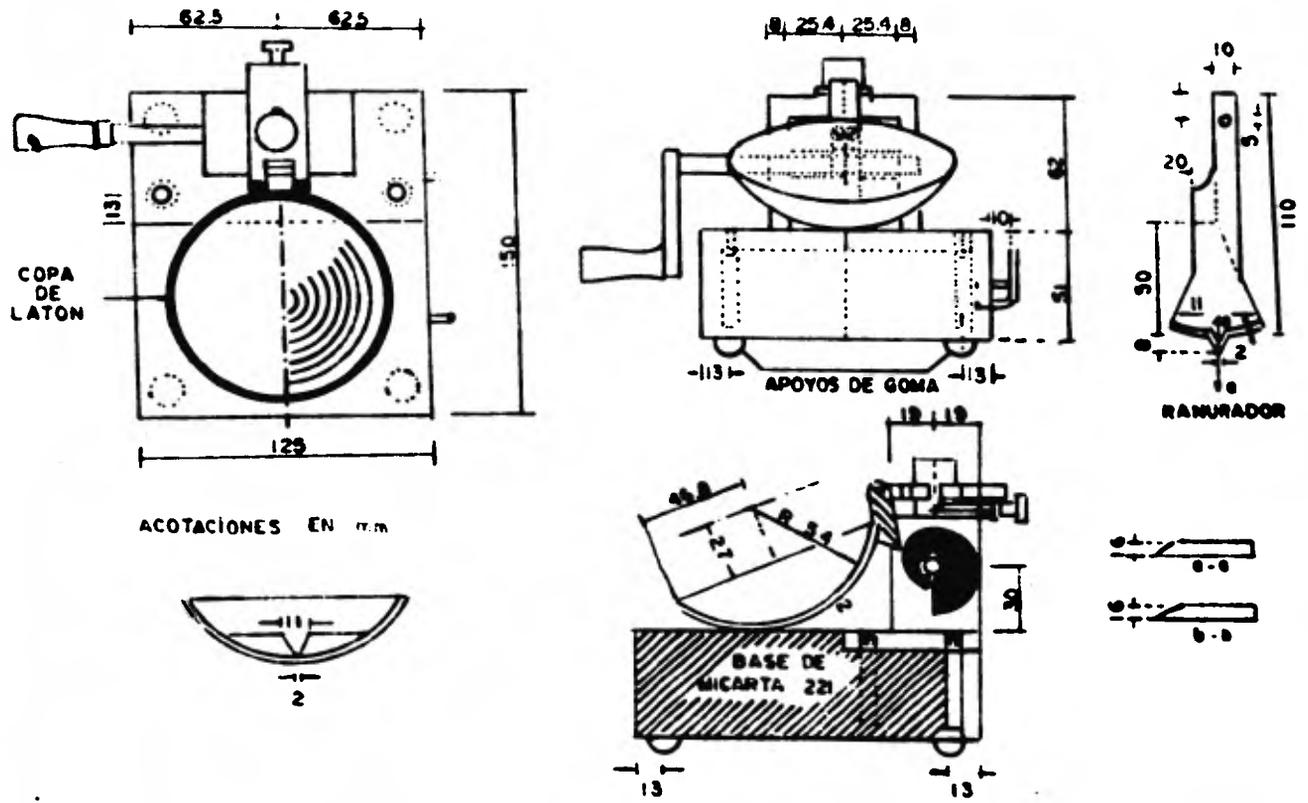


fig n° 6 COPA DE CASAGRANDE

se el ranurador laminar que aparece en la misma figura.

El límite líquido queda definido como el contenido de agua del suelo para el que la ranura se cierra a lo largo de 1.27 cm. (1/2") con 25 golpes de la copa.

Límite plástico.- Es la frontera en el que un suelo pasa de estado plástico a semisólido.

Se determina tomando un fragmento de suelo, rolándolo con la palma de la mano en una superficie plana hasta quedar con un espesor de 3 mm. (3/8"). Cuando los rollitos llegan a los 3 mm. se doblan y presionan, formando una pastilla que vuelve a rolarse, hasta que en los 3 mm. justos ocurra el desmoronamiento y agrietamiento; en ese momento se determinará el contenido de agua, que es el límite plástico.

Índice plástico.- Es el contenido de agua en el cual el suelo conserva sus características de plasticidad y se define por la diferencia del contenido de agua entre el Límite Líquido y el Límite Plástico.

$$I_p = LL - LP$$

GRANULOMETRIA

La composición granulométrica representa gráfica y numéricamente la distribución de los diferentes tamaños de las partículas que componen el suelo. Se acostumbra trazar la curva que representa la composición granulométrica en una gráfica que tenga por abscisas a escala logarítmica las aberturas de las mallas y por ordenadas los porcentajes de material que pasa por dichas mallas a escala aritmética.

Esta prueba consiste en separar las partículas -- del suelo, tamizándolo a través de una sucesión de mallas de abertura cuadrada, y en pesar las porciones que se retienen en cada una de ellas, a fin de relacionar dichos retenidos, como porcentajes de la muestra total, para obtener la composición granulométrica.

Se puede conocer así la buena o mala graduación - del material, lo cual es importante, ya que un material es más estable cuando se reduce al mínimo la cantidad de vacíos y para que esto pueda lograrse se requiere una sucesión adecuada de tamaños que permita que los huecos dejados por las partículas mayores -- sean ocupados por partículas de menor tamaño y en los huecos que dejen éstas últimas se acomoden partículas más finas, y así sucesivamente.

Para la realización de la prueba se requieren mallas de las siguientes aberturas:

| <u>EN MM.</u> | <u>EN PULGS.</u> |
|---------------|------------------|
| 50.8 | 2" |
| 38.1 | 1 1/2" |
| 25.4 | 1" |
| 19.1 | 3/4" |
| 9.52 | 3/8" |
| 4.76 | No. 4 |
| 2.00 | No. 10 |
| 0.84 | No. 20 |
| 0.42 | No. 40 |
| 0.25 | No. 60 |
| 0.149 | No. 100 |
| 0.074 | No. 200 |

El material se pasa por todas estas mallas y se obtienen curvas como la que ilustra la Figura No. 7, en donde se observa además el procedimiento de cálculo y la clasificación del material de acuerdo al Sistema Unificado de Clasificación de Suelos (S.U.C.S.).

Las curvas obtenidas se comparan con las que -- marcan las especificaciones según la utilización que vaya a tener el material en la estructura del pavimento.

EQUIVALENTE DE ARENA

Esta prueba proporciona una forma rápida para separar las partículas más finas de tipo arcilloso, de los granos más gruesos correspondientes a la arena y comparar las proporciones relativas sobre bases volumétricas arbitrarias, empleando un procedimiento sencillo que tiende a amplificar el volumen de la arcilla en una forma proporcional a sus efectos perjudiciales.

GRANULOMETRIA POR MALLAS

OBRA: AEROPUERTO DE MONTERREY

LOCALIZACION: _____

ENSAYE N° 175 SONDEO N° _____

MUESTRA N° _____ PROF _____

DESCRIPCION _____

PESO DE LA MUESTRA _____

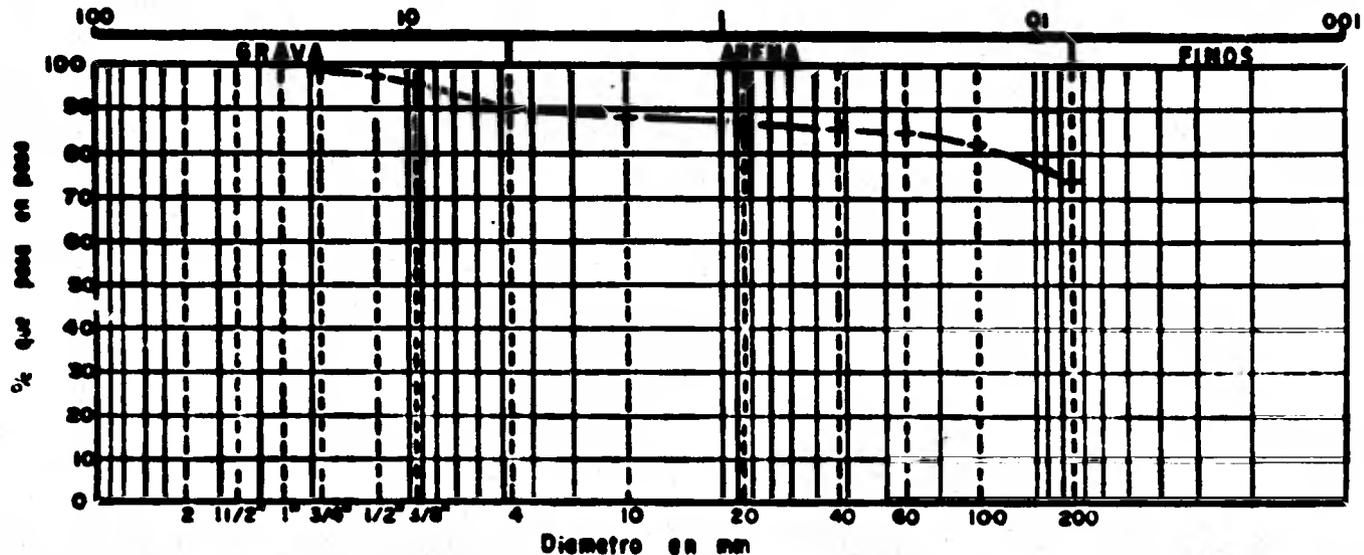
figura N° 7

| | RET. N° 4 | PASA N° 4 |
|-----------------------|-----------|-----------|
| PORCIENTO | | 89.5 |
| TARA + MUESTRA HÚMEDA | | 132.8 |
| TARA + MUESTRA SECA | | 126.7 |
| PESO AGUA | | 6.1 |
| PESO TARA | | 10.4 |
| PESO MUESTRA SECA | | 116.3 |
| CONTENIDO DE HUMEDAD | | 5.2 |

FECHA: 27-VII-80
 OPERADOR: Jorge Valencia G.
 CALCULO: Mario Valencia de la C.

| Malla N° | Abertura | Peso suelo retenido | Porcentaje retenido parcial | Porcentaje que pasa | Malla N° | Abertura | Peso suelo retenido | Porcentaje retenido parcial | Porcentaje que pasa |
|-----------|----------|---------------------|-----------------------------|---------------------|----------|----------|---------------------|-----------------------------|---------------------|
| — | mm | gr | % | % | — | mm | gr | % | % |
| 2" | 50.80 | | | | 10 | 2.000 | 2.7 | 1.3 | 88.2 |
| 1 1/2" | 38.10 | | | | 20 | 0.840 | 2.0 | 0.9 | 87.3 |
| 1" | 25.40 | | | 100 | 40 | 0.420 | 2.8 | 1.3 | 86.0 |
| 3/4" | 19.05 | 240 | 1.1 | 98.9 | 60 | 0.250 | 2.7 | 1.3 | 84.7 |
| 1/2" | 12.70 | 200 | 0.9 | 98.0 | 100 | 0.149 | 6.0 | 2.8 | 81.9 |
| 3/8" | 9.52 | 390 | 1.8 | 96.2 | 200 | 0.074 | 17.0 | 8.0 | 73.9 |
| N° 4 | 4.75 | 590 | 6.7 | 89.5 | Peso 200 | | 156.8 | 73.9 | |
| Peso N° 4 | | 19200 | 89.5 | | SUMA | | 190.0 | | |
| SUMA | | 21460 | | | | | | | |

CLASIFICACION SISTEMA UNIFICADO



$D_{10} =$ _____ $C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} =$ _____ $> 3" =$ _____ %
 $D_{20} =$ _____ $C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} =$ _____ $G =$ 10 %
 $D_{60} =$ _____ $F =$ 74 %

Clasificación **SUCS:** Arcilla de mediana plasticidad con arena y gravas (CL).

OBSERVACIONES _____

La prueba consiste en agitar vigorosamente una -- muestra del material que pasa la Malla No. 4, en una probeta transparente que contiene una solución de cloruro de calcio que actúa como floculante, con el objeto de acelerar la sedimentación de la fracción activa, mezclada con glicerina y formaldehído para estabilizar la solución; a continuación se deja reposar el material - un tiempo fijo (20 min.), procediéndose inmediatamente a determinar las proporciones de las partes activas y no activas, introduciendo un pisón de peso especificado, el cual marca las fronteras entre dichas proporciones, una vez que se ha sedimentado.

El equivalente de arena se calcula aplicando la - siguiente expresión:

$$\text{EQUIVALENTE DE ARENA} = \frac{\text{Lectura del nivel superior de la arena}}{\text{Lectura del nivel superior de la arcilla}}$$

El dispositivo empleado en la determinación del - equivalente de arena, consta de los elementos que se muestran en la Figura No. 8.

5.3 PRUEBAS DE CALIDAD

PRUEBA PROCTOR

Esta prueba de compactación está limitada a los - suelos que pasen totalmente por la Malla No. 4 o cuando más tengan un retenido del diez por ciento (10%) en esta malla, pero a su vez que pasen totalmente la Malla de 3/8". Los objetos de la - - prueba son los siguientes:

La prueba consiste en agitar vigorosamente una -- muestra del material que pasa la Malla No. 4, en una probeta transparente que contiene una solución de cloruro de calcio que actúa como floculante, con el objeto de acelerar la sedimentación de la fracción activa, mezclada con glicerina y formaldehído para estabilizar la solución; a continuación se deja reposar el material - un tiempo fijo (20 min.), procediéndose inmediatamente a determinar las proporciones de las partes activas y no activas, introduciendo un pisón de peso especificado, el cual marca las fronteras entre dichas proporciones, una vez que se ha sedimentado.

El equivalente de arena se calcula aplicando la - siguiente expresión:

$$\text{EQUIVALENTE DE ARENA} = \frac{\text{Lectura del nivel superior de la arena}}{\text{Lectura del nivel superior de la arcilla}}$$

El dispositivo empleado en la determinación del - equivalente de arena, consta de los elementos que se muestran en la Figura No. 8.

5.3 PRUEBAS DE CALIDAD

PRUEBA PROCTOR

Esta prueba de compactación está limitada a los - suelos que pasen totalmente por la Malla No. 4 o cuando más tengan un retenido del diez por ciento (10%) en esta malla, pero a su vez que pasen totalmente la Malla de 3/8". Los objetos de la - - prueba son los siguientes:

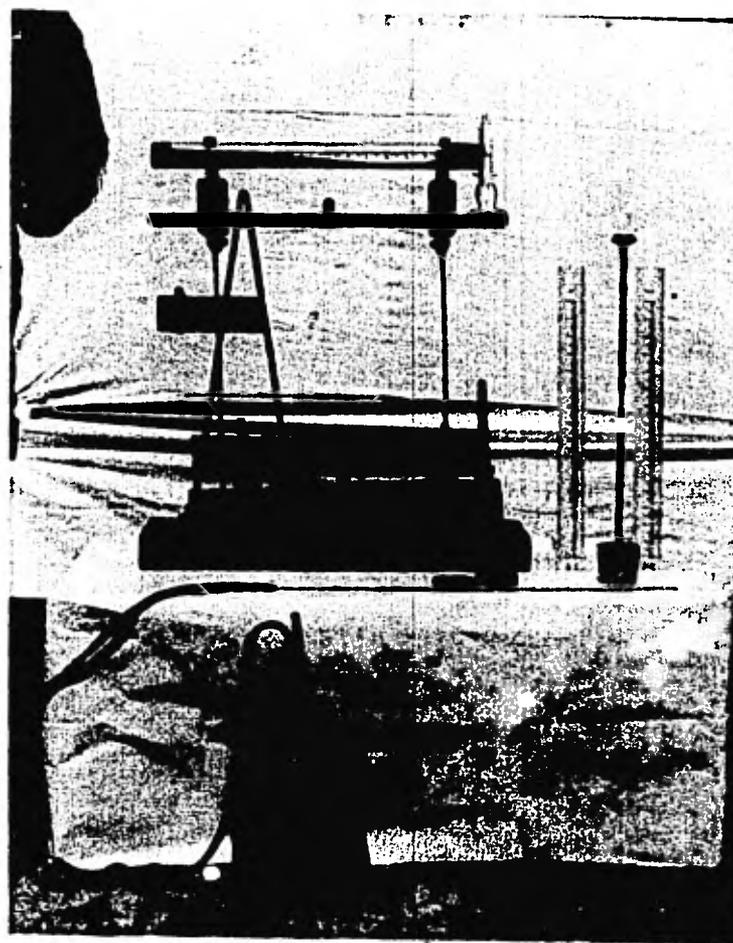


FIGURA NO. 8 EQUIPO PARA EQUIVALENTE DE ARENA

- A) Determinar el peso volumétrico máximo que puede alcanzar el material de que se trate, así como la humedad óptima a que deberá hacerse la compactación.

- B) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material durante la construcción o en terracerías ya construidas, relacionándolo con el peso máximo Proctor.

Este prueba tiende a reproducir en el laboratorio el tipo de compactación que se obtiene con los rodillos patas de cabra.

Procedimientos de Prueba

Se cuartea una muestra de aproximadamente 3 Kgs.- constituida por material que pase la Malla No. 4, a continuación se mezcla la muestra con agua, para iniciar la prueba, esta cantidad deberá estar de acuerdo a las especificaciones.

Se compacta el material en un molde cilíndrico de una capacidad de 950 cm³, la compactación se hace con un pisón de un peso de 5 lbs., a continuación se extrae la muestra y se determina la humedad secando una porción del corazón de la muestra; la muestra ya removida del molde cilíndrico se desmenuzará hasta que pase de nuevo por la Malla No. 4, y se agregan 60 cm³ de agua y se vuelve a repetir el procedimiento descrito con anterioridad.

Esta operación se repite hasta que la muestra esté bastante húmeda y se presente una disminución apreciable en el peso del suelo húmedo compactado, llegándose a obtener una curva del tipo que se muestra en la figura No. 9 en donde la humedad óptima será la correspondiente al peso volumétrico seco máximo. En la misma figura se ilustra el procedimiento de cálculo.

PRUEBA DE COMPACTACION ESTATICA

Esta prueba se realiza en suelos con agregados gruesos hasta de 25.4 mm (1"). Los objetos son los siguientes:

- A) Determinar el peso volumétrico seco máximo que pueda alcanzar el material para la compactación dada, así como la humedad óptima a que deberá hacerse esa compactación.
- B) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material, relacionando el peso volumétrico máximo obtenido con esta prueba, al peso volumétrico determinado en el lugar.

