



9  
23  
**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES**

**CAMPUS ARAGON**

**"ESTUDIOS PARA SUSTITUIR LA COMPACTACION POR  
IMPACTOS EN LA PRUEBA MARSHALL POR MEDIO DE  
UNA CARGA ESTATICA."**

**TESIS**

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO CIVIL**

**PRESENTAN :**

- **CARRANCO LOPEZ VICTOR MANUEL.**
- **SOBERANO HOYOS BERNARDO.**

**MAYO 96.**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**

**TESIS CON  
FALLA DE ORIGEN**



Universidad Nacional  
Autónoma de México



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis 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**

**COMPLETA**



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

VÍCTOR MANUEL CARRANCO LÓPEZ  
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 13 de febrero del año en curso, presentada por Bernardo Soberano Hoyos y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RICARDO RODRÍGUEZ CORDERO pueda dirigirles el trabajo de Tesis denominado "ESTUDIOS PARA SUSTITUIR LA COMPACTACIÓN POR IMPACTOS EN LA PRUEBA MARSHALL POR MEDIO DE UNA CARGA ESTÁTICA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, México, 22 de febrero de 1996.  
EL DIRECTOR

M. en C. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.  
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.  
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/IIa.



UNIVERSIDAD NACIONAL  
AVENIDA DE  
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES  
ARAGÓN  
DIRECCION

BERNARDO SOBERANO HOYOS  
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 13 de febrero del año en curso, presentada por Victor Manuel Carranco López y usted, relativa a la autorización que se lea debe conceder para que el señor profesor, Ing. RICARDO RODRÍGUEZ CORDERO pueda dirigirle el trabajo de Tesis denominado "ESTUDIOS PARA SUSTITUIR LA COMPACTACIÓN POR IMPACTOS EN LA PRUEBA MARSHALL POR MEDIO DE UNA CARGA ESTÁTICA", con fundamento en el punto 6 y siguientes, del Reglamento para Exámenes Profesionales en esta Escuela, y toda vez que la documentación presentada por usted reúne los requisitos que establece el precitado Reglamento; me permito comunicarle que ha sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE  
"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"  
San Juan de Aragón, México, 22 de febrero de 1996.  
EL DIRECTOR

M. en C. CLAUDIO C. MERRIFIELD CASTRO

c c p Jefe de la Unidad Académica.  
c c p Jefatura de Carrera de Ingeniería Civil.  
c c p Asesor de Tesis.

CCMC/AIR/ta.

**AGRADECIMIENTOS:**

**A MIS PADRES :**           MIGUEL SOBERANO TORRES (D.E.P.)  
                                  CANDIDA HOYOS BALLADARES.

Con cariño y respeto, en reconocimiento a toda una vida de sacrificios y esfuerzos encausados a brindarme la herencia mas preciada a que puede aspirar un hijo: una profesion.

**A MIS HERMANOS :**       RUBEN, ALICIA, PATRICIA.

Porque siempre han estado conmigo y me han brindado su apoyo y cariño en todas las etapas de mi vida.

**A MI FAMILIA :**

A mis abuelos que con su humilde ejemplo ante la vida me dieron una manera correcta de vivirla.

A mis tios y primos que generosamente han contribuido en la culminacion de una de mis metas.

**A MIS COMPAÑEROS Y PROFESORES:**

Por compartir con gusto su amistad, conocimientos y experiencia durante mi formacion como profesionista.

**BERNARDO SOBERANO HOYOS.**

**AGRADECIMIENTO:**

Es difícil destacar ayudas concretas que estuvieron y siguen latentes en mi formación profesional, pero no pueden quedar sin mención el cuerpo académico de la carrera de Ingeniero Civil de la UNAM Campus Aragón, quienes con la aportación de sus conocimientos han logrado fincar las bases para hacer de mi un profesionista.

De igual manera resulta importante resaltar el apoyo y la confianza que tuvieron para mi mis padres y mis hermanos, quienes nunca perdieron la confianza en mi y siempre creyeron que yo podría lograr este triunfo que también es de ellos.

También quiero agradecer a mi amigo Isaac Robles, quien con su amistad, consejos y su apoyo moral ha sido parte importante de este logro.

Por último quiero agradecer muy en especial a mi esposa Aida quien nunca dejó de apoyarme y tuvo que soportar las carencias y sacrificios que implica el estar casada con un estudiante, por eso dedico con mucho cariño este triunfo a mi esposa y mi hija Diana.

VICTOR M. CARRANCO LOPEZ

## OBJETIVOS

En el presente trabajo de investigación, se pretende encontrar el valor de una carga estática que sustituya la carga dinámica en la prueba Marshall para encontrar el contenido óptimo de asfalto a 50 golpes por cara.

Esto se hace con la finalidad de agilizar y facilitar la realización de la prueba Marshall, ya que es más sencillo aplicar una carga determinada a un espécimen que aplicarle 50 impactos por cara.



CONTENIDO

Introducción .....	1
I. Pruebas para determinar el contenido optimo de asfalto ....	8
I.a. Prueba de Hubbard Field ó de extrucción .....	9
I.b. Prueba de compresión sin confinar .....	23
I.c. Prueba Marshall .....	42
II. Elaboración y resultados de especímenes compactados en la prueba Marshall a 50 golpes por cara .....	42
III. Resultados de especímenes en los cuales se reproducen el peso volumétrico de la prueba Marshall del capítulo anterior.....	65
IV. Correlación de resultados obtenidos en los especímenes elaborados por impactos y por carga estática .....	82
IV.a. Método de los mínimos cuadrados .....	82
IV.b. Análisis de regresión lineal por el método de los mínimos cuadrados .....	84
IV.c. Resultados de la prueba Marshall con la carga estática obtenida .....	113
V. Conclusiones .....	117
Bibliografía.....	118

## INTRODUCCION

Un pavimento es un conjunto de capas de materiales seleccionados que reciben los esfuerzos de tránsito y los transmiten adecuadamente distribuidos a las terracerías.

El pavimento está formado por las capas de sub-base, base y carpeta asfáltica; la terracería está formada por la capa de subrasante y cuerpo de terraplén.

Existen tres tipos de pavimentos: flexible, rígido y concreto asfáltico.

Pavimento flexible es aquel cuya carpeta asfáltica se pliega a pequeñas deformaciones de las capas inferiores sin falla estructural, y los esfuerzos se transmiten por medio de las características de cohesión y fricción de las partículas que constituyen estas capas.

Pavimento rígido es aquel cuya superficie de rodamiento es una losa de concreto hidráulico y presenta una falla frágil, es decir, que no admite deformaciones sin falla estructural. Los esfuerzos los recibe la losa de concreto y los distribuye en toda su área comunicándolos a las losas adyacentes, de tal forma que los esfuerzos que llegan a las capas inferiores son muy reducidos.

Concreto asfáltico es un pavimento que tiene una falla frágil similar a la del concreto hidráulico, transmite los esfuerzos como un pavimento flexible, la carpeta se elabora con grava-arena y cemento asfáltico por lo que para poder mezclar estos materiales es necesario calentarlos. La base de este tipo de pavimentos debe ser rigidizada o estabilizada con cal o cemento portland para resistir los esfuerzos tangenciales.

Por lo mencionado anteriormente una carpeta asfáltica es la capa superior de un pavimento flexible, elaborada con mezcla de materiales pétreos y un producto asfáltico (cemento asfáltico, asfalto rebajado o emulsión asfáltica). La carpeta asfáltica proporciona la superficie de rodamiento para vehículos y transmite sus cargas a las capas inferiores.

## CEMENTO ASFALTICO

El cemento asfáltico son sustancias líquidas, semi-sólidas o sólidas, compuestas principalmente de hidrocarburos solubles en sulfuro de carbono, y procede de yacimientos naturales y obtenidos como residuo del tratamiento de determinados crudos del petróleo, es de color café oscuro. El cemento asfáltico contiene un hidrocarburo llamado bitumen, el cual es soluble en bisulfuro de carbono, además contiene átomos de oxígeno, nitrógeno y azufre. Es impermeable y resiste a la mayoría de ácidos, álcalis y sales.

El cemento asfáltico es una sustancia altamente viscosa y para poder ser usado en la construcción es necesario hacerlo menos viscoso, para lo cual se calienta hasta los 140° C. Existen diferentes tipos de cemento asfáltico de acuerdo a su dureza, como el No. 3, 6, 7 y 8; el más duro es el No. 8.

También para hacer más trabajable el cemento asfáltico a temperaturas inferiores a los 140° C. se le agrega un solvente, a esta mezcla se le llama rebajado asfáltico, en la cual el solvente se evapora una vez terminada la mezcla, dejando depositado el cemento asfáltico.