Esta prueba tiende a reproducir en el laboratorio el tipo de compactación que se obtiene con los rodillos lisos o neumáticos.

Procedimiento de prueba

La muestra deberá pesar 16 Kgs. se secará disgregará y cuarteará de acuerdo con las especificaciones, a continua-

Esta operación se repite hasta que la muestra es té bastante húmeda y se presente una disminución apreciable en el peso del suelo húmedo compactado, llegándose a obtener una curva del tipo que se muestra en la figura No. 9 en donde la humedad óptima sera la correspondiente al peso volumétrico seco máximo. En la misma figura se ilustra el procedimiento de cálculo.

PRUEBA DE COMPACTACION ESTATICA

Esta prueba se realiza en suelos con agregados - gruesos hasta de 25.4 mm (1"). Los objetos son los siguientes:

- A) Determinar el peso volumétrico seco máximo que pueda alcanzar el material para la compactación dada, así como la humedad óptima a que - deberá hacerse esa compactación.

- B) Determinar el grado de compactación alcanzado por el material, relacionando el peso volumétrico máximo obtenido con esta prueba, al peso volumétrico determinado en el lugar.

Esta prueba tiende a reproducir en el laboratorio el tipo de compactación que se obtiene con los rodillos lisos o - neumáticos.

Procedimiento de prueba

La muestra deberá pesar 16 Kgs. se secará disgregará y cuarteará de acuerdo con las especificaciones, a continua-

PROCTOR

OBRA : AEROPUERTO DE MONTERREY
 LOCALIZACION : _____
 ENSAYE N° : 175 SONDED N° _____
 MUESTRA N° : _____ PROF : _____
 DESCRIPCION : _____

figura N° 9

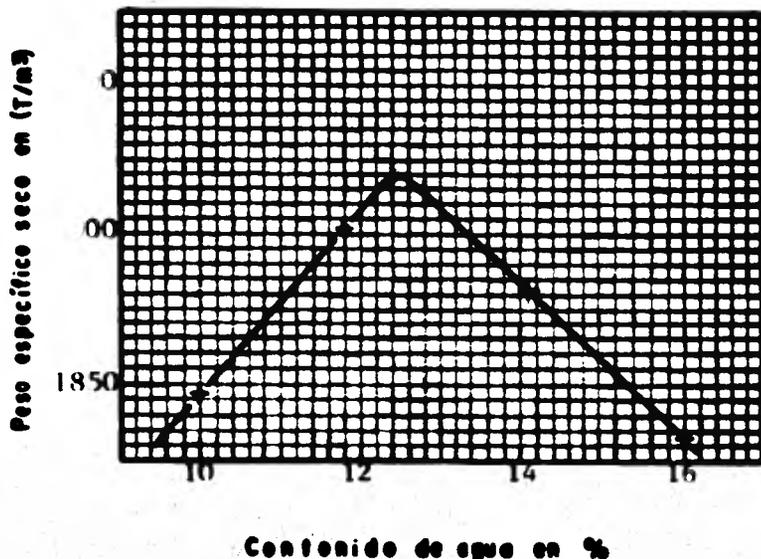
Tipo de prueba : PROCTOR S.O.P.
 Molde N° 1 vol.: 950 cm³ peso : 1980 gr
 peso martillo : 2500 gr Altura caída : 30 cm
 N° de capas : 3 N° de golpes por capa 30

FECHA : 27/VII/80
 OPERADOR : José R. Maza
 CALCULO : Mario Valencia

| Determinación N° | 1 | 2 | 3 | 4 | | | | |
|--|-------|-------|-------|-------|--|--|--|--|
| Peso molde + suelo húmedo (gr) | 3910 | 4000 | 4020 | 4000 | | | | |
| Peso molde (gr) | 1980 | 1980 | 1980 | 1980 | | | | |
| Peso suelo húmedo (gr) | 1930 | 2020 | 2040 | 2020 | | | | |
| Peso específico húmedo (T/m ³) | 2032 | 2126 | 2147 | 2126 | | | | |
| Cápsula N° | 4 | 8 | 19 | 23 | | | | |
| Peso cápsula + suelo húmedo (gr) | 126.2 | 124.9 | 127.9 | 129.0 | | | | |
| Peso cápsula + suelo seco (gr) | 115.7 | 112.8 | 113.4 | 112.6 | | | | |
| Peso del agua (gr) | 10.5 | 12.1 | 14.5 | 16.4 | | | | |
| Peso cápsula (gr) | 10.3 | 10.5 | 10.7 | 10.2 | | | | |
| Peso suelo seco (gr) | 105.4 | 102.3 | 102.7 | 102.4 | | | | |
| Contenido de agua (%) | 10.0 | 11.8 | 14.1 | 16.0 | | | | |
| Peso específico seco (T/m ³) | 1847 | 1902 | 1882 | 1833 | | | | |
| Relación de vacíos : e | | | | | | | | |

Peso específico seco :
$$\frac{\text{Peso específico húmedo}}{1 + \text{Contenido de agua}}$$

Datos sobre saturación



| | w | γ _d |
|------------------------|-------------|----------------|
| G _w = 100 % | <u>12.5</u> | <u>1920</u> |
| G _w = 80 % | _____ | _____ |

$$\gamma_d = \frac{S_u \gamma_s}{1 + e}$$

OBSERVACIONES : _____

ción se tamizará por la malla de 25.4 mm. , se toma una parte que resulte del cuarteo y se agregará agua, se homogeneizará la muestra y se colocará en tres capas dentro del molde de prueba, dando 25 - golpes por capa con una varilla de punta en forma de bala,- el mol de tiene 15.2 cm. de diámetro y 20.3 cm. de altura - al terminar - de colocar la última capa se compactará el material aplicándole -- lentamente una presión de 140.6 Kgs/cm^2 , si al descargarse la base del molde no está húmeda, la humedad del espécimen es menor que la óptima, entonces a otra porción de 4 Kgs. se le adicionará una can tidad de agua igual a la del espécimen anterior, más 80 cm^3 .; se - vuelve a alicar el procedimiento anterior y se observa si se hume- dece la base, si se logra ésto, se considera que el material tiene la humedad óptima, procediéndose a calcular el peso volumétrico se co del material así como la humedad por medio de las fórmulas co-- rrespondientes.

PRUEBA ESTANDAR DEL VALOR RELATIVO DE SOPORTE O
PORTER ESTANDAR

El objeto de la prueba es determinar la calidad - de los suelos en cuanto a valor relativo de soporte se refiere, mi diendo la resistencia a la penetración del suelo compactado y suje to a un determinado período de saturación. (72 horas aprox.)

La prueba consiste en medir la resistencia a la - penetración de un espécimen compactado a la humedad óptima, con -- una carga unitaria de 140.6 Kgs/cm^2 , aplicado con la máquina de -- compresión, después de haber sido saturado en agua hasta lograr su máxima expansión. La humedad óptima se determina por medio de la -

Prueba de Compactación Estática, descrita con anterioridad.

La penetración se logra mediante un vástago de 3 pulgadas cuadradas de área a razón de 0.05 pulg/mín. midiéndose la carga aplicada para penetraciones que varían en 0.05 de pulgada.

Para reproducir la sobrecarga supuesta por el pavimento real, al penetrar el material se coloca una placa de acero, con una perforación central para permitir el peso del vástago.

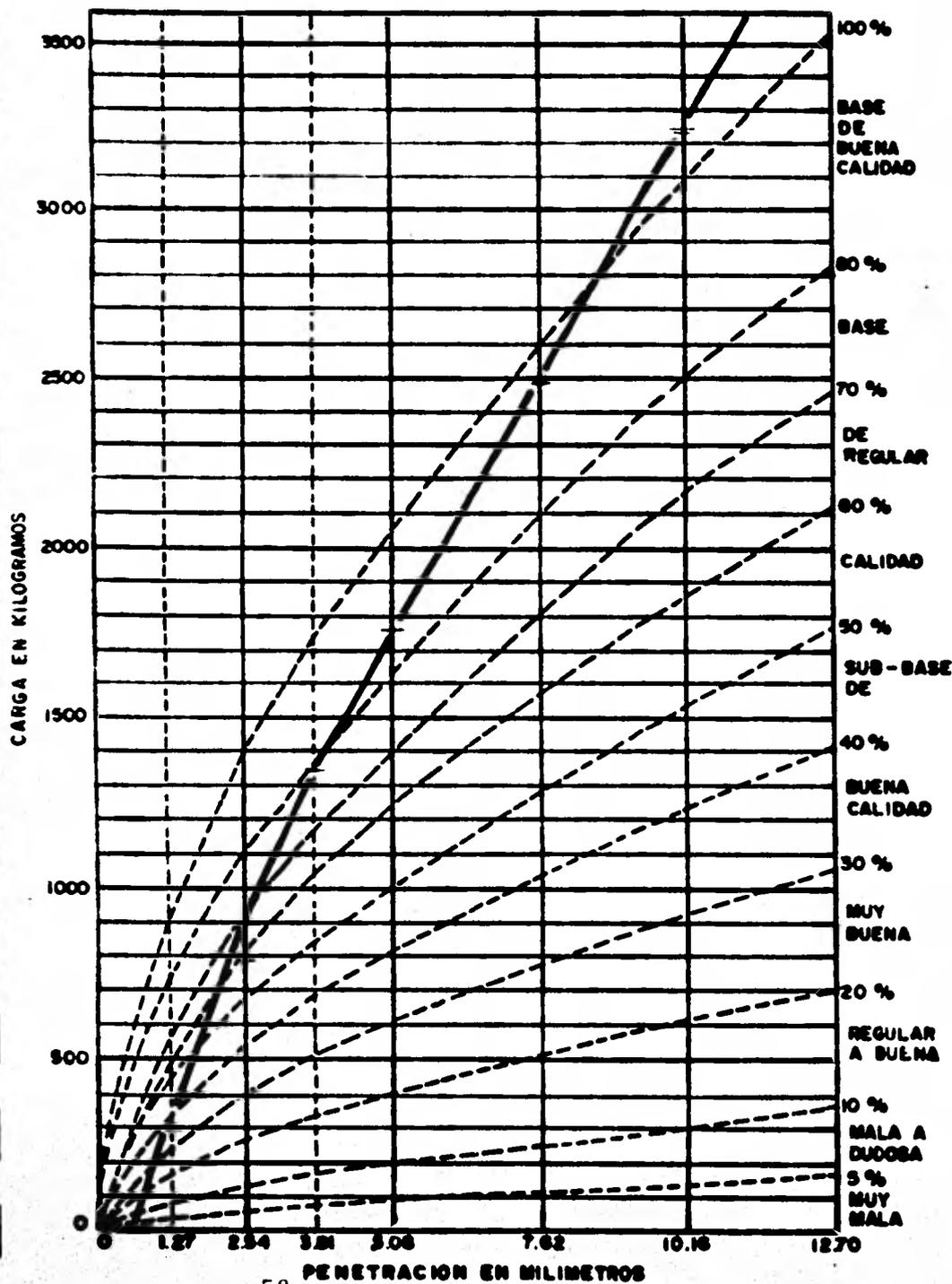
El resultado de la prueba es una curva esfuerzo—deformación que comparada con las correspondientes al suelo patrón, ver Figura 10, permite conocer la calidad del suelo en estudio.

Si la curva presenta en su principio una concavidad hacia arriba, se debe corregir esta curva efectuando una translación de ejes de tal manera que la curva con concavidad hacia --abajo quede comprendida en el plano definido por el nuevo sistema de ejes. La carga registrada para la penetración de 2.54 mm., se expresará como un porcentaje de la carga estándar (1,360 Kg.) y si la prueba estuvo bien realizada, el porcentaje así obtenido es el valor relativo de soporte correspondiente a la muestra ensayada.

Con el resultado así obtenido por medio de esta prueba, se clasifica el suelo de acuerdo a la siguiente tabla:

figura N° 10.- PRUEBA DE VALOR RELATIVO SOPORTE ESTANDAR

FECHA 27-VII-80 ENSAYE 169 OPERADOR Mario Valencia de la Concha



MOLDE N° 8
 EXTENSION N° _____
 PESO SECO 5000 Kg
 PESO HUMEDO 4470 Kg
 AGUA AGREGADA 150 cm³
 ALTURA MOLDE 12.7 cm
 ALTURA FALTANTE 2.85 cm
 ALTURA DEL MAT 9.85 cm
 AREA MOLDE 193.6 cm²
 VOLUMEN MATERIAL 1907 cm³
 PESO VOL. HUM. γ_m 2344 Kg/m³
 PESO VOL. SECO. γ_d 2197 Kg/m³
 HUMEDAD OPTIMA W 6.7 %
 V. R. S. 77.2 %

PENETRACION

| m.m. | ANILLO | CARGA |
|-------|--------|-------|
| 1.27 | 60 | 292 |
| 2.54 | 163 | 793 |
| 3.81 | 276 | 1342 |
| 5.08 | 364 | 1770 |
| 7.62 | 512 | 2490 |
| 10.16 | 666 | 3239 |
| 12.70 | | |

| | |
|-------|-------|
| 58 | |
| 775.5 | 748.1 |
| 748.1 | 108.8 |
| 27.4 | 639.3 |

LECTURA I : 0.000
 LECTURA F : 0.140
 EXPANSION 0.14

| <u>VALOR RELATIVO DE SOPORTE</u> <u>(V.R.S.)</u> | <u>CLASIFICACION</u> |
|---|-------------------------------|
| 0 - 5 | Subrasante muy mala |
| 5 - 10 | Subrasante mala |
| 10 - 20 | Subrasante de regular a buena |
| 20 - 30 | Subrasante muy buena |
| 30 - 50 | Sub-base buena |
| 50 - 80 | Base de regular calidad |
| 80 - 100 | Base de buena calidad |

A la prueba estándar descrita anteriormente, se le han introducido algunas modificaciones, para emplear el valor que define la prueba con fines de diseño.

DETERMINACION DEL PESO VOLUMETRICO "IN SITU"

Esta prueba tiene por objeto conocer el abudamiento de los suelos o de los bancos, ya sea para efectos de su transporte o conocer los volúmenes necesarios en los terraplenes.

En este caso se utilizó para conocer el grado de compactación de los materiales que constituyen el pavimento de la pista 16-32.

El peso volumétrico seco es el peso del material seco contenido en la unidad de volumen considerando los huecos -- que quedan entre sus partículas, cuando éstas han adquirido un -- cierto acomodo, ya sea por proceso natural o por algún procedimiento mecánico de compactación.

Procedimiento de Prueba

Se hace una excavación de 15 a 30 cm. de profundi

dad, procediéndose a determinar el volumen de la excavación ya sea con arena de Ottawa o con aceite.

El peso volumétrico húmedo se determina con la siguiente expresión:

$$PVh = \frac{\text{Peso del material excavado}}{\text{Volumen de la excavación}}$$

Para poder determinar el peso volumétrico seco, es necesario determinar el contenido de agua de la muestra, ésta se obtiene por un procedimiento de secado y muestreado. Siendo el contenido de agua, el cociente que resulta de dividir el peso del agua que contiene el suelo por el peso de sólidos, este cociente se acostumbra expresarlo como porcentaje.

$$\omega = \frac{Pa}{Ps} \times 100$$

En donde:

ω = Contenido de agua en por ciento

Pa = Peso del agua que contiene la muestra

Ps = Peso de la muestra seca

Una vez conocida la humedad que contiene la muestra, el peso volumétrico seco se calcula con la siguiente fórmula

$$PVs = \frac{PVh}{100 + \omega}$$

En donde todos los términos son conocidos.

PESO VOLUMETRICO SECO SUELTO

Es el peso por unidad de volumen de suelo seco, -
sin que éste tenga acomódo.

Para la determinación de este peso el material ne
cesita la siguiente preparación:

- a.- Secado - La muestra seca al sol o en horno a una --
temperatura de 40 a 50°C.
- b.- Disgregado - Se debe disgregar la muestra teniendo
cuidado de no romper las partículas que -
constituyen la muestra.
- c.- Cuarteo - Se revuelve la muestra hasta conseguir un
aspecto homogéneo, luego se forma un cono
permitiendo que el material busque su aco-
modo, a continuación se cuartea con el obje
to de tener el material para la prueba.

Una vez preparado el material se procede a llenar
un recipiente de volumen conocido del cual sabemos su peso.

El llenado se recomienda se haga desde una altura
de 20 cm. valiéndose para ello de una regla, se pesa el recipien-
te lleno y el peso volumétrico seco suelto se obtiene con la fór-
mula:

$$PV_{ss} = \frac{P_{rm} - P_r}{V_r}$$

En donde:

PVss = Peso volumétrico seco suelto

P_{rm} = Peso del recipiente más material

P_r = Peso del recipiente vacío

V_r = Volumen del recipiente

5.4 PRUEBAS DE DISEÑO

PORTER MODIFICADA

Esta prueba es esencialmente de diseño, por lo -- que los resultados obtenidos con ella al hacer las pruebas a los materiales provenientes de los préstamos, deberán ser comprobados posteriormente en el material que forma la estructura, por medio de la prueba de valor relativo de soporte "in situ", mencionada - en el inciso correspondiente.

Estas pruebas del valor relativo de soporte se - aplican a suelos cuya estructura va a ser alterada por compacta-- ción o remoción y se efectúan a diversos grados de compactación - variando la humedad de prueba desde la humedad óptima hasta una - humedad óptima más o menos en cierto porcentaje de agua, de acuer- do a las condiciones de precipitación y drenaje que prevalecerán en la obra durante su vida útil.

La prueba consiste en medir la resistencia a la - penetración en especímenes de material que han sido compactados, para reproducir los pesos volumétricos que corresponden a diferen- tes grados de compactación, variando las humedades como se mencio

nó anteriormente.

Las gráficas que resultan de los datos que se tengan, así como el Valor Relativo de Soporte, se obtienen en la misma forma indicada en la Prueba de Valor Relativo de Soporte. En la Figura No. 11 se ilustra el proceso de cálculo.

5.5 PRUEBAS PARA CONCRETO ASFALTICO

DESGASTE TIPO LOS ANGELES

Esta prueba tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo y es una medida indirecta del grado de alteración alcanzado por éste, así como la presencia de planos de debilitamiento o cristalización que provocan una desintegración de la partícula de material; igualmente da una idea de la presencia de partículas con forma de laja, cuyas aristas vivas sufren una fuerte abrasión durante la prueba. Se verificará en fragmentos de roca, grava triturada y sin triturar.

El procedimiento de prueba es el siguiente:

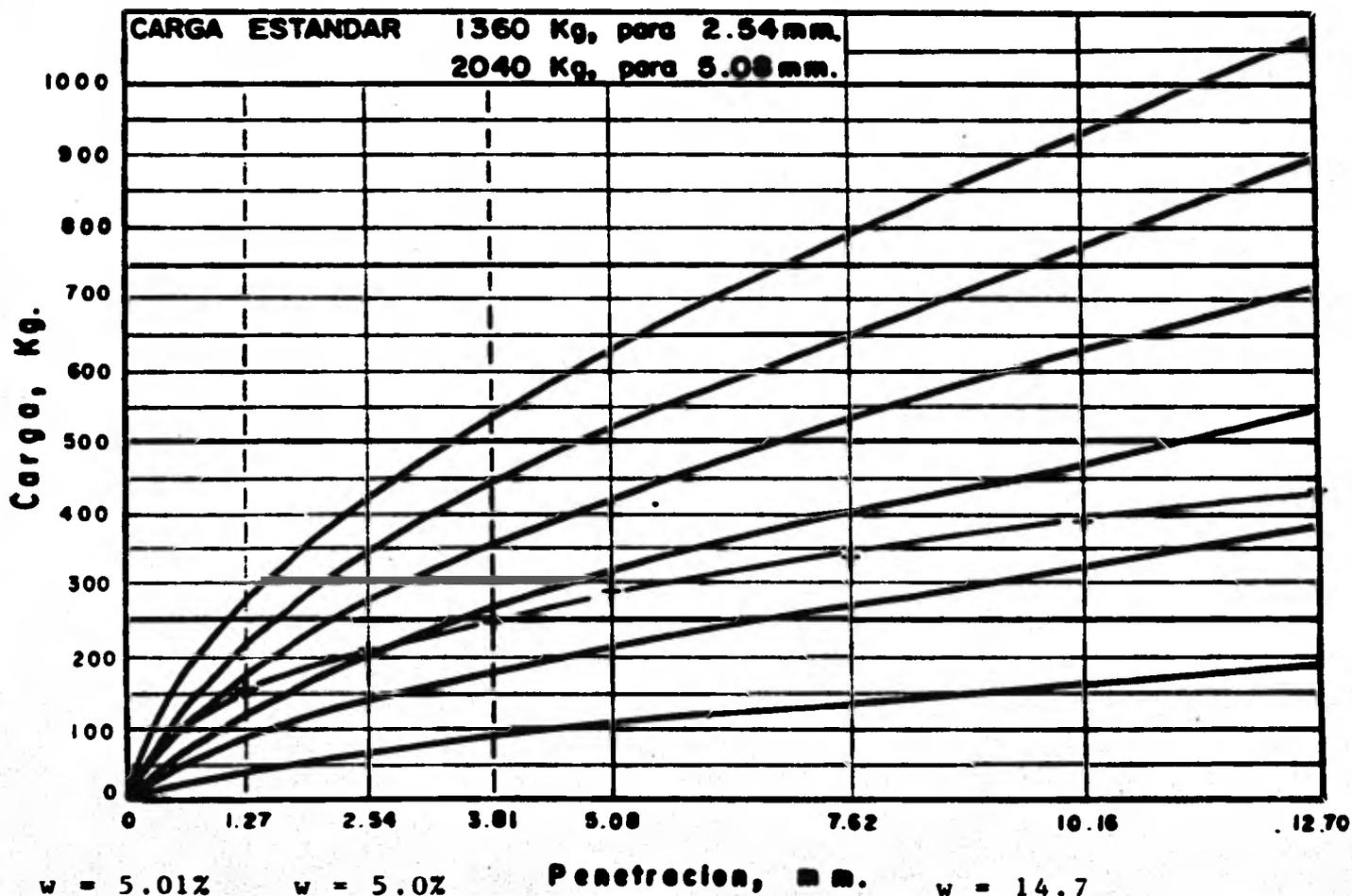
Se lava el material, con el objeto de eliminar las partículas de polvo adheridas y se seca al horno. A continuación se forma una granulometría de acuerdo al tipo de desgaste, ver Figura No. 12, que más se asemeje a la mezcla asfáltica.

figura N° 11.- PRUEBA MODIFICADA DE VALOR RELATIVO DE SOPORTE

ENSAYE 175
 FECHA 28-VII-80
 OPERADOR Mario Valencia de la Concha

| | |
|--|------|
| PESO VOLUMETRICO SECO MAXIMO (F_m) Kg/m ³ | 1920 |
| HUMEDAD OPTIMA (W_{opt}) | 12.5 |
| HUMEDAD QUE CONTIENE EL MATERIAL (W_1) | 5.0 |

| GRADO DE COMPACTACION % | 95 | PENETRACION | CARGA | | CARGA | |
|---|------|-------------------------------------|--------|-------|--------|-----|
| | | | ANILLO | KG. | ANILLO | KG. |
| MOLDE N° | 9 | | | | | |
| PESO VOLUMETRICO SECO (ρ_s) Kg/m ³ | 1824 | | | | | |
| HUMEDAD DE PRUEBA (W_p) % | 14.0 | 1.27 mm (0.05") | 32 | 156 | | |
| PESO MATERIAL USADO (P) Gr | 4500 | 2.54 mm (0.10") | 43 | 209 | | |
| VOLUMEN DEL MOLDE (V) cm ³ | 2323 | 3.81 mm (0.15") | 51 | 248 | | |
| AGUA POR AGREGAR cm ³ $P(W_p - W_1)/100 \cdot W_1$ | 386 | 5.08 mm (0.20") | 58 | 282 | | |
| PESO MATERIAL HUMEDO EN Gr $P_w = P(1 + W_p)V$ | 4830 | 7.62 mm (0.30") | 69 | 336 | | |
| CARGA DE COMPACTACION EN Kg. | | 10.16 mm (0.40") | 80 | 389 | | |
| | | 12.70 mm (0.50") | 90 | 434 | | |
| HUMEDAD REAL DE PRUEBA | | VALOR RELATIVO DE SOPORTE CORREGIDO | | 15.4% | | |
| PESO VOLUMETRICO SECO CORREGIDO | | | | | | |
| GRADO DE COMPACTACION CORREGIDO | | | | | | |



| HUMEDAD QUE CONTIENE EL MATERIAL (W) | | | | COMPROBACION DE LA HUMEDAD DE PRUEBA | | | |
|--------------------------------------|-------|-------|-------|--------------------------------------|-------|--|--|
| 31 | | 23 | | | | | |
| 126.6 | 121.0 | 121.7 | 116.4 | 321.1 | 287.0 | | |
| 121.0 | 11.2 | 116.4 | 10.6 | 287.0 | 55.5 | | |

| TIPO | T A M A Ñ O | Cantidad en grs. de la muestra | CARGA ABRASIVA | | No. de Revoluciones |
|------|--|---|-------------------|----------------------|------------------------|
| | | | No. de Esferas | Peso en grs. | |
| A | De 38.1 mm. (1 1/2") a 25.4 mm. (1").. | 1 250 | 12 | 5 000 ₊₂₅ | 500 |
| | De 25.4 mm. (1") a 19.05mm. (3/4") | 1 250 | | | |
| | De 19.05mm. (3/4") a 12.7 mm. (1/2") | 1 250 | | | |
| | De 12.7 mm. (1/2") a 9.52mm. (3/8") | 1 250 | | | |
| B | De 19.05mm. (3/4") a 12.7 mm. (1/2") | 2 500 | 11 | 4 584 ₊₂₅ | 500 |
| | De 12.7 mm. (1/2") a 9.52mm. (3/8") | 2 500 | | | |
| C | De 9.52mm. (3/8") a Núm. 3 | 2 500 | 8 | 3 330 ₊₂₀ | 500 |
| | De Núm. 3 a Núm. 4..... | 2 500 | | | |
| D | De Núm. 4 a Núm. 8..... | 5 000 | 6 | 2 500 ₊₁₅ | 500 |
| E | De 76.2 mm. (3") a 63.5 mm.(2 1/2") | 2 500 | 12 | 5 000 ₊₂₅ | 1 000 |
| | De 63.5 mm. (2 1/2") a 50.8 mm. (2") | 2 500 | | | |
| | De 50.8 mm. (2") a 38.1 mm.(1 1/2") | 5 000 | | | |
| F | De 50.8 mm. (2") a 38.1 mm.(1 1/2") | 5 000 | 12 | 5 000 ₊₂₅ | 1 000 |
| | De 38.1 mm. (1 1/2") a 25.4 mm. (1").. | 5 000 | | | |
| G | De 38.1 mm. (1 1/2") a 25.4 mm. (1").. | 5 000 | 12 | 5 000 ₊₂₅ | 1 000 |
| | De 25.4 mm. (1") a 19.05mm. (3/4") | 5 000 | | | |

FIG. No. 12 GRANULOMETRIA DE ACUERDO AL TIPO DE DESGASTE

La muestra que ha sido previamente pesada (P_i), se colocará dentro de la máquina de Abrasión Los Angeles, que consiste en un cilindro giratorio de 28" de diámetro y 20" de longitud, en cuyo interior son colocadas unas esferas de acero con un peso aproximado de 390 a 445 grs., el cual se hace girar un número de revoluciones especificado, ver Figura No. 12. Enseguida se sacará la muestra de la máquina y se lavará a través de la malla No. 12 de 1.68 mm. de abertura.

El retenido sobre la malla se secará en el horno y se pesará (P_f).

La pérdida por desgaste se determinará por medio de la siguiente fórmula:

$$\text{Pérdida de desgaste} = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100$$

AFINIDAD CON EL ASFALTO

Estas pruebas tienen por objeto determinar el grado de afinidad que existe entre el agregado pétreo y la película asfáltica que lo cubre.

Un material hidrófilo es aquel que presenta una mayor afinidad por el agua que por el asfalto. Un material hidrófobo significa lo contrario.

Cuando el agua penetra a la carpeta y si el material es hidrófilo, se destruye la adherencia entre el material y

el asfalto.

Esta característica del agregado pétreo se debe a fenómenos de tensión superficial entre las fases agregado-asfalto-agua.

Para la determinación de la afinidad del agregado con el asfalto, se cuenta con las siguientes pruebas: desprendimiento por fricción y determinación de la pérdida de estabilidad por inmersión en agua.

Para la prueba de desprendimiento por fricción, - deberá cribarse el material en seco a través de las mallas de - - 1/2", 1/4", No. 10 y No. 40 para obtener material de distintos tamaños, de las cuales se tomarán las cantidades correspondientes, de acuerdo con la granulometría proyectada y se forman 6 mezclas de 500 grs. cada una. A las muestras se agregará las siguientes cantidades de cemento asfáltico:

2 muestras con el contenido de asfalto calculado

2 muestras con un 0.5% más del contenido de asfalto calculado

2 muestras con un 1.0% más del contenido de asfalto calculado

El contenido de asfalto se calculará de la siguiente manera:

El cálculo tiene por objeto conocer el contenido mínimo de cemento asfáltico necesario para cubrir el área de las partículas de agregado.

Para calcular la superficie total del agregado, se emplearán las constantes de área que dá la Figura No. 13.

La determinación del porcentaje del asfalto se hará calculando los contenidos parciales para los tamaños señalados en la Figura No. 14, multiplicando el porcentaje de material de cada tamaño por la constante de área correspondiente, y este producto a su vez se multiplicará por el índice asfáltico que debe aplicarse a cada una de las fracciones. La suma de los contenidos parciales dará el contenido total de la muestra. El valor del índice asfáltico a su vez varía con la rugosidad y porosidad según lo consigna la Figura No. 14.

M A T E R I A L

| Pasa Malla | Se retiene en malla | Constante de Area m ² /kg. |
|------------------------|---------------------|--|
| 38.1 mm. (1 1/2")..... | 19.05 mm. (3/4") | 0.27 |
| 19.05mm. (3/4")..... | Número 4 | 0.41 |
| Número 4..... | Número 40 | 2.05 |
| Número 40..... | Número 200 | 15.38 |
| Número 200..... | | 53.30 |

FIGURA NO. 13

M A T E R I A L

| | INDICE ASFALTICO |
|---|---------------------|
| Gravas o arenas de río o materiales redondeados, de baja absorción..... | 0.0055 |
| Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción..... | 0.0060 |
| Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción y rocas trituradas de absorción media.. | 0.0070 |
| Rocas trituradas de alta absorción..... | 0.0080 |

FIGURA NO. 14

del agregado, -
gura No. 13.

Se considera baja absorción a la que es menor de media entre 2% y 4% y absorción alta mayor de 4%.

del asfalto se ha
años señalados
de material de -
nte, y este pro-
ltico que debe -
de los conteni--
ra. El valor --
ad y porosidad

Una vez hechas las mezclas asfálticas con los porcentajes indicados de cada una, ya frías y aireadas, se seleccionarán muestras de 50 gramos de material entre las mallas de material de 1/4" y de 1/4" a finos, las cuales se colocarán en frascos de 500 cm³ con tapa hermética, se añadirán 200 cm³ de agua, se taparán y se dejarán en reposo durante 24 horas. Si el desprendimiento del asfalto, apreciado visualmente, es de considerable cantidad, el material puede tomarse como altamente hidrófilo; en caso contrario, si se ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de asfalto, los frascos con su contenido deberán agitarse vigorosamente por tres períodos de 5 minutos cada uno, debiendo ser examinadas las muestras después de cada período. Si no se nota un desprendimiento de asfalto al terminar el tercer período, o haya habido un desprendimiento ligero comparable al del testigo, que se elabore con material que haya demostrado buena afinidad con el asfalto, puede considerarse que el material trabajará satisfactoriamente en las condiciones ordinarias de uso. En caso contrario el material se clasificará de regular a baja adherencia y se procederá a aumentarla mediante sustancias químicas que mejoren la relación agregado-asfalto.

ante de Area
m²/kg.
0.27
0.41
2.05
15.38
53.30

INDICE
ASFALTICO
0.0055
0.0060
0.0070
0.0080

Una variable de la anterior prueba, es la de hacer el agitado por medio de una máquina, en la cual están montados los frascos que giran a razón de 45 a 50 rev/min.

Las muestras se sujetarán a un período de agitación de 15 min. después del cual, si no ha habido desprendimiento, se completarán 3 períodos más hasta completar 1 hora, después de los cuales se hará una determinación visual del porciento de desprendimiento.

Otro método para probar la estabilidad es formar pastillas con las distintas mezclas de un diámetro que varíe entre 10.2 y 12.7 cm. de diámetro, que tengan una relación aproximada de altura-diámetro de 1.25 y que debieron ser compactados a una carga unitaria entre 40 a 60 Kg/cm². De cada mezcla elaborada y una vez hechos los especímenes se tomará uno de ellos y se probará a la compresión hasta la ruptura, los restantes se colocarán en agua durante 4 días, después de lo cual se probarán a la compresión. Es así como se tomará una relación en porcentaje entre el espécimen que ha sido saturado y el que se probó sin saturar, que se tomará como un 100%.

La diferencia expresará el porcentaje de pérdida de estabilidad sufrida por la saturación. Una pérdida de estabilidad menor de 25% se considera satisfactoria.

PORCIENTO DE PARTICULAS ALARGADAS Y EN FORMA DE LAJA

Contenido de Partículas Planas

Se consideran como partículas planas, aquellas en que la relación entre el espesor y el ancho, es menor de 0.6. Se

Para calcular la superficie total del agregado, - se emplearán las constantes de área que dá la Figura No. 13.

La determinación del porcentaje del asfalto se hará calculando los contenidos parciales para los tamaños señalados en la Figura No. 14, multiplicando el porcentaje de material de cada tamaño por la constante de área correspondiente, y este producto a su vez se multiplicará por el índice asfáltico que debe aplicarse a cada una de las fracciones. La suma de los contenidos parciales dará el contenido total de la muestra. El valor del índice asfáltico a su vez varía con la rugosidad y porosidad según lo consigna la Figura No. 14.

M A T E R I A L

| Pasa Malla | Se retiene en malla | Constante de Area m ² /kg. |
|------------------------|---------------------|--|
| 38.1 mm. (1 1/2")..... | 19.05 mm. (3/4") | 0.27 |
| 19.05mm. (3/4")..... | Número 4 | 0.41 |
| Número 4..... | Número 40 | 2.05 |
| Número 40..... | Número 200 | 15.38 |
| Número 200..... | | 53.30 |

FIGURA NO. 13

M A T E R I A L

| | INDICE ASFALTICO |
|---|---------------------|
| Gravas o arenas de río o materiales redondeados, de baja absorción..... | 0.0055 |
| Gravas angulosas o redondeadas, trituradas, de baja absorción..... | 0.0060 |
| Gravas angulosas o redondeadas, de alta absorción y rocas trituradas de absorción mediana.. | 0.0070 |
| Rocas trituradas de alta absorción..... | 0.0080 |

FIGURA NO. 14

Se considera baja absorción a la que es menor de 2%, absorción media entre 2% y 4% y absorción alta mayor de 4%.

Una vez hechas las mezclas asfálticas con los porcentajes indicados de cada una, ya frías y aireadas, se seleccionarán dos muestras de 50 gramos de material entre las mallas de $1/2''$ y $1/4''$ y de $1/4''$ a finos, las cuales se colocarán en frascos de vidrio de 500 cm³ con tapa hermética, se añadirán 200 cm³ de agua pura, se taparán y se dejarán en reposo durante 24 horas. Si el desprendimiento del asfalto, apreciado visualmente, es de consideración, el material puede tomarse como altamente hidrófilo; si no ha ocurrido un desprendimiento apreciable de la película de asfalto, los frascos con su contenido deberán agitarse vigorosamente por tres períodos de 5 minutos cada uno, debiendo ser examinadas las muestras después de cada período. Si no se nota un desprendimiento de asfalto al terminar el tercer período, o haya habido un desprendimiento ligero comparable al del testigo, que se elabora con material que haya demostrado buena afinidad con el asfalto, puede considerarse que el material trabajará satisfactoriamente en las condiciones ordinarias de uso. En caso contrario el material se clasificará de regular a baja adherencia y se procederá a aumentarla mediante sustancias químicas que mejoren la relación agregado-asfalto.

Una variable de la anterior prueba, es la de hacer el agitado por medio de una máquina, en la cual están montados los frascos que giran a razón de 45 a 50 rev/min.