Existen 3 categorías de rebajados de acuerdo al tipo de solvente y su velocidad de evaporación.

FRAGUADO RAPIDO ( FR ): Cemento asfáltico más gasolina, existen 5 tipos en función de la cantidad de cemento y gasolina.

FR-0		FR-1		FR-2		FR-3		FR-4	
C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.	
50%	50%	60%	40%	67%	33%	73%	27%	80%	20%

FRAGUADO MEDIO (MD): Cemento asfáltico más Querosina

FM-0		FM-1		FM-2		FM-3		FM-4	
C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.	
50%	50%	60%	40%	67%	33%	73%	27%	80%	20%

FRAGUADO LENTO (FL): Cemento asfáltico más Diesel  
o aceites ligeros.

FL-0		FL-1		FL-2		FL-3		FL-4	
C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.		C.A. sol.	
60%	40%	70%	30%	75%	25%	85%	15%	90%	10%

Otra manera de hacer más trabajable al cemento asfáltico, es mezclarlo con agua, pero para poder mezclarlos se necesita moler el asfalto en un molino coloidal y agregarle agua, emulsificantes y un estabilizador, a ésta mezcla se le llama emulsión asfáltica.

Durante el mezclado, el agua y el asfalto se separan, formando el asfalto una película continua que cubre a los agregados y los une; mientras que el agua se evapora.

Una mezcla asfáltica es una combinación de un material pétreo y un producto asfáltico. El diseño de una mezcla asfáltica tiene como objetivo establecer las proporciones de material pétreo y producto asfáltico, a fin de lograr en ellas ciertas propiedades que propicien condiciones de uso y duración

suficientes para alcanzar el objetivo que se persigue; dichas propiedades tienden a lograr que la mezcla cuente con la estabilidad necesaria para soportar las cargas impuestas por el tránsito, resistir el intemperismo y no presentar desgranamiento bajo el efecto de la circulación de vehículos.

La carpeta asfáltica construida con la mezcla tendrá la flexibilidad adecuada para adaptarse, sin sufrir daño, a las deformaciones permisibles en las capas de pavimento, con dichas propiedades también se procurará lograr que la textura y rugosidad de la capa sean adecuados para el tránsito, considerando siempre tener capas suficientemente impermeables. Como las propiedades mencionadas se logran seleccionando y adaptando el material pétreo, a la vez que incorporándole la proporción y tipo de material asfáltico adecuados, el diseño de una mezcla asfáltica contemplará fundamentalmente el manejo de estos conceptos para encontrar la mejor y más económica combinación de los materiales seleccionados, considerando como proporción óptima de asfalto aquellas con las que se logre las condiciones.

## CONTENIDO OPTIMO DEL ASFALTO

El contenido óptimo de asfalto, es la cantidad de asfalto que forma alrededor de las partículas una membrana, de tal espesor, que sea suficiente para resistir los elementos de intemperismo, y que no sea tan gruesa como para que la mezcla pierda estabilidad o resistencia y tenga deformaciones la carpeta asfáltica al paso de los vehículos.

El contenido óptimo es aquel que produce la mejor combinación de resistencia estructural y durabilidad en la carpeta. El espesor de la membrana asfáltica, que cubre las partículas de agregado, nos indica que tan durable es una carpeta, ya que si el espesor de la membrana es mayor al óptimo, entonces aumenta la resistencia al intemperismo y a la abrasión producida por los vehículos, pero disminuye su resistencia estructural, debido a que al ir aumentando el espesor de la membrana asfáltica, actúa principalmente como lubricante perdiendo considerablemente su poder ligante, y por lo tanto también su resistencia.

Para determinar la proporción óptima de asfalto de una mezcla, se necesita seleccionar y combinar los materiales pétreos y el cemento asfáltico, así como la determinación de sus características físicas; la elaboración, curado y prueba de especímenes de acuerdo con el procedimiento de prueba; finalmente el cálculo y análisis de resultados, fijando la



proporción óptima de asfalto, de acuerdo con el criterio de prueba.

Los procedimientos para obtener el contenido óptimo de asfalto son:

- Compresión simple
- Prueba Marshall
- Prueba Hubbard-field o prueba de extrusión.

## METODO HUBBARD FIELD

Este método se aplica a mezclas elaboradas con cemento asfáltico en caliente, y material pétreo cuyas partículas pasan por la malla No. 4 y como mínimo el 65% de las mismas pasan por la malla No. 10.

La prueba consiste en elaborar muestras con los agregados pétreos y diferentes proporciones de cemento asfáltico, en los que se determinan, mediante su resistencia a la extrusión y porcentaje de vacíos, las distintas cantidades de asfalto que cubren las necesidades del proyecto; entre dichas cantidades de asfalto se escoge a la que más satisface y conviene a la obra.

Este procedimiento se aplicará perfectamente en carpetas con tránsito medio o bajo, y para la estabilización de materiales.

El equipo y material necesarios para esta prueba es el siguiente:

- \_ Termómetro blindado, con registro de cero o doscientos grados centígrados y aproximaciones de un grado centígrado.
- \_ Recipiente metálico galvanizado con altura mínima de quince centímetros, treinta centímetros de largo y

veinticinco centímetros de ancho aproximadamente, este recipiente debe estar adecuado de tal forma que permita realizar las pruebas estando los especímenes sumergidos en agua.

\_ Pistón de compactación.

\_ Un horno que alcance una temperatura hasta de doscientos grados centígrados, con una aproximación de tres grados centígrados.

\_ Un anillo para la extrusión con las dimensiones que se indican.

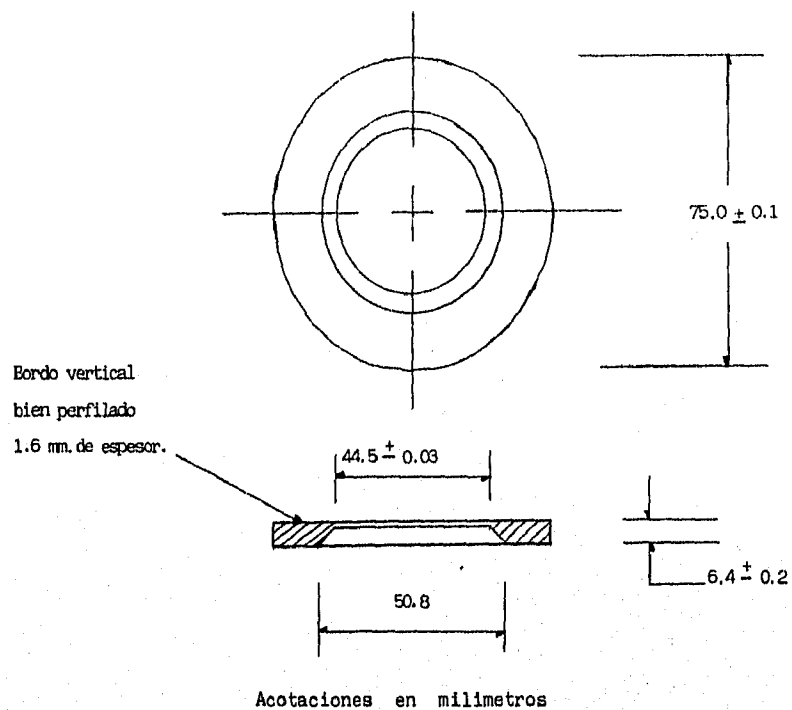


FIG. 1 ANILLO PARA LA EXTRUSION

El procedimiento de prueba es el siguiente:

- 1) Previamente a la preparación de las mezclas de prueba, se verifica que los materiales seleccionados satisfagan los requisitos de calidad indicados en este inciso y se les determinará al material pétreo, el peso específico al igual que al cemento asfáltico. También se obtienen las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico y del material pétreo; para el primero, la temperatura mencionada es aquella a la que tenga una viscosidad Saybolt Furol de ochenta y cinco más o menos diez ( $85 \pm 10$ ) segundos, y para el material pétreo, es esta misma temperatura más diez grados centígrados ( $+10^{\circ} \text{C}$ ). Por otra parte, se determina la temperatura de compactación de la mezcla que será aquella a la cual el cemento asfáltico tenga una viscosidad Saybolt Furol de ciento cuarenta más menos quince ( $140 \pm 15$ ) segundos; para fijar estas temperaturas se deberá recurrir a las respectivas gráficas viscosidad-temperatura del cemento asfáltico utilizado.
- 2) Para la preparación de las mezclas de prueba se tomará en cuenta las temperaturas de mezclado previamente determinadas, y también que la cantidad de material pétreo requerida para cada mezcla es de

quinientos (500) gramos y que las proporciones de asfalto respectivas se definirán como base en el contenido óptimo aproximado de cemento asfáltico determinado mediante el procedimiento descrito en el ANEXO I, los cuales serán:

- Contenido óptimo aproximado, menos uno punto cero por ciento (-1.0%).
- Contenido óptimo aproximado, menos cero punto cinco por ciento (-0.5%).
- Contenido óptimo aproximado, más cero punto cinco por ciento (+0.5%).
- Contenido óptimo aproximado, más uno punto cero por ciento (+1.0%).
- Contenido óptimo aproximado, más uno punto cinco por ciento (+1.5%).
- Contenido óptimo aproximado, más dos punto cero por ciento (+2.0%).