Las muestras se sujetarán a un período de agitación de 15 min. después del cual, si no ha habido desprendimiento, se completarán 3 períodos más hasta completar 1 hora, después de los cuales se hará una determinación visual del porcentaje de desprendimiento.

Otro método para probar la estabilidad es formar pastillas con las distintas mezclas de un diámetro que varíe entre 10.2 y 12.7 cm. de diámetro, que tengan una relación aproximada de altura-diámetro de 1.25 y que debieron ser compactados a una carga unitaria entre 40 a 60 Kg/cm². De cada mezcla elaborada y una vez hechos los especímenes se tomará uno de ellos y se probará a la compresión hasta la ruptura, los restantes se colocarán en agua durante 4 días, después de lo cual se probarán a la compresión. Es así como se tomará una relación en porcentaje entre el espécimen que ha sido saturado y el que se probó sin saturar, que se tomará como un 100%.

La diferencia expresará el porcentaje de pérdida de estabilidad sufrida por la saturación. Una pérdida de estabilidad menor de 25% se considera satisfactoria.

**PORCIENTO DE PARTICULAS ALARGADAS Y EN FORMA
DE LAJA**

Contenido de Partículas Planas

Se consideran como partículas planas, aquellas en que la relación entre el espesor y el ancho, es menor de 0.6. Se

expresa como por ciento en peso de partículas planas con respecto al peso total de la fracción ensayada del material pétreo, mayor de 1/4".

El equipo necesario es el siguiente:

- 1 Juego de mallas con estas aberturas

2 1/2"

2"

1 1/2"

1 1/4"

1"

3/4"

1/2"

3/8"

1/4"

- Balanza con capacidad de 20 Kg. y 1 gr. de aproximación

- Calibrador en la forma y dimensiones indicadas en la Figura No. 15

La preparación de la muestra para la prueba se obtiene por cuarteo, cribándola por la malla de 1/4" para obtener - como mínimo 200 partículas retenidas.

Pésese la fracción retenida y regístrese como W_m , a continuación sepárese dicha fracción mediante cribado por las - mallas.

A continuación trate de pasarse cada una de las - partículas que integran los diferentes tamaños por la ranura respectiva del calibrador, buscando la posición de la partícula que

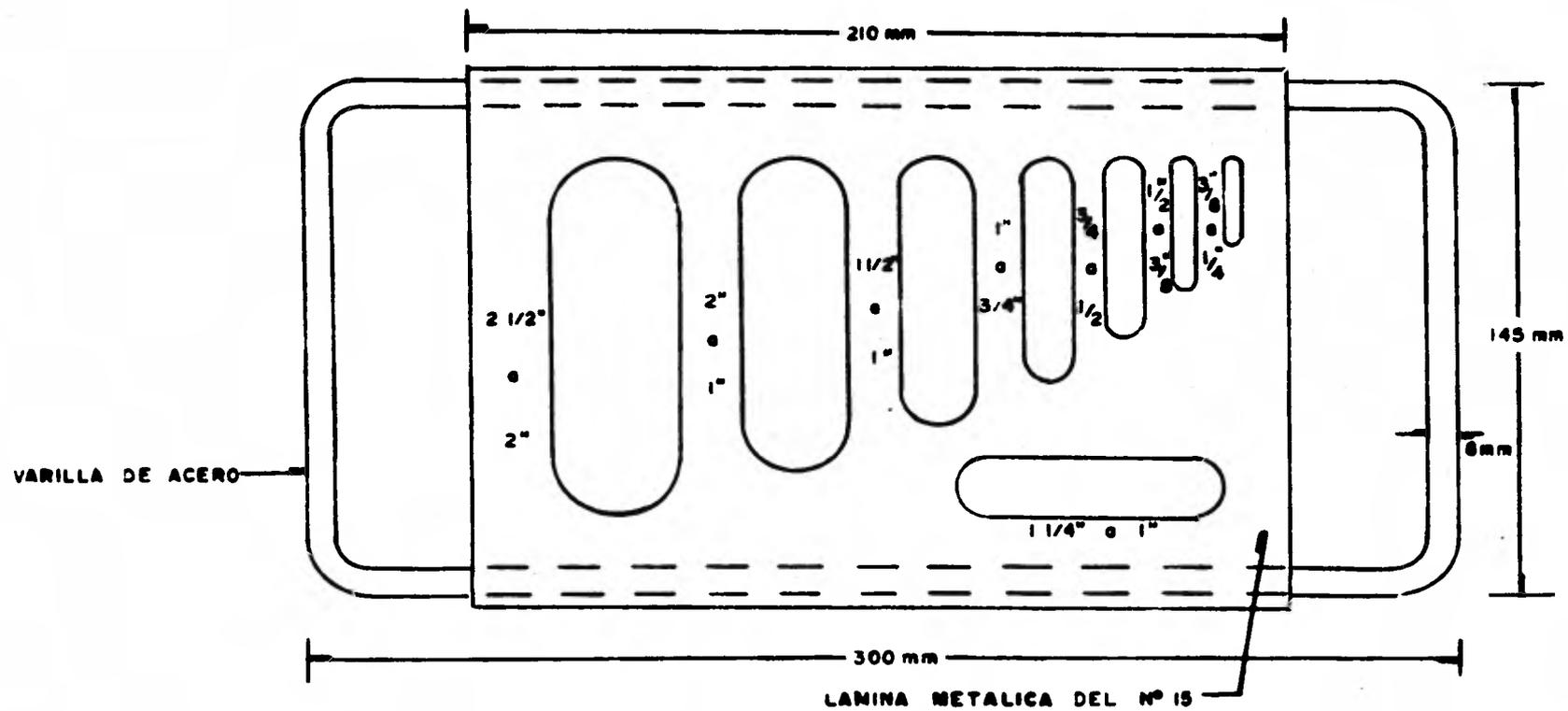


fig nº 15 CALIBRADOR DE PARTICULAS
 PLANAS

haga más fácil esta operación, sepárense las partículas que hayan pasado por las ranuras del calibrador y elimínense las que no pasaron.

Pésese el total de las partículas que pasaron por las ranuras del calibrador y regístrese dicho peso como W_p .

Se calcula el contenido de partículas planas como sigue:

$$C_p = \frac{W_p}{W_t} \times 100$$

en donde:

C_p = Contenido de partículas planas en porciento de peso

W_p = Peso de las partículas que pasan por las ranuras del calibrador.

W_t = Peso total del material retenido en la malla de 1/4"

Contenido de Partículas Alargadas

Se consideran como partículas alargadas aquellas en que la relación entre el largo y el ancho es mayor de 1.8.

El equipo necesario para esta prueba es el mismo que para la anterior a excepción del calibrador que se muestra - en la Figura No. 16, a su vez, el material para la prueba se prepara de igual manera.

El procedimiento de prueba es el siguiente:

Trate de pasarse cada una de las partículas que - integran los diferentes tamaños, por el claro respectivo del cali

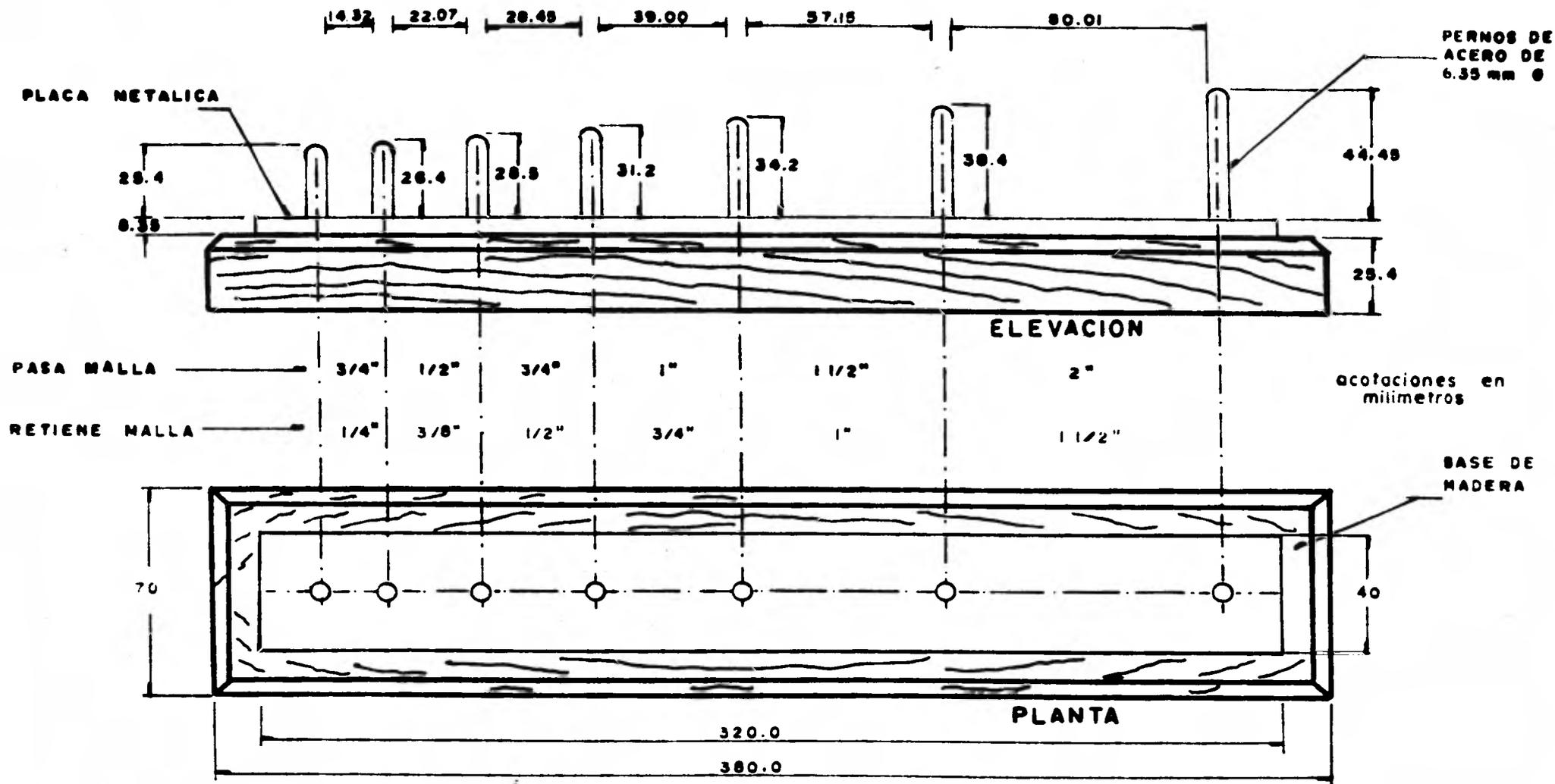


fig n°16 CALIBRADOR DE PARTICULAS ALARGADAS

brador, según se indica en la misma figura del calibrador; la posición de las partículas al tratar de pasarlas, deberá ser tal -- que su mayor dimensión sea paralela al eje longitudinal del calibrador. Sepárense las partículas que no pasan por los claros del calibrador y elimínense las que pasan.

Pésese el total de las partículas que no pasaron por los claros del calibrador y regístrese dicho peso como W_a .

Finalmente el contenido de partículas alargadas -- se calcula de la siguiente manera:

$$C_a = \frac{W_a}{W_t} \times 100$$

en donde:

C_a = Contenido de partículas alargadas, en porciento en peso

W_a = Peso de las partículas que no pasaron por los claros del calibrador en gramos.

W_t = Peso total del material retenido en la malla de 1/4" en gramos.

PRUEBA MARSHALL PARA DETERMINACION DE LA ESTABILIDAD Y FLUJO

Este método está limitado al proyecto y control -- de elaboración de mezclas asfálticas hechas en planta estaciona-- ria.

Se determinará la estabilidad y flujo en especíme nes cilíndricos, compactados y probados a una temperatura de 60°C.

El valor de la estabilidad se determinará midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen, aplicada en sentido normal a su eje; la deformación vertical producida por dicha carga será el valor del flujo.

El valor de la estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla y es un índice de la calidad del agregado.

El valor del flujo es una indicación de la tendencia de la mezcla para alcanzar una condición plástica y por consecuente la resistencia que ofrecerá la carpeta a la deformación bajo la carga impuesta por los vehículos.

El procedimiento se describe a continuación:

Siguiendo los lineamientos para determinar el contenido de cemento asfáltico establecidos en la prueba de afinidad, se formará la granulometría de la mezcla que se piensa elaborar y se formarán 3 especímenes de aproximadamente 1200 grs. cada uno - con las siguientes cantidades de cemento asfáltico, Contenido calculado (C.C.) menos el 1%, C.C. neto, C.C. + 0.5%, C.C.+1.0%, C.C. +1.5% y C.C. + 2.0%.

Al elaborar los especímenes, la temperatura no deberá ser menor de 100°C.

Para compactar el espécimen, éste se hará con un pistón de superficie circular de 1 7/8" de diámetro y 4.536 Kg. - de peso dando 50 golpes con altura de caída de 45.7 cm. a cada ca

ra del espécimen formado por la mezcla que será previamente colocada en un molde cilíndrico. Esta compactación se aplicará al estudio de mezclas asfálticas proyectadas para recibir presiones de contacto que no excedan de 7 Kg/cm^2 . El número de golpes en cada cara deberá aumentarse a 75 para presiones de contacto entre 7 y 14 Kg/cm^2 .

El espécimen se dejará enfriar entre 12 y 24 horas, el cual debe tener una altura de 63.5 mm. con una tolerancia de 3.2 mm. y un diámetro de 101.6 mm. De los especímenes ya compactados se determinará el peso volumétrico dividiendo el peso entre el volumen.

Para la determinación de la estabilidad y flujo se procede de la siguiente manera:

Los especímenes se meten a un tanque de saturación manteniendo la temperatura del agua en $60^\circ\text{C} \pm 0.5^\circ\text{C}$. durante 20 a 30 min., inmediatamente se sacarán, secarán y colocarán dentro de las 2 secciones de la cabeza de prueba del aparato de Marshall en un tiempo de 30 seg., ver Figura No. 17. Se aplicará la carga a una velocidad de 50 mm. por minuto. La carga máxima será el valor de la estabilidad Marshall y la deformación sufrida por el espécimen como el valor del flujo. Se promediarán el valor de los 3 especímenes de un mismo contenido de asfalto, además se calculará la densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica por medio de la siguiente fórmula:



FIGURA NO. 17 EQUIPO MARSHALL

$$D = \frac{100}{\frac{P_g}{D_g} + \frac{P_f}{D_f} + \frac{P_a}{D_a}}$$

en donde:

D = Densidad Téorica máxima de la mezcla asfáltica

P_g = Porcentaje de material pétreo retenido en la malla de 1/4" con relación al peso de la mezcla asfáltica

D_f = Porcentaje de material pétreo que pasa la malla de 1/4" con relación al peso de la mezcla asfáltica.

P_a = Porcentaje de asfalto, con relación al peso de la mezcla asfáltica

D_g = Densidad relativa del material pétreo retenido en la malla de 1/4"

D_f = Densidad relativa del material pétreo que pasa la malla de 1/4"

D_a = Densidad del asfalto: 1.0 en los rebajados y 1.03 en los cementos asfálticos.

$$100\% = P_g + P_f + P_a$$

La densidad relativa se obtiene:

$$D_r = \frac{P_{\text{material seco}}}{\text{Volumen desalojado}}$$

Se calcula también el porcentaje de vacíos en la mezcla asfáltica con la fórmula siguiente:

$$v = \frac{100 (D - \gamma)}{D}$$

en donde:

V = Porcentaje de vacíos en el espécimen de la mezcla asfáltica

D = Densidad teórica máxima de la mezcla asfáltica

γ = Peso volumétrico del espécimen de mezcla asfáltica, expresado en gr/cm³.

Se calculará la relación entre el volumen ocupado por el asfalto y el volumen total de huecos que existiría, si el material pétreo del espécimen no contuviera asfalto por medio de la fórmula:

$$V_o = \frac{D_r \times P_a \times \gamma}{100 D_r \times D_a - (100 - P_a)\gamma \times D_a}$$

$$V_o = \frac{\text{Volumen del Asfalto}}{\text{Volumen total de huecos}}$$

Se corregirán los valores de la estabilidad a los especímenes que no tengan la altura especificada con base a los factores que se consignan en la Figura No. 18.

| Altura del espécimen, mm. | Factor de corrección | Altura del espécimen, mm. | Factor de corrección |
|---------------------------|----------------------|---------------------------|----------------------|
| 55 | 1.27 | 63.5 | 1.00 |
| 56 | 1.23 | 64.0 | 0.98 |
| 57 | 1.20 | 65.0 | 0.96 |
| 58 | 1.16 | 66.0 | 0.94 |
| 59 | 1.13 | 67.0 | 0.92 |
| 60 | 1.10 | 68.0 | 0.90 |
| 61 | 1.07 | 69.0 | 0.88 |
| 62 | 1.04 | 70.0 | 0.86 |
| 63 | 1.01 | 71.0 | 0.84 |

FIGURA NO. 18

Finalmente se dibujarán gráficas como las que se

consignan en el Anexo No. 1 (Resultados de Laboratorio).

Se recomiendan los valores de la siguiente tabla, Figura No. 19.

En el Anexo No. 1, se incluyen los reportes correspondientes a los ensayos realizados para Prueba Marshall.

| | Tipo de Mezcla | Presión de contacto de las llantas | |
|---|--|------------------------------------|-----------------------|
| | | 7 Kg/cm ² | 14 Kg/cm ² |
| Estabilidad | | 225 Kgs.mín. | 450 Kgs. mín. |
| Flujo | | 4 mm. máx. | 5 mín. máx. |
| Porcentaje de vacíos | Con agregados de tamaño máximo de 19.05 mm. -- (3/4"). | 3-5 | 3-5 |
| | Con agregados de tamaño máximo de 6.35mm.(3/4") | 3-7 | 6-8 |
| Porcentaje de huecos ocupados por asfalto | Con agregados de tamaño máximo de 19.05 mm. -- (3/4") | 75-85 | 75-82 |
| | Con agregados de tamaño máximo de 6.35mm.(3/4") | 65-75 | 65-72 |

figura N° 19

CAPITULO VI

SELECCION DE BANCOS DE MATERIALES

En atención a los requerimientos de construcción y rehabilitación de los pavimentos, a los resultados de laboratorio y muy especialmente a las distancias de acarreo, los bancos que resultaron seleccionados para su empleo, son los siguientes:

- 1.- "AEROPUERTO"
- 2.- "TOPO CHICO"
- 3.- "MATERIALES TRITURADOS, S. A."
("LAS MITRAS") (ALTERNO DEL NO. 2)

6.1 BANCO "AEROPUERTO"

El material original de este banco está constituido por una mezcla de grava y arena mal graduada con cementante arcilloso y aproximadamente 20% a 30% de fragmentos chicos, medianamente cementado (Gc-Fc).

Este material cribado a tamaño máximo de 76.2 mm.

(3"), puede utilizarse en la capa subrasante; para poder ensayarse en el laboratorio, se cribó a tamaño máximo de 50.4 mm. (2"), dando por resultado una (GP-GC), presentando un V.R.S. estándar de 23 a 78%, un límite líquido entre 21% y 28%, límite plástico entre 8% y 13%, índice plástico entre 10% y 16%, una contracción lineal de 3.8% a 7% y un equivalente de arena de 18% a 28%.

Este material triturándolo parcialmente dá por resultado una grava mal graduada con cementante arcilloso (GP-GC), con límite líquido de 19% a 24%, índice plástico de 6% a 12%, con tracción lineal de 3% a 5%, equivalente de arena de 28% y V.R.S. estándar de 82% a 108%, con una expansión de 0.1%. Este material puede utilizarse en la construcción de la sub-base.

6.2 BANCO "TOPO CHICO"

El material original de este banco está constituido por una roca caliza muy poco intemperizada y fracturada (Rsq). Esta roca al triturarse totalmente y cribarse a tamaño máximo de 38.1 mm. (1 1/2"), dá por resultado una mezcla de grava y arena bien graduada, con cementante limoso (GW-GM), con límite líquido entre 15% y 21%, límite plástico entre 0 y 16%, índice plástico entre inapreciable y 6%, contracción lineal de 0, equivalente de arena entre 68% y 86% y V.R.S. estándar mayor a 120%.

Esta misma roca al triturarse y cribarse a tamaño máximo de 19 mm. (3/4"), permite dosificar material para el concreto asfáltico presentando una adherencia del 95% (BUENA), un --

desgaste del 16% al 20%, un contenido óptimo de asfalto del 4.6% para una estabilidad Marshall de 1160 Kg. en prueba Marshall.

6.3 BANCO "MATERIALES TRITURADOS, S. A." (LAS MITRAS)

El material original de este banco está constituido por una roca caliza poco intemperizada y fracturada (Rsq). Esta roca al triturarse y cribarse a tamaño máximo de 38.1mm. (1 1/2"), da por resultado una mezcla de grava y arena, bien graduada, con cementante limoso (GW-GH), con límite líquido de 18% y 19.5%, índice plástico de 5%, contracción lineal de 2.0% y 2.8%, equivalente de arena medio de 70% y V.R.S. estándar de 108% y 116%.

En el Plano No. 4 (Bancos de Materiales), se muestra la localización de cada uno de ellos y se indican sus usos específicos, así como los tratamientos a que deberán sujetarse para poder usarse en los trabajos de pavimentación.

- Área de influencia de la carga
- Número de repeticiones de la carga
- Velocidad

Condiciones secundarias:

- Área de contacto de la llanta, que determina la presión de contacto
- Número de llantas en el eje
- Espaciamiento entre ejes

CAPITULO VII

EVALUACION DEL ESTADO ACTUAL DEL PAVIMENTO

7.1 CARGA DE TRANSITO

Para el proyecto de un pavimento flexible, todas las variables de tránsito deben reducirse a un concepto constante que pueda ser manejado matemáticamente. Hveen distinguió los siguientes factores como los que influyen en la carga de tránsito:

Factores principales:

- Carga transmitida por la rueda
- Area de influencia de la carga
- Número de repeticiones de la carga
- Velocidad

Factores secundarios:

- Area de contacto de la llanta, que determina la presión de contacto
- Número de llantas en el arreglo
- Espaciamiento entre ejes

Algunos de estos factores son imposibles de reproducir en un laboratorio. Todo esto nos lleva a concebir una carga de diseño, que represente el efecto global, será además preciso establecer una equivalencia entre la carga transmitida por el arreglo de llantas del vehículo elegido y la carga ideal.

Para llegar a la carga equivalente se han seguido dos criterios: a) se busca la rueda simple que produzca a una cierta profundidad los mismos esfuerzos verticales que el sistema de llantas del vehículo. b) la que produzca las mismas deformaciones.

La Figura No. 20, muestra la idealización del efecto de un sistema dual, el cual llega a una rueda equivalente de diseño atendiendo a lograr una misma intensidad en los esfuerzos transmitidos.

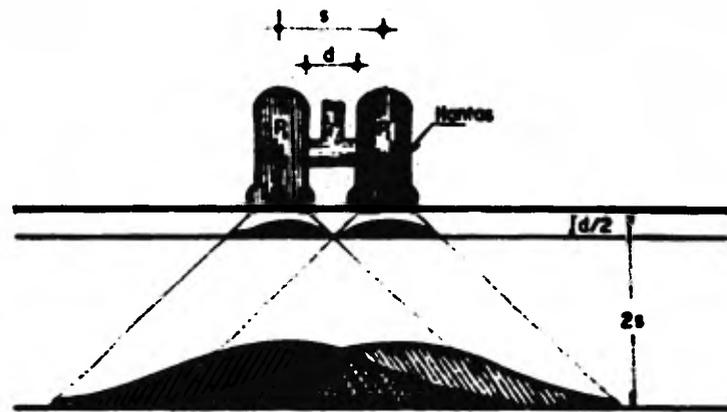


fig. N°20.-Influencia de un sistema dual en lo que se refiere a esfuerzos

La teoría y las mediciones experimentales muestran que el efecto de las dos llantas empieza a superponerse aprecia--blemente a la profundidad $d/2$ bajo la superficie de rodamiento, - también muestran que la superposición de los esfuerzos de las dos llantas es prácticamente total a la profundidad de $2s$, es decir, que en un punto colocado bajo ese nivel actuaría un esfuerzo igual al que se tendría si en la superficie y en el centro del espacio de carga, actuara una fuerza única $2P_1$

Con estas bases, si se supone que entre las pro--fundidades $d/2$ y $2s$ la variación de la carga que produce un esfuer--zo dado a una cierta profundidad es lineal (en rigor no es correc--ta, pero es admisible), puede adoptarse un criterio sencillo para obtener la carga simple equivalente a un sistema dual dado.

En efecto, un punto colocado entre la superficie y la profundidad $d/2$ es actuado por un esfuerzo debido solo a la carga P_1 ; un punto más profundo que $2s$ sufre un esfuerzo a una - única $2P_1$; un punto intermedio entre $d/2$ y $2s$ tendrá un esfuerzo debido a una carga proporcionalmente intermedia entre P_1 y $2P_1$. De lo anteriormente dicho y usando escalas logarítmicas se dedu--ce el método para encontrar la carga equivalente a un sistema --dual, que se muestra en la Figura No. 21.

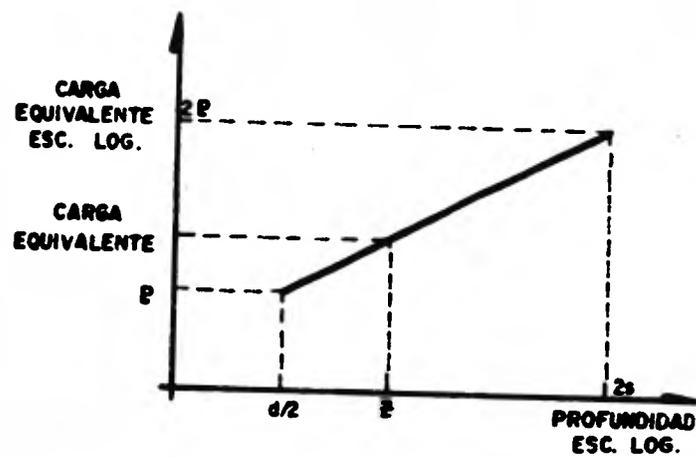


fig. N° 21.- Método gráfico para encontrar la carga de la rueda de diseño equivalente a un sistema dual.

7.2 CONDICIONES ESTRUCTURALES

El análisis se efectuó, según el Método Canadiense, para una aeronave Boeing 727-200, con un peso total de 79 ton que corresponde aproximadamente a 174,160 lb.

7.3 METODO CANADIENSE

Este método de valuación es válido únicamente para aeropistas. El punto de partida lo constituye la expresión de McLeod.

$$t = k \log \frac{P}{S} \dots\dots\dots(a)$$

en donde:

t = espesor total del pavimento que se evalúa, hasta el nivel superior de la capa subrasante en pulgadas.

k = constante de diseño, que depende del diámetro del área cargada supuesta circular.

P = carga de la rueda de diseño, en lb.

s = soporte de la subrasante, en lb.

Para un avión dado, la carga equivalente al resto de las llantas que se tenga es proporcionada por el propio fabricante, por lo que se considera a "P" un dato del problema.

De la misma manera, el valor de "t" para un pavimento dado será siempre conocido, como resultado de la realización de los correspondientes sondeos de carácter exploratorio.

La Figura No. 22 permite calcular "k" en cualquier caso práctico, en función del diámetro del área que aplique la carga, sea la llanta del avión o una prueba de placa, ya que el método contempla ambos modos de emplear la carga. Si la carga la aplica el avión, conocida la carga equivalente y la presión de inflado con que opera la aeronave se obtiene el área de contacto, - que se supone circular, lo que permite tener de inmediato el diámetro. Al hacer una prueba de placa, el diámetro de ésta es un dato conocido.

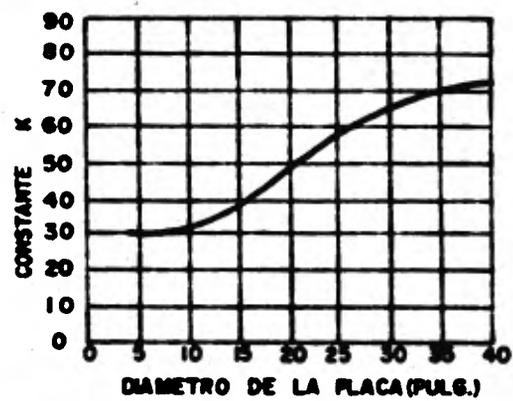


Gráfico para calcular el valor de K de
la fórmula de McLeod

Fig. N° 22

De esta manera, en un problema práctico de evaluación, en la fórmula (a) se tiene a "s" (soporte requerido), como única incógnita.

Por otra parte si se efectúa una prueba de placa en la superficie de rodamiento, podrá ser determinada "P" para 10 repeticiones de carga con una deflexión acotada de 1.27 cm. Con dicho valor, podrá obtenerse "s", soporte total del pavimento en estudio, despejándolo de la expresión (a). La ejecución de pruebas de placa se sustituye con ventaja y economía por la realización de mediciones con la Viga Benkelman; al respecto se han desarrollado en el Canadá, correlaciones experimentales entre ambos conceptos. La Figura No. 23, recoge esta correlación expresada en unidades inglesas, entre la deflexión característica obtenida con base a las mediciones hechas con Viga Benkelman y la carga -- "P" para pruebas de placa de un diámetro igual a 30 pulgadas.

En el Método Canadiense se define la deflexión carác

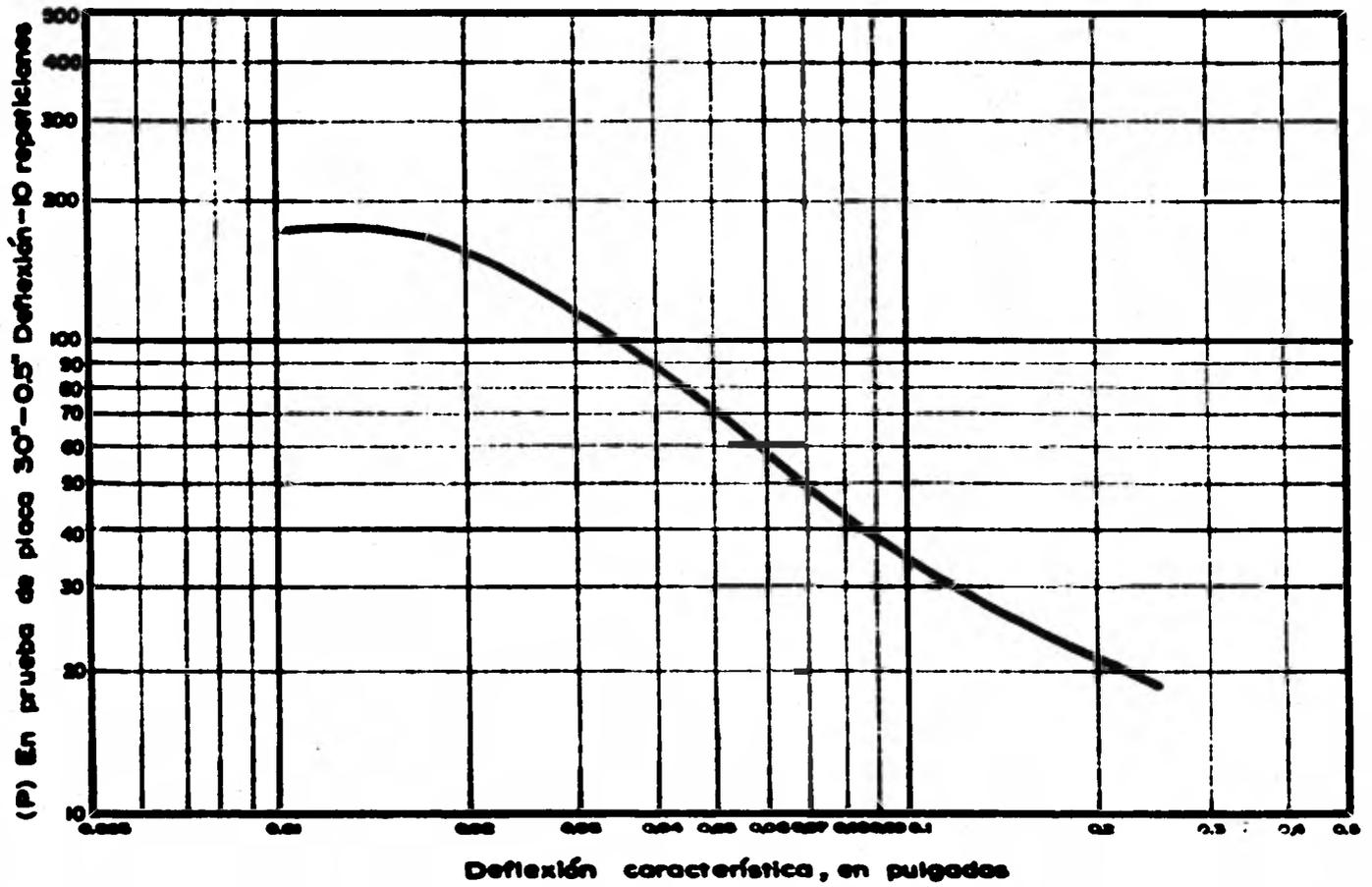


Fig. N° 23 Correlacion entre resultados de pruebas de placa y medidas de deflexion con viga Bantelman

terística con la Viga Benkelman en la expresión:

$$\delta_c = \bar{x} + 2 \bar{\delta} \dots\dots\dots(b)$$

en donde:

δ_c = deflexión característica

\bar{x} = media aritmética de las lecturas con Viga Benkelman hechas en el tramo de estudio.

$\bar{\delta}$ = desviación estándar de las mismas, la que a su vez se define con la siguiente expresión:

$$\bar{\delta} = \sqrt{\frac{\sum x^2}{n} - (\bar{x})^2} \dots\dots\dots(c)$$

en la cual:

$\sum x^2$ = a la suma de los cuadrados de las lecturas con Viga Benkelman hechos en el tramo de estudio

n = número de lecturas hechas en el tramo de estudio

$(\bar{x})^2$ = el cuadrado de la media aritmética

Una vez conocida la deflexión característica - -
(δ_c) se obtiene el valor de "P" con la gráfica de la Figura No. -
23.

El valor de "k", se obtiene de la Figura No. 22 -
para un diámetro de 30". A continuación con la fórmula (a), se -
obtiene el soporte que debería tener un pavimento con el espesor
"t" del que se estudie, para operar convenientemente bajo la aereo
nave crítica que corresponda y durante el número de operaciones -

para los que se estime que debe diseñarse el pavimento; a este valor de soporte se le llama soporte actual - s_a - .

Así se está en disposición de calcular el denominado factor de sobrecarga.

$$F_s = \frac{s}{s_a} \dots\dots\dots(d)$$

Con base a este factor de sobrecarga la experiencia canadiense ha indicado el número de operaciones que puede tener la aeropista a partir del momento de estudio, así se tiene:

| <u>FACTOR DE SOBRECARGA</u> | <u>No. DE OPERACIONES ENTRE INSPECCIONES</u> |
|-----------------------------|---|
| Menor de 1.25 | 3.000 |
| 1.25 a 1.50 | 300 |
| 1.50 a 2.00 | 30 |
| Mayor de 2 | Usar el pavimento sólo en caso de emergencia. |

A continuación procederemos a calcular los factores de sobrecarga de acuerdo al Método Canadiense, con base a las medidas de la deflexión hechas con la Viga Benkelman, las cuales se registran en el Anexo No. 2 (MEDIDAS DE DEFLEXION CON VIGA BENKELMAN).

I. CARACTERISTICAS DE LA AERONAVE

I.1 Boeing 727-200 con peso máximo de 79 tons.

I.2 Peso en el tren principal 72.2 ton. = 159,200 lb.

Peso en la nariz 6.8 ton. = 14960 lb.

I.3 Presión en las llantas = 11.8 Kg/cm² = 167.84 lb/in²

I.4 $\frac{W}{2} = \frac{159200}{2} = 79600$ lb (peso por pierna)

$$A = \frac{79600}{167.84} = 474.26 \text{ in}^2$$

$$\text{Si } A = \frac{\pi D^2}{4} ; D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}}$$

$$\therefore D = 24.57 \text{ in}$$

I.5 De la gráfica de la Figura No. 22

$$k = 57.5$$

I.6 Distribución de las llantas por pierna

Con base a la Figura No. 20 para el Boeing 727-200

$$d = 21.06; \quad d/2 = 10.53''$$

$$s = 33.86; \quad 2s = 67.72''$$

II. CALCULO DE LOS SOPORTES REQUERIDOS APLICANDO LA ECUACION DE MC'LEOD

$$s = \frac{P}{\text{antilog } t/k}$$

donde: k = 57.5

t = espesor del pavimento, el cual se divide en sub base, base y carpeta asfáltica la que a su vez al multiplicarla por el llamado factor de grava, dependiendo de las condiciones que se encuentre, da el espe

ser utilizado en la ecuación de Mc'Leod.
En este caso el factor de grava resulta
de 2.