3) Antes de iniciar la elaboración de los especímenes se limpian y calientan dos (2) moldes armados con sus correspondientes placas de base, a una temperatura de ciento treinta grados centígrados (130° C) colocándolos en el horno durante diez (10) minutos como mínimo.

4) Se prepara una de las mezclas de prueba de uno de los contenidos de asfalto, siguiendo el criterio indicado en el subpárrafo 2) de este párrafo y estando la mezcla a la temperatura de compactación indicada en el subpárrafo 1) de este mismo párrafo; se sacan del horno los dos (2) moldes y sus placas de base, que se designarán como molde uno y molde dos, se colocarán sobre una mesa y se vierte en cada uno de ellos la cantidad de mezcla necesaria, cien (100) gramos aproximadamente, para obtener en ambos un espécimen cilíndrico con altura de veinticinco punto cuatro más menos cero punto cinco ( $25.4 \pm 0.5$ ) milímetros, después de lo cual se regresa al horno los moldes con su contenido, y se mantienen a la temperatura de compactación durante un período de diez (10) minutos como mínimo.

5) Se saca del horno uno de los moldes conteniendo la mezcla asfáltica y se apoyan sobre las calzas dentro de un recipiente vacío con dimensiones adecuadas para contener y cubrir el molde se coloca el conjunto sobre la platina de la prensa y se introduce en el molde el pistón de compactación con el que se aplica al espécimen una carga inicial de doscientos treinta (230) kilogramos; a continuación se retira la carga, se remueven las calzas y se compacta el espécimen aplicando una carga de manera

uniforme hasta alcanzar en dos (2) minutos una carga de cuatro mil doscientos setenta y cinco (4,275) kilogramos, equivalente a una presión de doscientos once (211) kilogramos sobre centímetro cuadrado.

6) A continuación se llena el recipiente con agua fría hasta un tirante de ocho (8) centímetros y se deja enfriar la muestra bajo la acción de la carga de cuatro mil doscientos setenta y cinco (4,275) kilogramos, durante un período de cinco (5) minutos.

7) Transcurrido este tiempo se libera la carga, se invierte el molde, se retira la placa de base, se saca del molde la pastilla, utilizando el pistón de extrusión, y se coloca ésta ya compactada sobre una superficie plana; en seguida se marca con crayón su cara superior para su identificación, se deja a la temperatura ambiente por lo menos doce (12) horas antes de ser probada.

8) Se saca del horno el molde restante conteniendo la mezcla asfáltica y se le aplica el procedimiento descrito en los subpárrafos 5) a 7) de este párrafo.



9) Se preparan las mezclas y se elaboran las pastillas correspondientes a los demás contenidos de cemento asfáltico, procediendo de acuerdo con lo establecido en los subpárrafos 3) a 8) de este párrafo.

10) Transcurrido el período de reposo se determina a cada uno de los especímenes su peso volumétrico, aplicando el método de la parafina los datos obtenidos se anotan en la columna "f" de la hoja de registro, Figura No. 2.

11) Se determina la resistencia a la extrusión de cada espécimen de prueba, como se indica a continuación

11.a) Se colocan las pastillas y los moldes de prueba limpios en el baño o recipientes con agua a sesenta grados centígrados (60°C) y se dejan en este durante una hora como mínimo antes de la prueba.

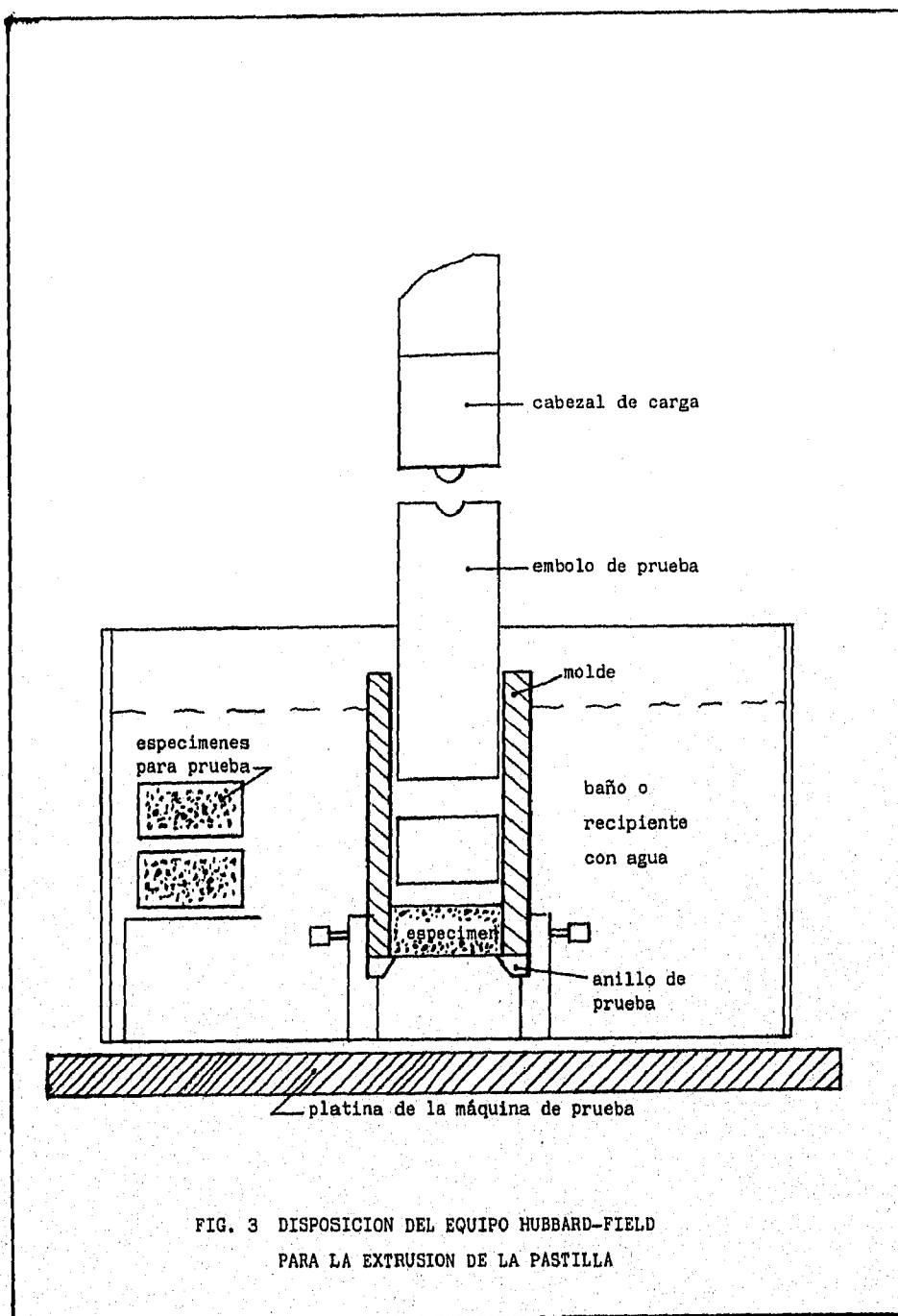
11.b) Se montan dentro del baño o recipiente con agua, el anillo de extrusión y el molde de prueba sobre el soporte metálico, como se indica en el Figura No. 3, a continuación se introduce uno de los especímenes en el molde de prueba, cuidando que su cara superior quede hacia arriba.



11.c) Se coloca el conjunto sobre la platina de la máquina de prueba como se muestra en la Figura No. 3 y se le aplica carga para que el espécimen se deforme a una velocidad constante de sesenta (60) milímetros por minuto. Se designa como resistencia a la extrusión el valor de la carga máxima obtenida, anotándolo en kilogramos en la columna "I" de la hoja de registro.

11.d) Se determina el valor de la resistencia a la extrusión del espécimen restante que corresponde al contenido de asfalto con que se inició la prueba, siguiendo para ello los pasos descritos en los subpárrafos 11.b) a 11.d) de este subpárrafo, y después de lo cual, aplicando este mismo procedimiento, se determinan los valores correspondientes a los especímenes de cada uno de los demás contenidos de asfalto considerados en el estudio.

12) Se verifica en cada uno de los sobrantes de las mezclas utilizadas para elaborar los especímenes, el por ciento de asfalto que contiene cada mezcla de prueba, seleccionando para ello uno de los procedimientos que se describen en el ANEXO II de este Capítulo o bien, de no requerirse mayor precisión en el estudio, se restará cero punto



tres por ciento (0.3%) de cada uno de los contenidos de asfalto considerados al elaborar las mezclas, para corregir dichos contenidos por perdidas durante el mezclado. Los contenidos de cemento asfáltico así corregidos se anotan en la columna "a" de la hoja de registro, Figura No. 2.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- a) Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas consideradas en el estudio y los datos obtenidos se anotan en la columna "g" de la hoja de registro.
- b) Se calcula de cada uno de los especímenes el porcentaje de vacíos del material pétreo VAM y los datos obtenidos se anotan en la columna "k" de la hoja de registro.
- c) Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada que forma cada uno de los especímenes, y los datos obtenidos se anotan en la columna "j" de la hoja de registro.
- d) Utilizando los valores promedio obtenidos para cada contenido de asfalto, se dibujan en formas como las de la Figura No. 4, las gráficas que a continuación se indican:

\_\_ **Peso volumétrico - Porcentaje de cemento asfáltico.**

\_\_ **Porcentaje de vacíos de la mezcla compactada -  
Porcentaje de cemento asfáltico.**

\_\_ **Porcentaje de vacíos del material pétreo -  
Porcentaje de cemento asfáltico.**

\_\_ **Resistencia la extrusión - Porcentaje de cemento  
asfáltico.**

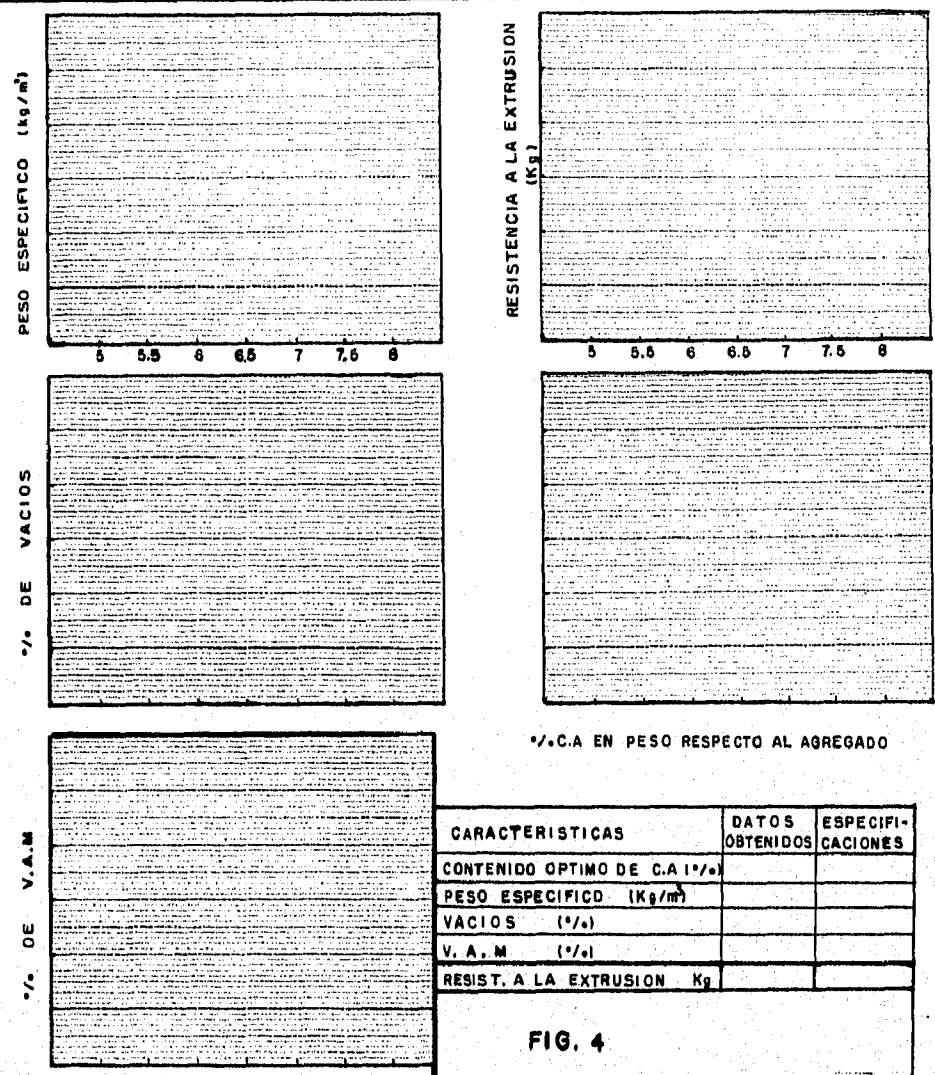
En cada gráfica se analizará cual es la proporción de asfalto que en mejor forma satisface los requerimientos de pavimento, fundamentalmente en cuanto a resistencia a la extrusión y vacíos, con lo cual se definirá el contenido óptimo que se reportará como resultado de esta prueba.

f) Si los resultados de la prueba no satisfacen el criterio de aceptación establecido para la mezcla se analizará un nuevo proyecto.



# PRUEBA DE EXTRUSION

ESTUDIO POR EFECTUAR \_\_\_\_\_ FECHA DE INICIACION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION \_\_\_\_\_ FECHA DE TERMINACION \_\_\_\_\_  
 TIPO DE COMPACTACION \_\_\_\_\_ ENSAYE N° \_\_\_\_\_



%C.A EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
CONTENIDO OPTIMO DE C.A (%)		
PESO ESPECIFICO (Kg/m <sup>3</sup> )		
VACIOS (%)		
V. A. M (%)		
RESIST. A LA EXTRUSION Kg		

FIG. 4

%C.A EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

EL LABORATORISTA \_\_\_\_\_ EL JEFE DEL LABORATORIO \_\_\_\_\_ Vo. So \_\_\_\_\_

## METODO DE COMPRESION SIN CONFINAR

Este método es empleado para obtener el contenido óptimo de asfalto para mezclas en el lugar o en frío y está determinado en función de su resistencia.

Este método general se realiza como sigue:

Se obtiene el contenido mínimo de asfalto de cubrimiento total (CMCT), que puede conocerse en forma objetiva, en forma analítica o por medio de pruebas; la obtención de esta proporción es como sigue: a la temperatura de mezclado (aproximadamente 50° C), se agrega y se mezcla rebajado asfáltico o emulsión, según se vaya a usar, a una muestra de material pétreo, hasta el momento en que todas las partículas se cubran, en este caso, la partícula de asfalto es muy delgada, sobre todo la de las partículas gruesas, pues estas son las últimas que se cubren. Se calcula el contenido mínimo de cubrimiento total de la siguiente manera.

$$\text{CMCT} = \frac{\text{Peso del producto asfáltico incorporado}}{\text{Peso del material utilizado}}$$

Para encontrar el contenido mínimo de cubrimientos total por medio de fórmula, es necesario conocer la granulometría de los materiales pétreos, ya que de acuerdo a ésta se encuentran



la superficie por cubrir con el asfalto y se tienen dos variantes.

La primera variante se aplica para materiales graduados con finos. En este caso, se usan constantes de áreas, que están expresados en metros cuadrados de superficies por kilogramo de material pétreo; el porcentaje de material que se retiene en las diferentes mallas, se multiplica por la constante de área, este producto a su vez se multiplica por el índice asfáltico, correspondiente a las características del material, que es un contenido parcial de cemento asfáltico (CA).

La constante de área se da en la Figura No. 5 y el índice asfáltico en la correspondiente a la Figura No. 6.

Supongamos un material con la siguiente granulometría:

M A L L A	PORCENTAJE DE MATERIAL QUE PASA	PORCENTAJE RETENIDO
19.5 mm	100	0
3 / 4 plg	76	
12.7 mm		
1 / 2		
9.52 mm	62	
3 / 8 plg		56
Núm. 4	44	
Núm. 10	30	
Núm. 20	25	
Núm. 40	20	24
Núm. 60	14	
Núm. 100	8	
Núm. 200	5	15
Pass malla 200	--	5

MATERIAL SE RETIENE		CONSTANTE DE AREA m <sup>2</sup> /kg
PASA MALLA	EN MALLA	
38.1 mm (1 1/2")...	19.05 mm (3/4")	0.27
19.05 mm (3/4")...	Núm. 4	0.41
Número 4 ...	Núm. 40	2.05
Número 40 ...	Núm. 200	15.38
Número 200 ...		53.30

FIGURA 5. Constantes de área para encontrar el porcentaje de contenido mínimo de cubrimiento total con base en la granulometría del material pétreo.