P = carga proporcional en función de "t".

Tramo No. 1 del Km. 0 + 000 al Km. 0 + 500

Sub base = 18 cm.

Base = 18 cm.

Carpeta (6.25x2) = 12.5 cm.
48.5 cm.

t = 48.5 cm. = 19.1"

P = 49.7 kips

$$s = \frac{49.7}{\text{antilog} \frac{19.1}{57.5}} = \frac{49.7}{2.149} = 23.13$$

s = 23.13

Tramo No. 2 del Km. 0 + 550 al Km. 0 + 900

Sub base = 18 cm.

Base = 18 cm.

Carpeta(7.25x2) = 14.5 cm.
50.5 cm.

t = 50.5 cm. = 19.88"

P = 50 kips

$$s = \frac{50}{\text{antilog } \frac{19.88}{57.5}} = \frac{50}{2.217} = 22.55$$

$$s = 22.55$$

Tramo No. 3 del Km. 0 + 950 al Km. 1 + 250

Sub base = 18 cm.

Base = 18 cm.

Carpeta (6.5x2) = 13 cm.
49 cm.

$$t = 49 \text{ cm.} = 19.29''$$

$$P = 49.9 \text{ kips}$$

$$s = \frac{49.9}{\text{antilog } \frac{19.29}{57.5}} = \frac{49.9}{21.65} = 23.048$$

$$s = 23.05$$

Tramo No. 4 del Km. 1 + 300 al Km. 1 + 800

Sub base = 20 cm.

Base = 20 cm.

Carpeta (7.25x2) = 14.5 cm.
54.5 cm.

$$t = 54.5 \text{ cm.} = 21.46''$$

$$P = 51.8 \text{ kips}$$

$$s = \frac{51.8}{\text{antilog } \frac{21.46}{57.5}} = \frac{51.8}{2.362} = 21.93$$

$$s = 21.93$$

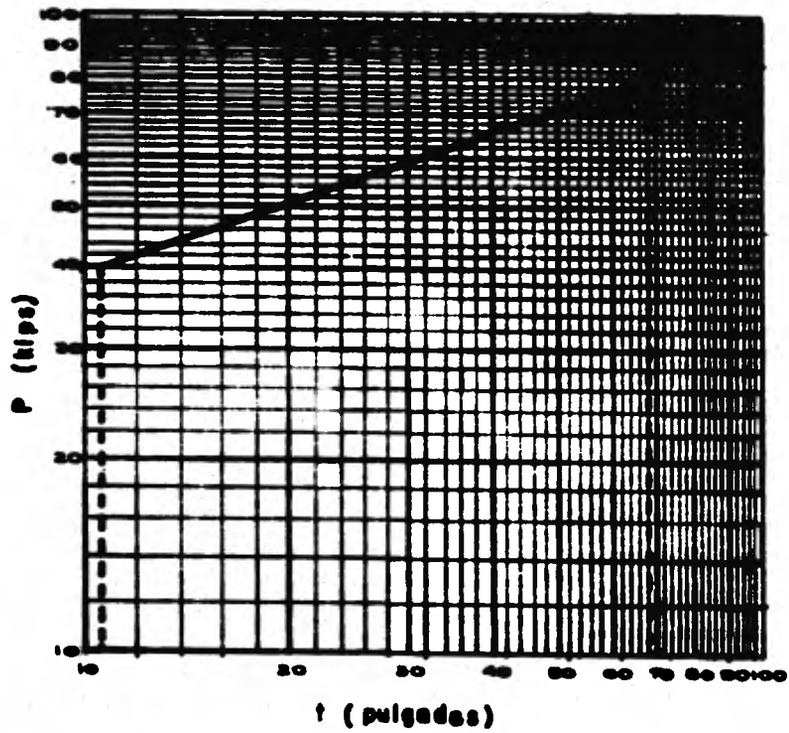


figura N° 24 Carga Proporcional P en función del espesor t

III. SOPORTES ACTUALES

APLICANDO LA ECUACION DE MC'LEOD

$$s = \frac{P}{\text{antilog } t/k}$$

k = 65 (para placa de 30" de diámetro, Figura No. 22)

t = espesor del pavimento en pulgadas

P = en kips (Figura No. 23, "P" en función de δ_c)

δ_c = del Anexo No. 2 (Medidas de Deflexión con Viga Benkelman)

Tramo No. 1 del Km. 0 + 000 al Km. 0 + 500

$$t = 19.1"$$

$$\delta_c = 22.67$$

$$P = 150 \text{ kips}$$

$$s = \frac{150}{\text{antilog } \frac{19.1}{65}} = \frac{150}{1.9672} = 76.25$$

$$s = 76.25$$

Tramo No. 2 del Km. 0 + 550 al Km. 0 + 900

$$t = 19.88"$$

$$\delta_c = 14.7$$

$$P = 175 \text{ kips}$$

$$s = \frac{175}{\text{antilog } \frac{19.88}{65}} = \frac{175}{2.0223} = 86.53$$

$$s = 86.53$$

Tramo No. 3 del Km. 0 + 950 al Km. 1 + 250

$$c = 19.29''$$

$$\delta_c = 31.17$$

$$P = 112 \text{ kips}$$

$$s = \frac{112}{\text{antilog } \frac{19.29}{65}} = 56.55$$

$$s = 56.55$$

Tramo No. 4 del Km. 1 + 300 al Km. 1 + 800

$$c = 21.46''$$

$$\delta_c = 19.217$$

$$P = 165 \text{ kips}$$

$$s = \frac{165}{\text{antilog } \frac{21.46}{65}} = 77.14$$

$$s = 77.14$$

IV. FACTORES DE SOBRECARGA

$$\text{TRAMO No. 1 } F_s = \frac{23.13}{76.25} = 0.303$$

$$\text{TRAMO No. 2 } F_s = \frac{22.55}{86.53} = 0.261$$

$$\text{TRAMO No. 3 } F_s = \frac{23.05}{60.61} = 0.380$$

$$\text{TRAMO No. 4 } F_s = \frac{21.93}{77.14} = 0.284$$

CAPITULO VIII

DISEÑO DEL PAVIMENTO EN LAS ZONAS DE AMPLIACION

8.1 CARACTERISTICAS DE LA AERONAVE DE DISEÑO

Boeing 727-200 con peso máximo de 78.5 Ton., para una condición de operación de 5000 cubrimientos.

Un cubrimiento se define como el número de pasadas de una rueda que es preciso efectuar para cubrir por completo el tercio central de la pista con trayectorias paralelas continuas. Los cubrimientos se determinan a partir del número de pasadas de carga, relacionando el ancho de la faja en consideración, el arreglo y disposición de las ruedas, el ancho del área de contacto de cada llanta y la distribución del tránsito.

8.2 PARAMETROS DE RESISTENCIA

Terreno natural compactado al 95% - VRS = 8%

Capa subrasante compactada al 100% - VRS = 18% mí
nimo

8.3 METODO DE DISEÑO

Se empleará el Método del Cuerpo de Ingenieros de los Estados Unidos de Norteamérica. El método se basa en la prueba del Valor Relativo de Soporte descrita en el Capítulo V.

Este criterio es del tipo semiempírico, sin embargo, se puede agrupar dentro de los criterios "Pseudo-racionales", puesto que se ajusta a ciertas bases y módulos de elasticidad.

El ya mencionado Cuerpo de Ingenieros, establece una relación entre el espesor de diseño del pavimento, la carga por rueda y una constante que depende del V.R.S. de cimentación. Esta expresión sólo es válida para carga por rueda sencilla en -- que la presión de inflado sea constante.

Esta expresión es la siguiente:

$$e = F \frac{P}{8.1 \text{ VRS}} - \frac{A}{\pi} \dots\dots (d)$$

en donde:

e = espesor total de material que debe colocarse sobre el suelo - cuyo V.R.S. aparece en la expresión (d)

F = $0.23 \log C + 0.15$

C = Volumen de tránsito, en cubrimientos.

Número de cubrimientos para el que se desea diseñar la pista.

P = carga sencilla equivalente al sistema de llantas múltiple del avión de diseño, en lb, obtenida según se indicó en el inciso

7.2.

A = Area de contacto en pulg²

V.R.S. = valor relativo de soporte de la capa subrasante, determinado según se indicó en el inciso 4.3.

La ecuación anterior sólo es válida en aeropistas y para valores de V.R.S. menores a 12%.

Se acostumbra graficar la ecuación en papel semi-logarítmico, colocando en la escala logarítmica horizontal los valores del V.R.S. y en la escala aritmética vertical los valores correspondientes a los espesores de los pavimentos.

Para casos en los cuales el V.R.S. excede de 12% se ha comprobado empíricamente que los valores del espesor requerido para el pavimento son satisfactoriamente aceptables a los obtenidos por medio de la prolongación de la gráfica V.R.S.-espesor del pavimento.

Siguiendo este criterio, se han elaborado gráficas de diseño para los diversos tipos de aeronaves; la gráfica que se utilizará para el diseño del pavimento es la correspondiente al Boeing 727-200, mostrado en la Figura No. 25.

Para el cálculo del espesor del pavimento flexible se necesita conocer únicamente el Valor Relativo de Soporte (V.R.S.) correspondiente al material de la capa subrasante (18%), con este porcentaje se entra a la gráfica antes mencionada por el

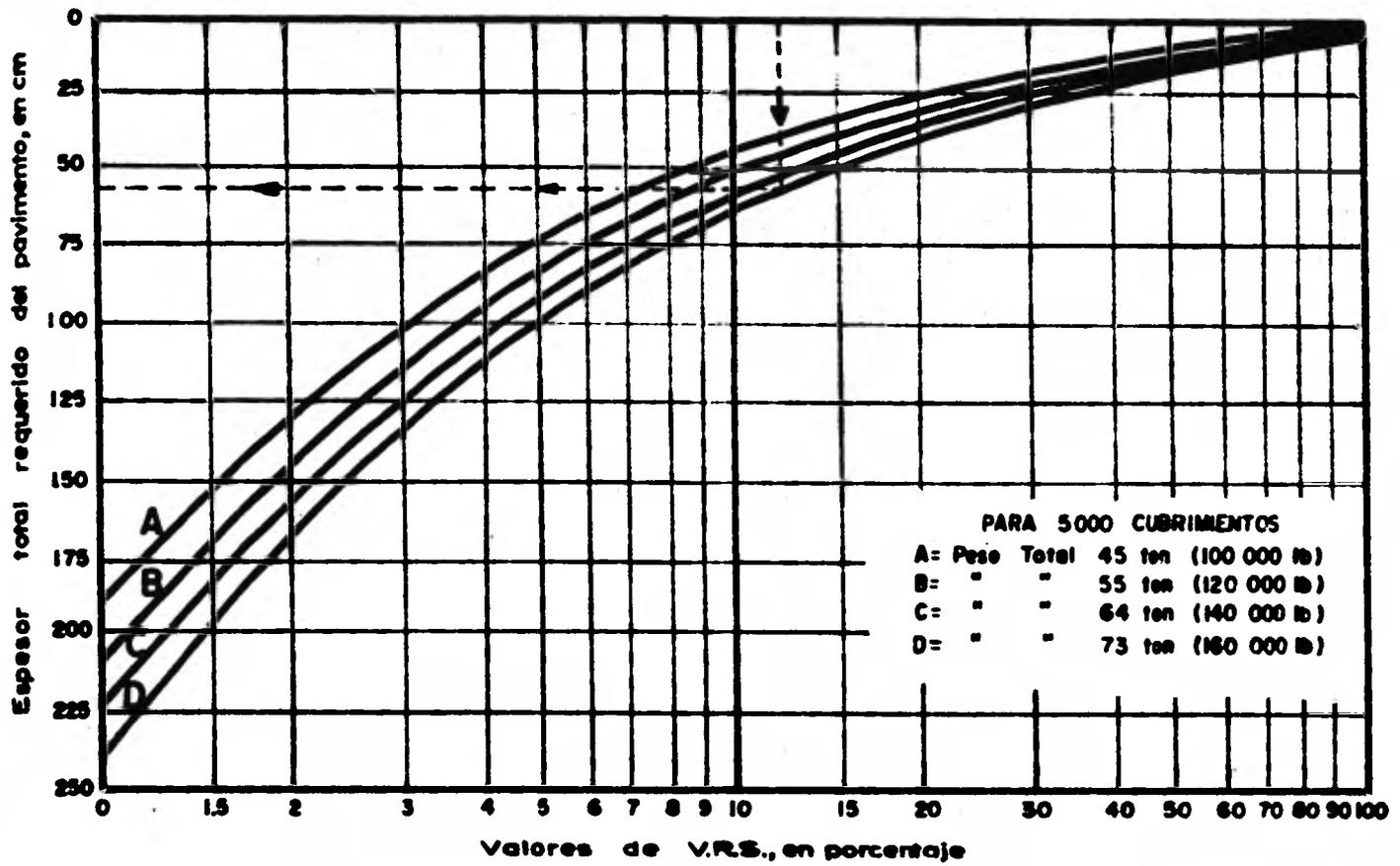


fig. N° 25. Curvas de espesor del pavimento en función del V. R. S. para el avión Boeing 727

punto correspondiente a un 18% de V.R.S., se levanta una vertical hasta intersectar la curva que corresponde al peso de la aeronave de diseño, por este punto de intersección se traza una horizontal hasta intersectar el eje que nos represente los espesores de los pavimentos y el valor que se lea corresponde al espesor del pavimento flexible, que en este caso resulta de 43 cm.

8.4 ESTRUCTURACION DEL PAVIMENTO

En las zonas de ampliación longitudinal y transversal, el pavimento se estructurará de acuerdo a lo siguiente:

| | |
|----------------------------------|-----------|
| Capa subrasante | de 50 cm. |
| Sub base hidráulica | de 18 cm. |
| Base hidráulica | de 18 cm. |
| Carpeta de concreto asfáltico | de 7 cm. |

En las cabeceras se respetarán estos espesores, - salvo que la carpeta tendrá un espesor de 12 cm., con el objeto - de reforzar estas zonas críticas de operación.

En el Plano No. 5 (SECCIONES ESTRUCTURALES Y NORMAS DE CONSTRUCCION), se muestran las secciones estructurales para la rehabilitación y ampliación de la pista 16-34.

CAPITULO IX

NORMAS DE CONSTRUCCION

**En el Plano No. 5 se establecen las Normas Genera
les de Construcción correspondientes.**

CAPITULO X

ESTUDIO ECONOMICO

Atendiendo a los resultados de laboratorio, correspondientes a los materiales de los bancos seleccionados para la construcción de las diferentes capas en los pavimentos de la pista 16-34 del Aeropuerto de Monterrey, N.L.; se procederá a determinar el costo aproximado de su rehabilitación y ampliación, tomando como base el análisis de precios unitarios para terracerías y pavimentos publicado por la Secretaría de Asentamientos Humanos y Obras Públicas (S.A.H.O.P.) en el año de 1979.

10.1 CUANTIFICACION DE LOS VOLUMENES DE OBRA

En la siguiente tabla, se exponen los resultados de la cubicación de los materiales que se requieren para la construcción de las diversas capas del pavimento.

| CAPA DEL PAVIMENTO | | SUBRASANTE | SUB-BASE | BASE | CARPETA ASFALTICA | |
|-------------------------------|-------|---------------------------------------|----------|-------|-------------------|-------|
| GRADO DE COMPACTACION | | 100% | 100% | 100% | 95% | |
| Area Longitud | | metros cúbicos del material utilizado | | | | |
| m ² m ² | | | | | | |
| REHABILITACION | 15.97 | 1800 | 28746 | | | |
| | 2.70 | 1800 | | 4860 | | |
| | 4.02 | 1800 | | | 7290 | |
| | 4.36 | 1800 | | | 7848 | |
| AMPLIACION | 39.44 | 400 | 15776 | | | |
| | 8.10 | 400 | | 3240 | | |
| | 10.74 | 400 | | | 4296 | |
| | 4.03 | 400 | | | 1612 | |
| CABECERAS NUEVAS | 38.20 | 300 | 11460 | | | |
| | 10.80 | 300 | | 3240 | | |
| | 12.00 | 300 | | | 3600 | |
| | 7.60 | 300 | | | 2280 | |
| TOTALES | | | 55982 | 11340 | 15186 | 11740 |

Valiéndose de los coeficientes de abundamiento y reducción de cada banco se calculará el volumen que se va atacar y transportar.

10.2 CALCULO DE VOLUMENES EXPLOTADOS Y TRANSPORTADOS

CAPA SUBRASANTE

Banco "Aeropuerto"

Tratamiento: Cribado total por malla de 76.2 mm. (3")

Coefficiente de Reducción = 0.92

Coefficiente de Abundamiento = 1.23

Desperdicio = 27%

Volumen por explotar = (68,857.86) + (68,857.86 x 0.27) x 0.92

= 80,453.52 m³

Volumen por transportar = $55,982 \times 1.23 = 68,857.86 \text{ m}^3$

Volumen del desperdicio = $(68,857.86 \times 0.25) = 17,214.47 \text{ m}^3$

Distancia de acarreo = 3 Km.