M A T E R I A L	INDICE ASFALTICO
Gravas y arenas de río o materiales redondeados de baja absorción	0.0055
Gravas angulosas y 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 6.** Índice asfáltico para encontrar el porcentaje de contenido mínimo de cubrimiento total en base a granulometría del material pétreo.

Supóngase que tenemos grava trituradas de absorción media y arena de río de baja absorción; así, el cálculo de acuerdo a las Figuras 5 y 6 es como sigue:

MATERIAL m m ( 1 )	PORCENTAJE EN PESO RETENIDO ( 2 )	CONSTANTE DE AREA ( 3 )
19.05 a Núm 4	.56	.41
Núm. 4 a Núm 40	.24	2.05
Núm. 40 a Núm 200	.15	15.38
Pasa a la 200	.05	53.30
SUPERFICIE PARCIAL ( 4 ) (2) x (3)	I N D I C E ASFALTICO ( 5 )	CONTENIDO PARCIAL C.A. ( 6 ) (4) x (6)
.23	0.007	0.00161
.492	0.0055	0.00271
2.307	0.0055	0.01269
2.665	0.0055	0.01466
T O T A L		0.032

Para encontrar el porcentaje de cemento asfáltico la suma de los contenidos parciales se multiplica por 100; así en este caso es 3.2%; si se usa un producto FR3 con contenido de 69% de cemento asfáltico, el porcentaje en peso de FR3 será:

$$\frac{3.2}{0.69} = 4.65\%$$

Si la densidad del asfalto es de 0.94 y la del material pétreo de 1.45, el volumen de asfalto en porcentaje será:

$$\frac{4.65 \times 1.45}{0.94} = 7.2 \%$$

y la cantidad en litros  $7.2\% \times 100 = L/m^3$  de agregado.

La segunda variante para obtener el porcentaje mínimo en forma analítica, se aplica a materiales graduados con pocos finos, y en este caso se utiliza la fórmula.

$$I = 0.02 a + 0.045 b + cd$$

I = Contenido mínimo de cemento asfáltico.

a = Porcentaje de material retenido en malla 10.

b = Porcentaje de material que pasa malla 10 y se retiene en 200.

c = Porcentaje de material que pasa malla 200.

d = Coeficiente asfáltico que se da en la Figura 7.

Para conocer el porcentaje en peso del producto que se va a utilizar, se procede del mismo modo que en la primera variante.

M A T E R I A L	" D "
Gravas y arenas de río o materiales redondeados de baja absorción .....	0.15
Gravas trituradas de baja absorción .....	0.20
Rocas trituradas de absorción media .....	0.30
Rocas trituradas de alta absorción .....	0.35

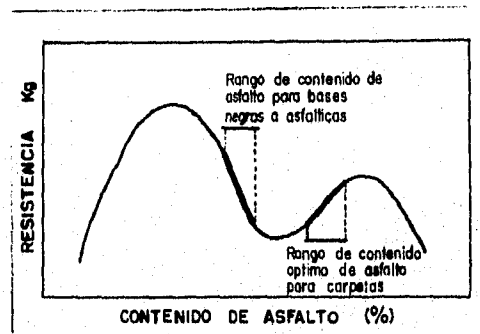
**FIGURA 7.** Coeficiente asfáltico para encontrar el porcentaje de contenido mínimo de cubrimiento total en base a la granulometría del material pétreo.

Este mínimo también se puede obtener por medio de la prueba de CKE (Coeficiente del Equivalente de Kerosina), o la de CKE modificada, sólo que en este caso, se obtiene aproximadamente el contenido óptimo y no el mínimo.

Ya obtenido el contenido mínimo de cubrimiento total, se preparan 6 mezclas, con 3 kg de material pétreo, una con este porcentaje de asfalto, otra con 0.5% menos y cuatro conteniendo cada una de ellas: 0.5%; 1.0%; 1.5% y 2% más, respectivamente que el CMCT.

Con cada una de estas mezclas con los solventes debidamente evaporados ("defluxados") y a la temperatura de

40°C, se elabora un espécimen, utilizando un molde metálico de 10 cm de diámetro, con tal cantidad de material pétreo que al dársele una compactación por medio de una presión de 40 kg/cm<sup>2</sup>, se tenga una altura en él, de 12±0.5 cm. Al cabo de 2 hrs. en las que todos los especímenes tengan la temperatura ambiente, se meten en agua a 20°C protegidos con una bolsa de plástico, durante 30 min. y al cabo de este tiempo se lleva a la ruptura y los porcentajes de asfalto correspondientes, se forma una gráfica en la que en las abscisas se coloca este dato y en las ordenadas el esfuerzo de ruptura, en la Figura 8 se muestra una curva típica.



**FIGURA 8.** Curva contenido de producto asfáltico-resistencia para obtener el contenido óptimo para una mezcla en el lugar; este se encuentra en la rama ascendente al segundo máximo y se deja al criterio del proyectista el valor exacto.

El contenido óptimo de asfalto se encuentra en la parte ascendente del segundo máximo; este mismo procedimiento se utiliza para encontrar la cantidad de asfalto necesaria para bases negras o asfálticas; esta cantidad se localiza entre la parte alta o media de la rama descendente del primer máximo.

El laboratorista, para recomendar el óptimo de asfalto deberá observar con cuidado las mezclas y de ese modo tener una base mayor para su decisión.



A N E X O I

Para determinar la cantidad óptima de asfalto que se requiere en una mezcla, se deberán tomar en cuenta diversos factores:

En primer lugar se considera la función que básicamente desarrollará la mezcla asfáltica, las condiciones del clima, y la severidad del trabajo a que estará sujeta; en seguida se toman en consideración las características de los materiales como son la granulometría, absorción y densidad del pétreo, así como la densidad y consistencia del asfalto. Finalmente se toman en cuenta otros factores relacionados con la estructura por construir referente a la flexibilidad de las capas subyacentes y al espesor de la capa asfáltica, que deben ser congruentes con las propiedades de la mezcla por elaborar. Con todos estos datos se tendrá la orientación suficiente respecto a las características de rigidez o flexibilidad, estabilidad, impermeabilidad y otras condiciones de seguridad que se requieren y que definen la proporción de asfalto en la mezcla para un material pétreo determinado. Para conocer en forma aproximada la cantidad óptima de cemento o residuo asfáltico que se requiere agregar al material pétreo para preparar una mezcla, se aplicará la siguiente fórmula:

$$A_{DP} = \sqrt{\frac{5 / (0.176 + 0.33G_p + 2.30S + 12S_p + 135f)}{100}} \frac{2.65}{S_p} M K$$

En donde:

$A_{DP}$  = es la proporción óptima aproximada de cemento o residuo asfáltico de la mezcla, expresada como por ciento en peso del material pétreo.

$G$  = es la proporción en peso que del material pétreo representa la fracción retenida en la malla 3/8" en por ciento.

$G_F$  = es la proporción en peso que del material pétreo representa la fracción retenida en la malla Núm. 4 y que pasa la malla 3/8" en por ciento.

$S$  = es la proporción en peso que del material pétreo representa la fracción retenida en la malla Núm. 60 y que pasa la malla Núm. 4 en por ciento.

$S_F$  = es la proporción en peso que del material pétreo representa la fracción retenida en la malla Núm. 200 y que pasa la malla Núm. 60 , en por ciento.

$f$  = es la proporción en peso que del material pétreo representa el fino o "filler" y que pasa la malla Núm. 200, en por ciento.

2.65 = es el valor específico relativo o densidad del agregado pétreo, considerado como constante para la aplicación de esta fórmula.

$s_p$  = es la densidad del agregado pétreo determinada por inmersión en cemento asfáltico.

M = es el módulo de riqueza de asfalto correspondiente a mezclas utilizadas en capas de pavimentación, el cual se selecciona en el siguiente cuadro, en función de algunas características del agregado pétreo.