Wopt = 8.5%

| <u>CONCEPTO</u> | <u>P. U.</u> | <u>CANTIDAD</u> | <u>IMPORTE</u> |
|--|-------------------------|-----------------|------------------|
| 1. Desmonte | 5,747.93 Ha | 0.186 | 1,069.12 |
| 2. Acarreo del despalm | 3.46 m ³ -Km | 372.7 | 1,289.54 |
| 3. Acarreo del material aprovechable | 3.46 m ³ -Km | 206,573.58 | 714,744.59 |
| 4. Despalm | 66.12 m ³ | 372.7 | 24,642.92 |
| 5. Extracción | 22.67 m ³ | 80,453.52 | 1'823,881.4 |
| 6. Cribado | 14.68 m ³ | 86,072.33 | 1'263,544.70 |
| 7. Mezclado, tendido y compactado | 7.21 m ³ | 68,857.86 | 496,465.17 |
| 8. Carga de los materiales almacenados | 10.38 m ³ | 68,857.86 | 714,744.59 |
| 9. Acamillamiento | 1.53 m ³ | 68,857.86 | 105,352.53 |
| 10. Agua utilizada en la compactación | 23.31 m ³ | 10,230.71 | 238,477.85 |
| 11. Acarreo del Agua | 3.20 m ³ -Km | 10,230.71 | <u>32,738.27</u> |
| TOTAL CAPA SUBRASANTE..... | | | \$ 5'416,950.68 |

SUB-BASE

Banco "Aeropuerto"

Tratamiento: Trituración parcial a tamaño máximo 38.1 mm. (1 1/2")

Coefficiente de Reducción = 0.92

Coefficiente de Abundamiento = 1.298

Desperdicio = 0%

Volumen por explotar = $(14,719.32) \times 0.92 = 13,541.77 \text{ m}^3$

Volumen por transportar = $11,340 \times 1.298 = 14,719.32 \text{ m}^3$

Distancia de acarreo = 3 Km

Wopt = 4.3%

| <u>CONCEPTO</u> | <u>P. U.</u> | <u>CANTIDAD</u> | <u>IMPORTE</u> |
|--|--------------------------|-----------------|------------------------|
| 1. Desmonte | 5,747.93 Ha | .0568 | 326.56 |
| 2. Acarreo del despalme | 3.46 m ³ -Km | 120.12 | 415.62 |
| 3. Acarreo del material aprovechable | 3.46 m ³ -Km | 44,157.96 | 152,786.54 |
| 4. Despalme | 66.12 m ³ -Km | 120.12 | 7,942.33 |
| 5. Extracción | 22.67 m ³ | 13,541.77 | 306,991.93 |
| 6. Cribado por malla de 1 1/2" | 19.71 | 14,719.32 | 290,117.80 |
| 7. Trituración | | | |
| Cuando se tritura al 15% | 25.43 m ³ | 3,679.83 | 93,578.08 |
| Para cada 5% excedente | 3.04 m ³ | 294.39 | 8,381.28 |
| 8. Mezclado, tendido y compactado | 33.07 m ³ | 14,719.32 | 486,767.91 |
| 9. Carga de los materiales almacenados | 10.38 | 14,719.32 | 152,786.54 |
| 10. Agua utilizada en compactación | 23.31 | 1,025 | 23,892.75 |
| 11. Acarreo del agua | 3.20 | 1,025 | 3,280.00 |
| TOTAL SUB-BASE..... | | | \$ 1'527,267.34 |

Coefficiente de Reducción = 0.75

Coefficiente de Abundamiento = 1.329

BASE

Volumen por explotar = $15,602.66 \times 0.45 = 11,701.85 \text{ m}^3$

Banco "Topo Chico"

Volumen por transportar = $11,700 \times 1.298 = 15,202.46 \text{ m}^3$

Tratamiento: trituración total a tamaño máximo de 38.1 mm. (1 1/2")

Coefficiente de Reducción = 0.75

| <u>CONCEPTO</u> | <u>P. U.</u> | <u>CANTIDAD</u> | <u>IMPORTE</u> |
|--|-----------------------|-----------------|------------------------|
| 1. Acarreo de los materiales aprovechables | | | |
| Para los primeros 20 Km. | 3.46 | 312,049.2 | 1'079,690.20 |
| Por cada Km. subsecuente | 4.08 | 117,018.45 | 477,435.28 |
| 2. Extracción | 59.03 | 11,701.85 | 690,760.21 |
| 3. Acamellonamiento | 1.53 | 15,602.46 | 23,871.76 |
| 4. Riego de Impregnación | | | |
| Barrido | 967.26 Ha | 6.78 | 6,558.02 |
| Aplicación | 1.45 H | 101,700 | 147,465.00 |
| 5. Barrido de la Base | 967.26 Ha | 6.78 | 6,558.02 |
| 6. Riego de Liga | 1.45 H | 673.60 | 97,672.00 |
| 7. Construcción | 318.57 m ³ | 15,602.46 | 4'970,475.70 |
| TOTAL MEZCLA ASFALTICA..... | | | \$ 6'528,765.19 |

Considerando dentro del costo tanto la rehabilitación de la caja existente como la construcción de la caja nueva - que alojará al pavimento, se tiene:

REHABILITACION

| <u>CONCEPTO</u> | <u>P. U.</u> | <u>CANTIDAD</u> | <u>IMPORTE</u> |
|---------------------------------|----------------------|-----------------|----------------|
| Recorte de la carpeta asfáltica | 1,557.84 Km | 1.8 | 2,804.11 |
| Excavación de la Base | 22.67 m ³ | 2,376 | 53,863.92 |
| Excavación de la subrasante | | | |
| 60% material "B" | 22.67 | 9,504 | 215,455.68 |
| 40% material "A" | 19.34 | 6,336 | 122,538.24 |

CAJON NUEVO

Ampliación

| | | | |
|------------------|-------|----------|------------|
| 80% Material "A" | 19.34 | 19,939.2 | 385,624.13 |
| 20% Material "B" | 22.67 | 4,984.8 | 113,005.42 |

Cabeceras Nuevas

| | | | |
|------------------|-------|--------|------------|
| 80% Material "A" | 19.34 | 16,464 | 318,413.76 |
| 20% Material "B" | 22.67 | 4,116 | 93,309.72 |

TOTAL REHABILITACION \$ 1'305,014.98

RESUMEN

| | | |
|-----------------------------|-----------|----------------------|
| TOTAL CAPA SUBRASANTE..... | \$ | 5'416,950.68 |
| TOTAL SUB BASE..... | " | 1'527.267.34 |
| TOTAL BASE..... | " | 6'796,623.38 |
| TOTAL MEZCLA ASFALTICA..... | " | 6'528,765.19 |
| TOTAL REHABILITACION..... | " | <u>1'305,014.98</u> |
| GRAN TOTAL..... | \$ | 21'574,621.57 |
| + 20% IMPREVISTOS..... | " | <u>4'314,924.31</u> |
| <u>COSTO TOTAL.....</u> | <u>\$</u> | <u>25'889,545.88</u> |

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

- 1a.- De los trabajos de Evaluación de los Pavimentos efectuados en la Pista 16-34, según el Método de Departamento de Transportes del Canadá, se concluye que su capacidad estructural es suficiente para la operación de la aeronave Boeing 727-200 con un peso total de 79 Tons., permitiéndose 3000 operaciones antes de proceder a una nueva revisión de su capacidad estructural.

- 2a.- Los materiales que constituyen la capa subrasante, y la base hidráulica del pavimento actual cumplen las especificaciones para su uso específico.

- 3a.- Apoyándonos en las buenas condiciones estructurales que presenta el pavimento, se eligió como solución más apropiada la de la ampliación transversal de la pista aprovechando el pavimento actual; ésto complementado con la ampliación longitudinal resalta esta solución como la más recomendable.

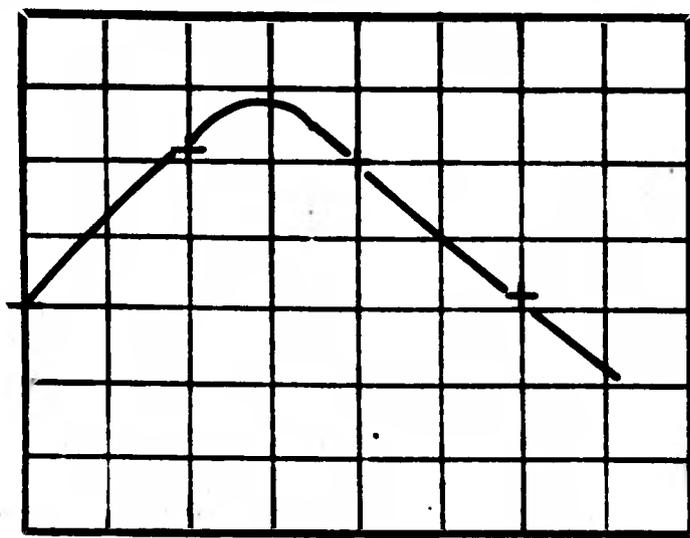
- 4a.- Aun cuando estructuralmente hablando el pavimento en los diferentes elementos presenta capacidad suficiente para operar con Boeing 727-200, es necesario en atención a las condiciones de la superficie actual de rodamiento, colocar una sobrecarpeta de concreto asfáltico con espesor mínimo de 7 cm., con la cual se corregirán los defectos encontrados en la superficie actual de rodamiento.

A N E X O N O . 1
PRUEBAS DE LABORATORIO

PRUEBA CONCRETOS

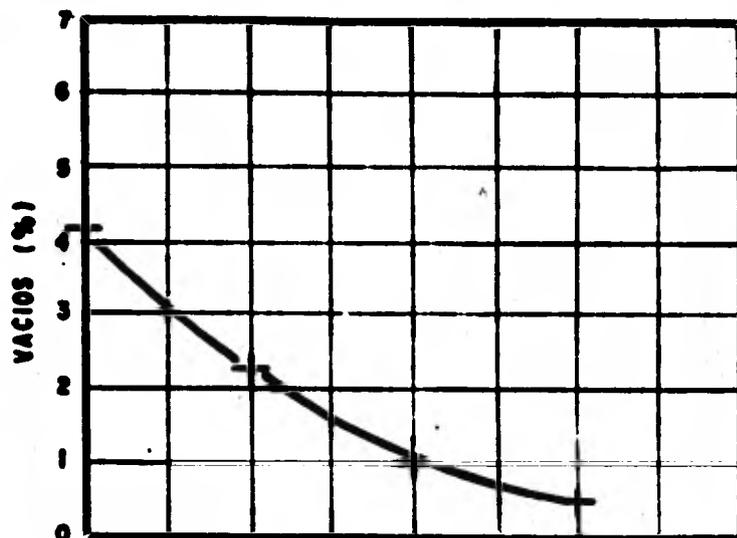
MARSHALL PARA ASFALTICOS

PESO VOLUMETRICO (Kg/m³)



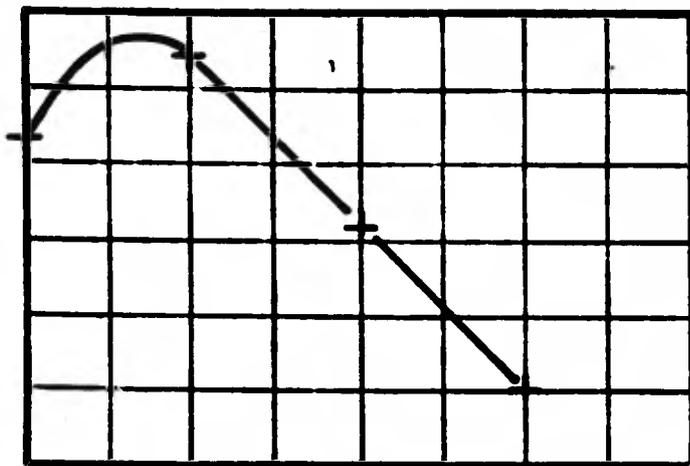
Contenido de Asfalto (%)

VACIOS (%)



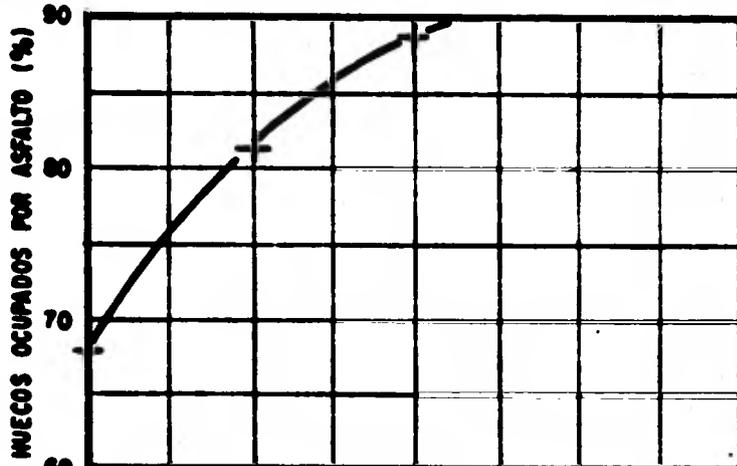
Contenido de Asfalto (%)

ESTABILIDAD (Kg)



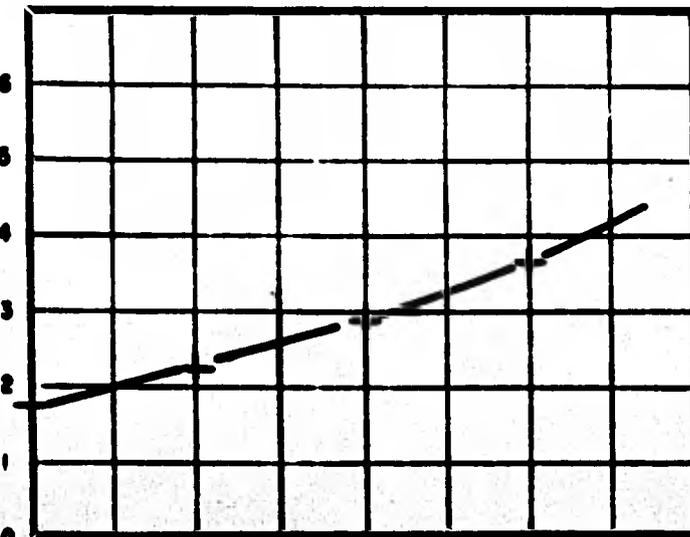
Contenido de Asfalto (%)

HUECOS OCUPADOS POR ASFALTO (%)



Contenido de Asfalto (%)

FLUJO (mm)



Contenido de Asfalto (%)

PROY. ESPECIF.

| | | |
|----------------------------------|------|-------|
| ESTABILIDAD | 1180 | 700 |
| FLUJO | 2.1 | 2-4 |
| % DE VACIOS | 3.1 | 3-5 |
| % DE HUECOS OCUPADOS POR ASFALTO | 78 | 75-82 |

| LOCALIZACION | LIMTES | | C.L. % | GRANULOMETRIA | | | CLASIFICACION | E.A. % | PORTER ESTANDAR | | Y _{max} Kg/m ³ | w _{opt} % | Y _{net} Kg/m ³ | w _{net} % | GRADO DE CCNPAC TACION | PORTER MODIFICADA | | | Y _{secr} Kg/m ³ | |
|---|---------|---------|-----------|---------------|--------|--------|---------------|-----------|-----------------|-------------|---------------------------------------|-----------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------|-------------------|-------------|----------------|--|----------------|
| | LL % | IP % | | G % | A % | F % | | | V.R.S. % | % DE EXP | | | | | | PORTER | PROC TOR | 90 % V.R.S. | | 95 % V.R.S. |
| SONDEO NO. 1 CAPA SUBRASANTE Km. 0+200 | 30 | 15 | 7.9 | 8 | 12 | 80 | CL | - | - | - | 1885 | 13.7 | 1892 | 14.4 | 100% | - | 12 | 19 | 1110 | |
| SONDEO NO. 2 CAPA SUBRASANTE Km. 0+575 | 29 | 14 | 6.9 | 7 | 19 | 74 | CL | - | - | - | 1900 | 12.3 | 1923 | 12.2 | 100% | - | - | 26 | 1115 | |
| SONDEO NO. 5 CAPA SUBRASANTE Km. 1+000 | 24 | 9 | 4.4 | 20 | 22 | 58 | CL | - | - | - | 1867 | 14.4 | 1880 | 12.1 | 100% | - | - | 27 | 1299 | |
| SONDEO NO. 6 CAPA SUBRASANTE Km. 1+500 | 34 | 16 | 7.9 | 0 | 22 | 78 | CL | - | - | - | 1870 | 14.6 | 1885 | 14.6 | 100% | - | 9.5 | 11.5 | 1061 | |
| SONDEO NO. 1 SUB BASE Km. 0+200 | 21 | 8 | 4.2 | 63 | 19 | 18 | GC | 13 | 103 | 0.1 | 2217 | - | 5.7 | 2130 | 4.1 | 96% | - | 78 | - | 1510 |
| SONDEO NO. 6 SUB BASE Km. 1+500 | 22 | 10 | 4.5 | 56 | 25 | 19 | GC | 13.5 | 78 | 0.14 | 2197 | - | 6.7 | 2197 | 4.6 | 100% | - | - | 85 | 1480 |
| SONDEO NO. 1 BASE HIDRAULICA Km. 0+200 | 18 | 7 | 2.7 | 58 | 36 | 8 | GP - GC | 57 | 116 | 0.0 | 2192 | - | 3.8 | 2203 | 2.0 | 100% | - | - | 128 | 1653 |
| SONDEO NO. 2 BASE HIDRAULICA Km. 0+575 | 22 | 11 | 3.3 | 58 | 34 | 10 | GP - GC | 30 | 113 | 0.0 | 2098 | - | 4.7 | 2014 | 2.8 | 91% | 94 | - | - | 1610 |
| SONDEO NO. 5 BASE HIDRAULICA Km. 1+00 | 18 | 7 | 3.8 | 67 | 26 | 7 | GP - GC | 31 | 123 | 0.0 | 2224 | - | 4.3 | 2241 | 2.0 | 100% | - | - | 126 | 1605 |
| SONDEO NO. 6 BASE HIDRAULICA Km. 1+500 | 18 | 7 | 3.7 | 57 | 33 | 10 | GP - GC | 29 | 97 | 0.15 | 2181 | - | 5.3 | 2211 | 2.5 | 100% | - | - | 113 | 1672 |

| LOCALIZACION | LIMITES | | C.L. % | GRANULOMETRIA | | | CLASIFICACION | E.A. % | PORTER ESTANDAR | | γ_{max} Kg/m ³ | w opt % | γ_{net} Kg/m ³ | w net % | GRADO DE CCMPAC TACION | PORTER MODIFICADA | | | γ_{base} Kg/m ³ | |
|---|---------|---------|-----------|---------------|--------|--------|---------------|-----------|-----------------|-------------|-------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------|------------------------------|-------------------|----------------|-----------------|--------------------------------------|------|
| | LL % | IP % | | G % | A % | F % | | | V.R.S. % | % DE EXP | | | | | | 90 % V.R.S. | 95 % V.R.S. | 100 % V.R.S. | | |
| SONDEO NO. 1 CAPA SUBRASANTE Km. 0+200 | 30 | 15 | 7.9 | 8 | 12 | 80 | CL | - | - | - | 1885 | 13.7 | 1892 | 14.4 | 100% | - | 12 | 19 | 1110 | |
| SONDEO NO. 2 CAPA SUBRASANTE Km. 0+575 | 29 | 14 | 6.9 | 7 | 19 | 74 | CL | - | - | - | 1900 | 12.3 | 1923 | 12.2 | 100% | - | - | 26 | 1115 | |
| SONDEO NO. 5 CAPA SUBRASANTE Km. 1+000 | 24 | 9 | 4.4 | 20 | 22 | 58 | CL | - | - | - | 1867 | 14.4 | 1880 | 12.1 | 100% | - | - | 27 | 1299 | |
| SONDEO NO. 6 CAPA SUBRASANTE Km. 1+500 | 34 | 16 | 7.9 | 0 | 22 | 78 | CL | - | - | - | 1870 | 14.6 | 1885 | 14.6 | 100% | - | 9.5 | 11.5 | 1061 | |
| SONDEO NO. 1 SUB BASE Km. 0+200 | 21 | 8 | 4.2 | 63 | 19 | 18 | GC | 13 | 103 | 0.1 | 2217 | - | 5.7 | 2130 | 4.1 | 96% | 78 | - | 1510 | |
| SONDEO NO. 6 SUB BASE Km. 1+500 | 22 | 10 | 4.5 | 56 | 25 | 19 | GC | 13.5 | 78 | 0.14 | 2197 | - | 6.7 | 2197 | 4.6 | 100% | - | - | 85 | 1480 |
| SONDEO NO. 1 BASE HIDRAULICA Km. 0+200 | 18 | 7 | 2.7 | 58 | 36 | 8 | GP - GC | 57 | 116 | 0.0 | 2192 | - | 3.8 | 2203 | 2.0 | 100% | - | - | 128 | 1653 |
| SONDEO NO. 2 BASE HIDRAULICA Km. 0+575 | 22 | 11 | 3.3 | 58 | 34 | 10 | GP - GC | 30 | 113 | 0.0 | 2098 | - | 4.7 | 2014 | 2.8 | 91% | 94 | - | - | 1610 |
| SONDEO NO. 5 BASE HIDRAULICA Km. 1+00 | 18 | 7 | 3.8 | 67 | 26 | 7 | GP - GC | 31 | 123 | 0.0 | 2224 | - | 4.3 | 2241 | 2.0 | 100% | - | - | 126 | 1605 |
| SONDEO NO. 6 BASE HIDRAULICA Km. 1+500 | 18 | 7 | 3.7 | 57 | 33 | 10 | GP - GC | 29 | 97 | 0.15 | 2181 | - | 5.3 | 2211 | 2.5 | 100% | - | - | 113 | 1672 |

A N E X O N O . 2

REGISTROS DE EVALUACION POR DEFLEXIONES

ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

OBRA : AEROPUERTO DE MONTERREY
LOCALIZACION : PISTA 16 - 34
TRAMO : Km. 0 + 000 - Km. 0 + 500 **FECHA :** 1981

| Km | LADO | | TEMP. °C | | LECTURAS EN mm. | | | DEFLEXIONES EN 10 ³ pulg. | | |
|---------|------|------|----------|---------|-----------------|--------|--------|--------------------------------------|---------------------------|----------------|
| | IZQ. | DER. | AMB. | CARPETA | ENTRADA | SALIDA | REBOTE | REBOTE | corregido por temperatura | |
| | | | | | | | | | X | X ² |
| 0 + 000 | | X | | 31 | 4.19 | 3.86 | 0.33 | 12.99 | 12.09 | 146.17 |
| 0 + 050 | | X | | 31 | 4.39 | 4.29 | 0.10 | 3.94 | 3.67 | 13.47 |
| 0 + 100 | | X | | 31 | 4.19 | 3.89 | 0.30 | 11.81 | 11.00 | 121.00 |
| 0 + 150 | | X | | 31 | 4.09 | 3.97 | 0.12 | 4.72 | 4.39 | 19.27 |
| 0 + 200 | | X | | 30 | 4.33 | 4.19 | 0.14 | 5.51 | 5.16 | 26.63 |
| 0 + 250 | | X | | 29 | 4.49 | 4.28 | 0.21 | 8.27 | 7.79 | 60.68 |
| 0 + 300 | | X | | 29 | 4.19 | 3.98 | 0.21 | 8.27 | 7.79 | 60.68 |
| 0 + 350 | | X | | 29 | 4.28 | 3.79 | 0.49 | 19.29 | 18.17 | 330.15 |
| 0 + 400 | | X | | 29 | 4.19 | 3.85 | 0.34 | 13.39 | 12.61 | 159.01 |
| 0 + 450 | | X | | 29 | 4.54 | 4.19 | 0.35 | 13.78 | 12.98 | 168.48 |
| 0 + 500 | | X | | 29 | 4.36 | 4.17 | 0.19 | 7.48 | 7.05 | 49.70 |
| 0 + 000 | X | | | 26 | 4.85 | 4.46 | 0.39 | 15.35 | 14.70 | 216.09 |
| 0 + 050 | X | | | 27 | 4.67 | 4.27 | 0.40 | 15.75 | 15.00 | 225.00 |
| 0 + 100 | X | | | 27 | 4.69 | 4.37 | 0.32 | 12.60 | 12.00 | 144.00 |
| 0 + 150 | X | | | 27 | 4.75 | 4.37 | 0.38 | 14.96 | 14.24 | 207.78 |
| 0 + 200 | X | | | 26 | 4.79 | 4.47 | 0.32 | 12.60 | 12.07 | 145.68 |
| | | | | | | | | $\Sigma =$ | | |
| | | | | | | | | $n =$ | | |
| | | | | | | | | $\bar{X} =$ | | |
| | | | | | | | | $\bar{\delta} =$ | | |
| | | | | | | | | $\delta_c =$ | | |
| | | | | | | | | espesor equiv. (pulg.) = | | |

ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

OBRA : AEROPUERTO DE MONTERREY
LOCALIZACION : PISTA 16 - 34
TRAMO : Km. 0+000 - Km. 0 + 500 **FECHA :** 1981

| Km | LADO | | TEMP. °C | | LECTURAS EN mm. | | | DEFLEXIONES EN 10 ³ pulg. | | |
|---------|------|------|----------|---------|-----------------|--------|--------|--------------------------------------|--------|----------------|
| | IZO. | DER. | AMB. | CARPETA | ENTRADA | SALIDA | REBOTE | corregido por temperatura | | |
| | | | | | | | | REBOTE | X | X ² |
| 0 + 250 | X | | | 26 | 4.55 | 4.19 | 0.36 | 14.17 | 13.57 | 184.14 |
| 0 + 300 | X | | | 26 | 4.86 | 4.39 | 0.47 | 18.50 | 17.72 | 314.00 |
| 0 + 350 | X | | | 26 | 4.69 | 4.09 | 0.60 | 23.62 | 22.63 | 512.12 |
| 0 + 400 | X | | | 27 | 4.60 | 4.07 | 0.53 | 20.87 | 19.87 | 394.82 |
| 0 + 450 | X | | | 27 | 4.69 | 4.30 | 0.39 | 15.35 | 14.61 | 213.45 |
| 0 + 500 | X | | | 26 | 4.49 | 3.99 | 0.50 | 19.69 | 18.86 | 355.70 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | $\Sigma =$ | 277.97 | 4068.02 |
| | | | | | | | | $n =$ | 22 | |
| | | | | | | | | $\bar{X} =$ | 12.635 | |
| | | | | | | | | $\bar{\delta} =$ | 5.02 | |
| | | | | | | | | $\delta_c =$ | 22.67 | |
| | | | | | | | | espesor equiv. (pulg.) = | 19.1 | |

ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

OBRA : AEROPUERTO DE MONTERREY
LOCALIZACION : PISTA 16 - 34
TRAMO : Km. 0+550 - Km. 0+900 **FECHA :** 1981

| Km | LADO | | TEMP. °C | | LECTURAS EN mm. | | | DEFLEXIONES EN 10 ³ pulg. | | |
|---------|------|------|----------|---------|-----------------|--------|--------|--------------------------------------|---------------------------|----------------|
| | IZO. | DER. | AMB. | CARPETA | ENTRADA | SALIDA | REBOTE | REBOTE | corregido por temperature | |
| | | | | | | | | | X | X ² |
| 0 + 550 | | x | | 29 | 4.30 | 4.09 | 0.21 | 8.27 | 7.79 | 60.68 |
| 0 + 600 | | x | | 29 | 4.40 | 4.29 | 0.20 | 7.87 | 7.41 | 54.91 |
| 0 + 650 | | x | | 29 | 4.40 | 4.26 | 0.14 | 5.51 | 5.19 | 26.94 |
| 0 + 700 | | x | | 29 | 4.49 | 4.34 | 0.15 | 5.91 | 5.57 | 31.02 |
| 0 + 750 | | x | | 29 | 4.59 | 4.49 | 0.10 | 3.94 | 3.71 | 13.76 |
| 0 + 800 | | x | | 29 | 4.30 | 4.14 | 0.16 | 6.30 | 5.93 | 35.16 |
| 0 + 850 | | x | | 29 | 4.49 | 4.29 | 0.20 | 7.87 | 7.41 | 45.91 |
| 0 + 900 | | x | | 28 | 4.28 | 4.09 | 0.19 | 7.48 | 7.08 | 50.13 |
| 0 + 550 | x | | | 26 | 4.47 | 4.09 | 0.38 | 14.96 | 14.33 | 205.35 |
| 0 + 600 | x | | | 26 | 4.79 | 4.46 | 0.33 | 12.99 | 12.44 | 154.75 |
| 0 + 650 | x | | | 26 | 4.60 | 4.46 | 0.14 | 5.51 | 5.28 | 27.88 |
| 0 + 700 | x | | | 26 | 4.66 | 4.47 | 0.19 | 7.48 | 7.17 | 51.41 |
| 0 + 750 | x | | | 26 | 4.64 | 4.49 | 0.15 | 5.91 | 5.66 | 32.04 |
| 0 + 800 | x | | | 26 | 4.56 | 4.30 | 0.26 | 10.24 | 9.81 | 96.24 |
| 0 + 850 | x | | | 26 | 4.48 | 4.09 | 0.39 | 15.35 | 14.7 | 216.09 |
| 0 + 900 | x | | | 26 | 4.19 | 3.89 | 0.30 | 11.81 | 11.31 | 127.92 |
| | | | | | | | | Σ = | 130.78 | 1239.19 |
| | | | | | | | | n = | 16 | |
| | | | | | | | | \bar{x} = | 8.174 | |
| | | | | | | | | \bar{y} = | 3.26 | |
| | | | | | | | | \bar{y}_c = | 14.694 | |
| | | | | | | | | espesor equiv. (pulg.) = | 19.88 | |

ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

OBRA : AEROPUERTO DE MONTERREY
LOCALIZACION : PISTA 16 - 34
TRAMO : Km. 0+950 - Km. 1+250 **FECHA :** 1981

| Km | LADO | | TEMP. °C | | LECTURAS EN mm. | | | DEFLEXIONES EN 10 ³ pulg. | | |
|---------|------|------|----------|---------|-----------------|--------|--------|--------------------------------------|---------------------------------|---------|
| | IZO. | DER. | AMB. | CARPETA | ENTRADA | SALIDA | REBOTE | REBOTE | corregido por temperatura | |
| | | | | | | | | X | X ² | |
| 0 + 950 | | x | | 28 | 4.38 | 3.98 | 0.40 | 15.75 | 14.92 | 222.61 |
| 1 + 000 | | x | | 28 | 4.69 | 4.28 | 0.41 | 16.14 | 15.28 | 233.48 |
| 1 + 050 | | x | | 28 | 4.69 | 3.88 | 0.81 | 31.89 | 30.20 | 912.04 |
| 1 + 150 | | x | | 28 | 4.77 | 4.19 | 0.58 | 22.83 | 21.62 | 467.42 |
| 1 + 200 | | x | | 28 | 4.69 | 4.29 | 0.40 | 15.75 | 14.92 | 222.61 |
| 1 + 250 | | x | | 28 | 4.79 | 4.45 | 0.34 | 13.39 | 12.68 | 160.78 |
| 0 + 950 | x | | | 26 | 4.16 | 3.89 | 0.27 | 10.63 | 10.18 | 103.63 |
| 1 + 000 | x | | | 26 | 4.09 | 3.59 | 0.50 | 19.69 | 18.86 | 355.70 |
| 1 + 050 | x | | | 26 | 4.49 | 3.89 | 0.60 | 23.62 | 22.63 | 512.12 |
| 1 + 150 | x | | | 26 | 4.79 | 4.19 | 0.60 | 23.62 | 22.63 | 512.12 |
| 1 + 200 | x | | | 27 | 4.28 | 3.86 | 0.42 | 16.54 | 15.75 | 248.06 |
| 1 + 250 | x | | | 27 | 4.30 | 4.11 | 0.19 | 7.48 | 7.12 | 50.69 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | $\Sigma =$ | 206.80 | 4001.26 |
| | | | | | | | | $n =$ | 12 | |
| | | | | | | | | $\bar{X} =$ | 17.233 | |
| | | | | | | | | $\bar{S} =$ | 6.04 | |
| | | | | | | | | $\delta_c =$ | 29.313 | |
| | | | | | | | | espesor equiv. (pulg.) = | 19.29 | |

ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

OBRA : AEROPUERTO DE MONTERREY
LOCALIZACION : PISTA 16 - 34
TRAMO : Km. 1 + 300 - Km. 1 + 800 **FECHA :** 1981

| Km | LADO | | TEMP. °C | | LECTURAS EN mm. | | | DEFLEXIONES EN 10 ³ pulg. | | |
|---------|------|------|----------|---------|-----------------|--------|--------|--------------------------------------|-------|----------------|
| | IZO. | DER. | AMB. | CARPETA | ENTRADA | SALIDA | REBOTE | corregido por temperatura | | |
| | | | | | | | | REBOTE | X | X ² |
| 1 + 300 | | x | | 28 | 4.65 | 4.49 | 0.16 | 6.30 | 5.97 | 35.64 |
| 1 + 350 | | x | | 28 | 4.69 | 4.39 | 0.30 | 11.81 | 11.19 | 125.22 |
| 1 + 400 | | x | | 28 | 4.49 | 4.20 | 0.29 | 11.42 | 10.81 | 116.86 |
| 1 + 450 | | x | | 28 | 4.67 | 4.29 | 0.38 | 14.96 | 14.17 | 200.79 |
| 1 + 500 | | x | | 28 | 4.67 | 4.56 | 0.11 | 4.33 | 4.10 | 16.81 |
| 1 + 550 | | x | | 27 | 4.57 | 4.16 | 0.41 | 16.14 | 15.37 | 236.24 |
| 1 + 600 | | x | | 27 | 4.40 | 4.09 | 0.31 | 12.20 | 11.61 | 134.79 |
| 1 + 650 | | x | | 27 | 4.35 | 3.99 | 0.36 | 14.17 | 13.49 | 181.98 |
| 1 + 700 | | x | | 28 | 4.27 | 4.06 | 0.21 | 8.27 | 7.83 | 61.31 |
| 1 + 750 | | x | | 27 | 4.49 | 4.09 | 0.40 | 15.75 | 15.00 | 225.00 |
| 1 + 800 | | x | | 28 | 4.46 | 3.95 | 0.51 | 20.08 | 19.02 | 361.76 |
| 1 + 300 | x | | | 27 | 4.59 | 4.39 | 0.20 | 7.87 | 7.49 | 56.10 |
| 1 + 350 | x | | | 27 | 4.30 | 4.09 | 0.21 | 8.27 | 7.87 | 61.94 |
| 1 + 400 | x | | | 27 | 4.40 | 4.09 | 0.31 | 12.20 | 11.61 | 134.79 |
| 1 + 450 | x | | | 27 | 4.37 | 4.19 | 0.18 | 7.09 | 6.75 | 45.56 |
| 1 + 500 | x | | | 27 | 4.45 | 4.27 | 0.18 | 7.09 | 6.75 | 45.56 |
| | | | | | | | | M = | | |
| | | | | | | | | n = | | |
| | | | | | | | | \bar{x} = | | |
| | | | | | | | | δ = | | |
| | | | | | | | | δ_c = | | |
| | | | | | | | | espesor equiv. (pulg.) = | | |

ESTUDIO DE DEFLEXIONES CON VIGA BENKELMAN

OBRA : AEROPUERTO DE MONTERREY
LOCALIZACION : PISTA 16 - 34
TRAMO : Km. 1+300 - Km. 1+800 **FECHA :** 1981

| Km | LADO | | TEMP. °C | | LECTURAS EN mm. | | | DEFLEXIONES EN 10 ³ pulg. | | |
|---------|------|------|----------|---------|-----------------|--------|--------|--------------------------------------|---------------------------|----------------|
| | IZO. | DER. | AMB. | CARPETA | ENTRADA | SALIDA | REBOTE | REBOTE | corregido por temperature | |
| | | | | | | | | | X | X ² |
| 1 + 550 | x | | | 27 | 4.49 | 4.30 | 0.19 | 7.48 | 7.12 | 50.69 |
| 1 + 600 | x | | | 27 | 4.57 | 4.30 | 0.27 | 10.63 | 10.12 | 102.41 |
| 1 + 650 | x | | | 27 | 4.19 | 3.97 | 0.22 | 8.66 | 8.24 | 67.90 |
| 1 + 700 | x | | | 27 | 4.66 | 4.49 | 0.17 | 6.69 | 6.37 | 40.58 |
| 1 + 750 | x | | | 27 | 4.49 | 4.30 | 0.19 | 7.48 | 7.12 | 50.69 |
| 1 + 800 | x | | | 28 | 4.67 | 4.09 | 0.58 | 22.83 | 21.62 | 467.42 |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | M = | 229.61 | 2820.04 |
| | | | | | | | | n = | 22 | |
| | | | | | | | | \bar{X} = | 10.437 | |
| | | | | | | | | δ = | 4.39 | |
| | | | | | | | | δ_c = | 19.217 | |
| | | | | | | | | espesor equiv. (pulg.) = | 21.46 | |

PLANO NO. 1

ESTADO ACTUAL DE LA SUPERFICIE DE RODAMIENTO

P L A N O N O . 2

VALORES DE LAS DEFLEXIONES MEDIDAS CON VIGA BENKELMAN

PLANO NO. 3

ESTRATIGRAFIA

PLANO NO. 4
BANCOS DE MATERIALES

PLANO NO. 5

SECCIONES ESTRUCTURALES Y NORMAS DE CONSTRUCCION