PARTICULAS DE AGREGADO PETREO	MODULOS DE RIQUEZA		
	HASTA 25%	2.6 A 50%	MAYOR DE 5.0%
ANGULOSAS	1.96	2.35	3.10
SUB - ANGULOSAS	1.64	2.10	2.80
REDONDEADAS	1.33	1.85	2.50

K = es el factor para ajustar los resultados de acuerdo con el tipo de mezcla asfáltica de que se trate y se puede considerar en forma aproximada de uno punto cero (1.0) cuando se emplea cemento asfáltico, de cero punto ochenta y cinco (0.85) para emulsiones y de cero punto setenta (0.70) cuando se utilizan asfaltos rebajados.

## A N E X O    I I

### DETERMINACION DEL CONTENIDO DE ASFALTO Y GRANULOMETRIA DEL MATERIAL PETREO EN MEZCLAS ASFALTICAS

Los métodos que se describen en esta cláusula sirven para determinar el porcentaje de asfalto que contiene una mezcla asfáltica, ya sea recién elaborada o bien, que forma parte de una capa construida con anterioridad; consiste fundamentalmente en separar por dilución el cemento o residuo asfáltico de las partículas de agregado pétreo, para cuantificar cada uno de estos dos elementos y determinar la proporción en que se encuentra en la mezcla. Al agregado pétreo libre de asfalto se le determina su composición granulométrica y también, en algunos casos, se podrá recuperar el asfalto para estudiar sus características. Los procedimientos son: el método colorimétrico, el de recirculación de disolventes en caliente y el de extracción por medio de centrifugado; los dos (2) primeros se aplicarán principalmente en la verificación del contenido de cemento asfáltico y en el control de la elaboración de las mezclas, limitándose el segundo a mezclas sin disolventes; el procedimiento mencionado en último termino es un método menos preciso y se utilizará principalmente en la determinación de la composición granulométrica citada.

### A N E X O I I I

La cantidad de asfalto que es necesario agregar para aglutinar el material pétreo se establecerá en función de alguna o algunas de las características físicas del agregado como son: granulometría, porosidad, forma y superficie específica de las partículas; así también, del tipo de mezcla que se pretenda elaborar de acuerdo con el proyecto y con las condiciones de uso a que se destine la mezcla. Varios de estos conceptos se tomarán en cuenta mediante fórmulas empíricas cuya aplicación permita tener en forma aproximada el porcentaje de material asfáltico que se adicionará para preparar la mezcla preliminar, de tal manera que cubra las partículas de material pétreo, sin dejarles una capa demasiado gruesa, porque se afectaría la estabilidad de la mezcla, ni demasiado delgada porque se desintegraría prematuramente o no se aglutinarían los materiales.

Para determinar el contenido mínimo aproximado de asfalto, una vez que se ha definido la granulometría del material pétreo para la mezcla preliminar; se aplicará la siguiente fórmula:

$$PRA = \sum F K I$$

En donde:

$P_{RA}$  = es la proporción de residuo asfáltico en peso, que corresponde a la mezcla preliminar y que es equivalente a la suma del requerido por cada fracción del agregado en las que se considera dividido este por su estudio, en porciento.

$F$  = es la proporción expresada en porciento, en peso, de cada una de las fracciones en que se divide el material pétreo por su estudio, determinada de acuerdo con las mallas que se indican en la TABLA A.

$K$  = es la constante de área superficial de las partículas de material pétreo estimado para cada una de las fracciones, de acuerdo con lo indicado en la TABLA A, en metros cuadrados por kilogramo.

$I$  = es el índice asfáltico de la fracción considerada, el cual se selecciona de la TABLA B, de acuerdo con las características del material, en kilogramos de cemento asfáltico por metro cuadrado de área superficial de partícula.

TABLA A. Areas superficiales de partículas para diferentes fracciones del material pétreo.

M A T E R I A L		AREA SUPERFICIAL DE PARTICULAS K m <sup>2</sup> / kg
PASA MALLA NUM.	RETIENE EN MALLA	
37.500	19.000	0.27
19.000	4.750	0.41
4.750	0.425	2.05
0.425	0.075	15.38
0.075	-	53.30

TABLA B. Indices asfálticos para diversos tipos de material pétreo.

MATERIALES PETREOS AGREGADO PETREO	INDICES ASFALTICOS EN kg / m <sup>2</sup>		
	ABSORCION 0.0 A 2.5%	ABSORCION 2.6 A 5.0%	ABSORCION MAYOR DE 5.0%
ANGULOSAS	0.0055	0.0065	0.0075
SUB - ANGULOSAS	0.0065	0.0075	0.0085
REDONDEADAS	0.0075	0.0085	0.0100



Para calcular la cantidad mínima de producto asfáltico con respecto al material pétreo en volumen se aplicará la siguiente fórmula:

$$MA_v = \frac{P_{RA} \cdot \rho_d}{R \cdot S_{RA} \cdot \rho_o}$$

En donde:

$MA_v$  = es la cantidad mínima de producto asfáltico con relación al material pétreo suelto, en litros por metro cúbico.

$P_{RA}$  = es la producción mínima de residuo asfáltico en peso con relación al del material pétreo, en por ciento.

$\rho_d$  = es el peso volumétrico del material pétreo seco suelto, en kilogramos por metro cúbico.

$R$  = es el residuo que contiene el material asfáltico en por ciento, respecto a su volumen.

$S_{RA}$  = es el peso específico relativo o densidad del residuo asfáltico, número abstracto.

$\rho_o$  = es el peso específico del agua, considerado para  
 . estos fines de un kilogramo por litro.

Cuando la mezcla se haga con cemento asfáltico, para fines  
prácticos se incrementa el contenido antes mencionado en un  
veinticinco por ciento (25%).

## PRUEBA MARSHALL

El Método Marshall es una prueba para el proyecto y control de mezclas elaboradas utilizando materiales pétreos con tamaño máximo de 3/4" y cemento asfáltico en caliente, el procedimiento consiste fundamentalmente en elaborar especímenes cilíndricos a los cuales se les determina su peso volumétrico, porcentaje de vacíos, estabilidad en sentido diametral y deformación al alcanzarle la máxima resistencia; estas dos últimas determinaciones se podrán hacer bajo condiciones favorables de humedad y temperatura; a las mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o con emulsiones, también se determinará la influencia del agua en su comportamiento.

En este método el análisis de los parámetros mencionados permite conocer o controlar las condiciones más favorables de impermeabilidad y durabilidad de la mezcla, con lo cual se pueden fijar márgenes para evitar exceso o escasez de aglutinante.

El valor de estabilidad es un índice de la resistencia estructural de la mezcla asfáltica compactada y el flujo es un indicador de su flexibilidad y pérdida de resistencia a la deformación; ambas propiedades ayudan por otra parte a juzgar las características de forma y superficie del material pétreo que integre la mezcla. El Método Marshall se aplica al control

de todos o algunos de las características que el mismo involucra; según se establezca en el proyecto.

Para el diseño de mezclas asfálticas se elaborarán especímenes con diferentes porcentajes de asfalto, a fin de conocer cuales son las que proporcionan condiciones favorables y de ellos seleccionar el contenido óptimo de asfalto o el más conveniente, para el material pétreo estudiando con granulometría previamente fijada.

Para verificar la mezcla asfáltica producida en la obra, se compararán las características de granulometría, contenido de asfalto y peso volumétrico de la mezcla compactada con los obtenidos siguiendo todo el proceso de diseño que se describe; sin embargo, cuando haya discrepancias significativas entre los datos mencionados se moldearán especímenes con la mezcla producida en la obra, a los que se les determinará su estabilidad, flujo y porcentaje de vacíos para verificar si cumplen con los requisitos que al respecto establece el proyecto.

El equipo y material necesarios para efectuar esta prueba son los siguientes:

\_ Molde metálico para compactación con diámetro interior de  $101.6 \pm 1\text{mm}$  y altura de 87.3 mm.

FIGURA 9

\_ Collarín y una placa de base, ambas para acoplarse indistintamente en los dos extremos del molde. FIGURA 9

\_ Pedestal de compactación consistente en un bloque de concreto, con sección de 20 x 20 cm y una altura de 45 cm. FIGURA 10

\_ Sujetador metálico para los golpes de compactación, que permita mantener firmemente en posición sobre el centro del pedestal los cilindros montados con su base y collarín, para compactar la mezcla que contiene. FIGURA 10

\_ Pisón de compactación con superficie circular de apisonado de 98.4 mm de diámetro, teniendo un peso deslizante de 4536 gramos, con altura de caída de 457.2 mm. FIGURA 11

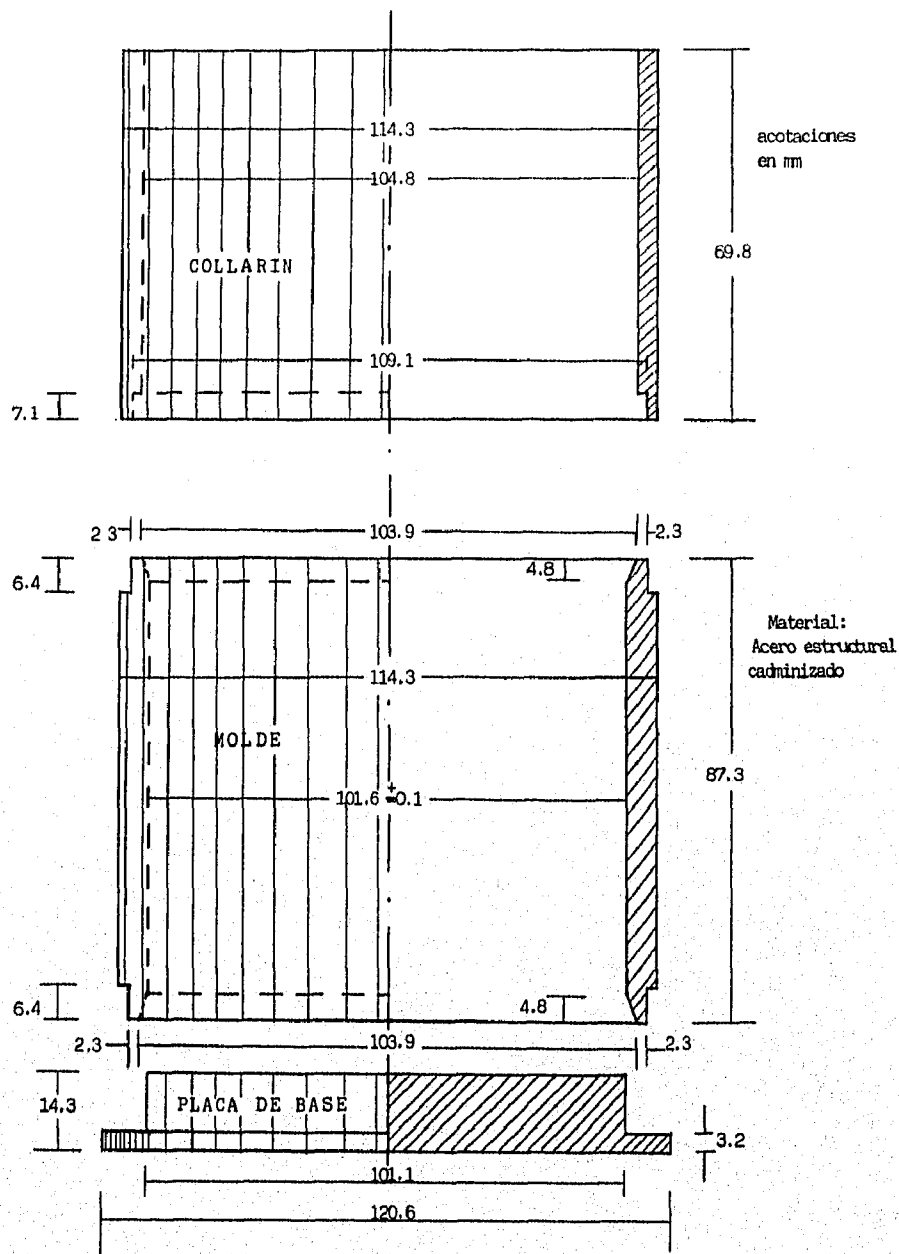


FIG.9 MOLDE DE COMPACTACION PARA LA PRUEBA MARSHALL



FIG. 10 EQUIPO DE COMPACTACION POR IMPACTOS

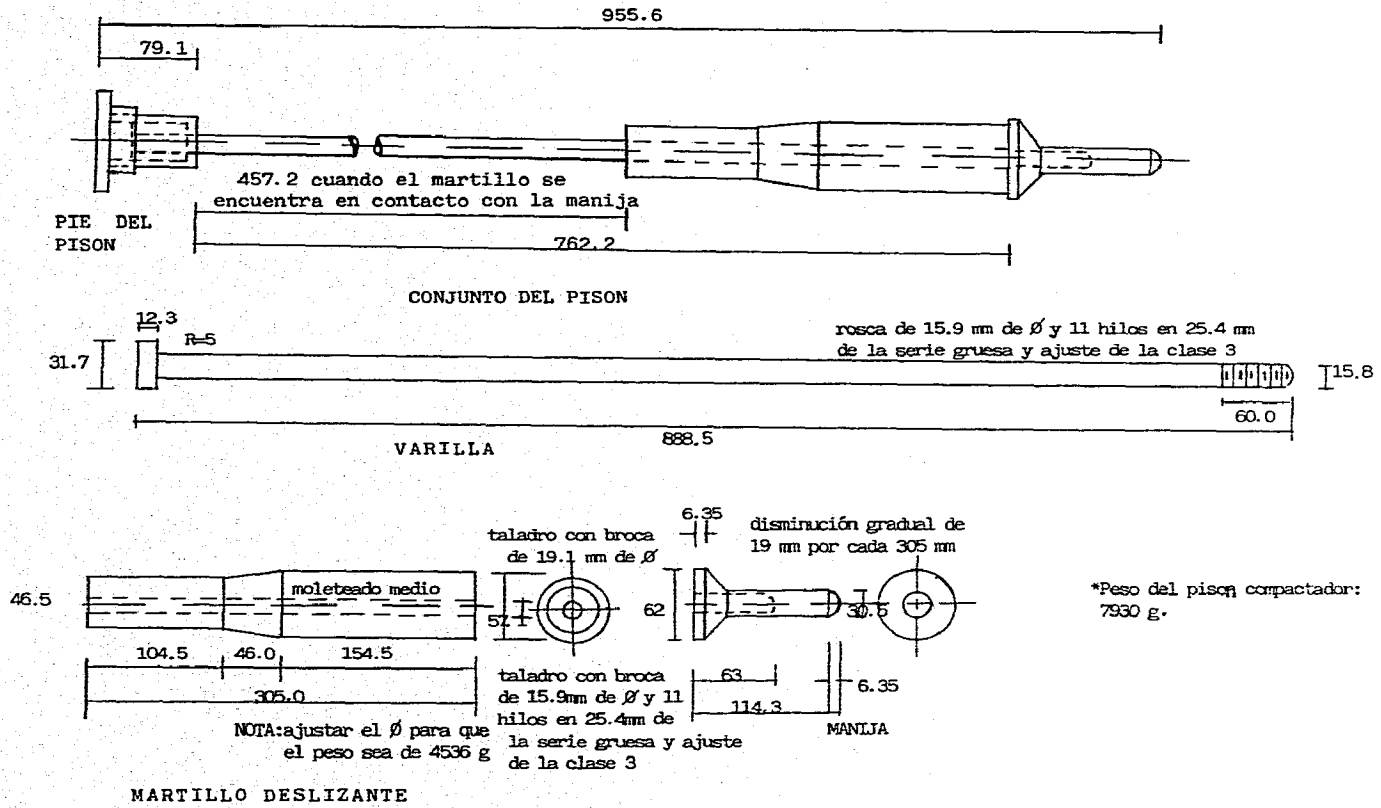


FIG. 11 PISON DE COMPACTACION MARSHALL



— Máquina de prueba Marshall con capacidad de 3000 kg, accionada con motor eléctrico, equipada con mordazas semicirculares para aplicar cargas a los especímenes de prueba a una velocidad constante de deformación de 50.8 mm por minuto y provista de un dinamómetro de anillo calibrado para cargas, con sensibilidad de 10 kg. FIGURA 12 Y 13

— Extensómetro para medir la extensión vertical o flujo del espécimen, con carrera de 25.4 mm y aproximación de 0.1 mm.

— Baño de agua o tanque de saturación con control termostático que mantenga una temperatura entre 20 y 80° C., con aproximación de 0.5° C., profundidad mínima de 150 mm, falso fondo perforado y dimensiones mínimas aproximadas de 42 + 32 + 18 cm.

— Parrilla eléctrica con capacidad para calentar las muestras de agregados hasta 160° C. con control termostático.

— Balanza de 2 kg de capacidad y 0.1 gr de sensibilidad.

— Balanza de 20 kg de capacidad y 1 gr de sensibilidad.

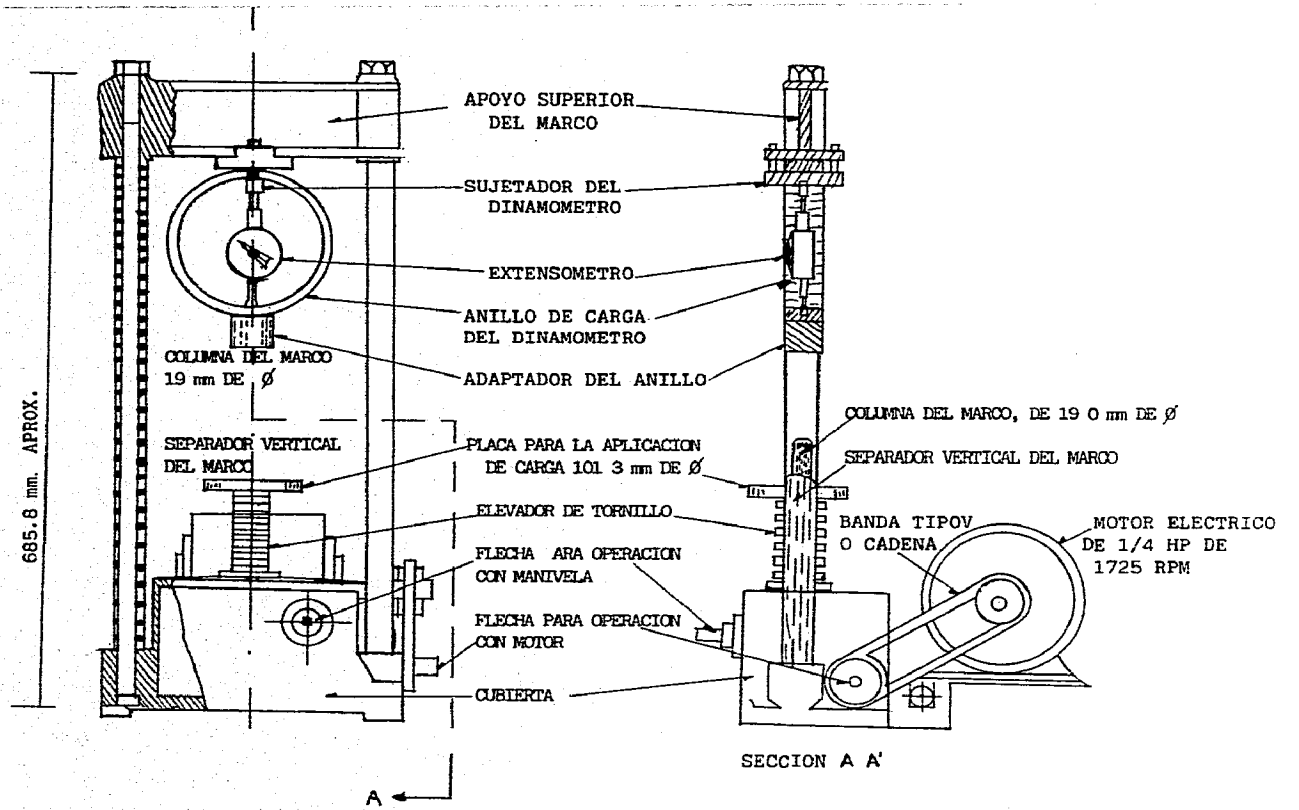
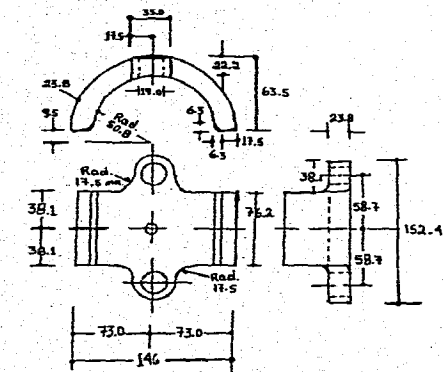
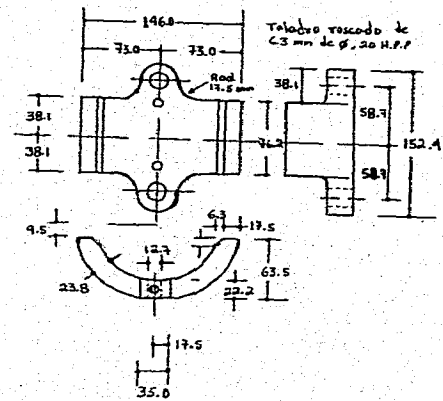


FIG. 12 ESQUEMA DE LA MAQUINA DE PRUEBAS MARSHALL

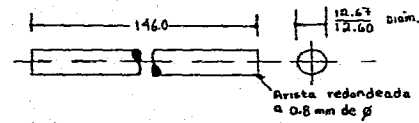
- \_ Termómetro con cubierta de metal para registrar temperaturas de 10 a 200° C con aproximación de 2° C
- \_ Termómetro para baño de agua que registre temperaturas de 20° a 70° C y aproximación de 0.2° C
- \_ Calibrador tipo máuser, con aproximación de 0.1 mm.
- \_ Charolas redondas para mezcla del pétreo con cemento asfáltico.
- \_ Juego de mallas para seleccionar la granulometría, las mallas son: 3/4", No. 4, No. 10, No. 40 y charola.
- \_ Cucharón, Espátulas
- \_ Guantes de asbesto
- \_ Estearato de zinc o parafina
- \_ Papel filtro de forma circular con diámetro ligeramente menor que el del molde de compactación.
- \_ Máquina universal para la compactación estática.



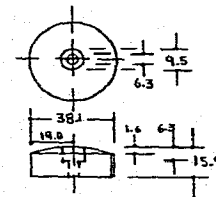
(1) Sección superior del cabezal



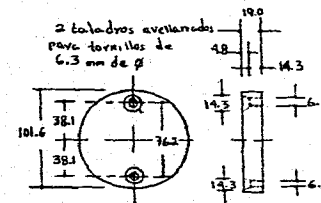
(2) Sección inferior del cabezal



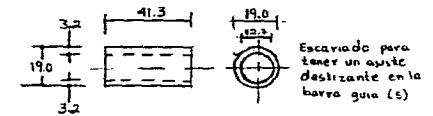
(5) Barra guía de apoyo



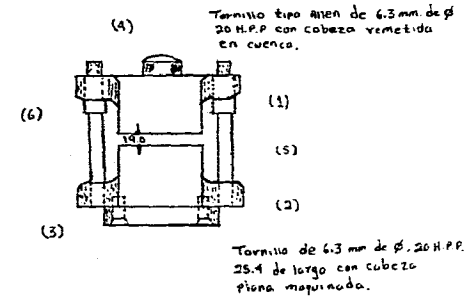
(4) Adaptador del cabezal



(3) Base del cabezal



(6) Casquillo de sujeción a la barra guía



MONTAJE DE LOS CABEZALES

FIG. 13 CABEZAL PARA PROBAR LOS ESPECIMENES MARSHALL

EL PROCEDIMIENTO DE PRUEBA ES EL SIGUIENTE

- 1) Se seleccionará el agregado pétreo que pasa la malla 3/4", No. 4, No. 10, No. 40.
- 2) La preparación de la mezcla de prueba para fines de diseño se lleva a cabo, con la cantidad necesaria de material pétreo para que el espécimen tenga una altura aproximada de 63.5 mm; para nuestro estudio 950 grs resultaron adecuado.
- 3) Se pesan 950 grs de material pétreo para hacer una pastilla, con 45% del material que pasa la malla de 3/4" y se retiene en la No. 4, con 15% del material que pasa la malla No. 4 y se retiene en la No. 10, con 20% del material que pasa la malla No. 10 y se retiene en la No. 40 y con 20% del material que pasa la malla No. 40.
- 4) Previamente a la preparación de las mezclas se determina la densidad del material pétreo, cemento asfáltico y de la parafina.
- 5) El material pétreo se calentará a una temperatura de 160° C. y el cemento asfáltico a 120° C.

6) En una charola redonda sobre una parrilla se pondrá el material pétreo (950 grs) y se le vaciará cemento asfáltico poco a poco hasta que haya cubierto todo el material pétreo, se pesa la cantidad de cemento asfáltico que se le agregó, este peso se multiplica por 100 y se divide entre el peso del material pétreo y se obtiene el porcentaje de asfalto que proporciona el mínimo de cubrimiento total (CMCT).

7) Las mezclas se prepararán por triplicado, cada una para elaborar en espécimen, con los siguientes contenidos de cemento asfáltico.

\_ Contenido mínimo de cubrimiento total, menos uno punto cero por ciento (C.M.C.T. - 1.0%)

\_ Contenido mínimo de cubrimiento total (C.M.C.T.)

\_ Contenido mínimo de cubrimiento total, más cero punto cinco por ciento ( C.M.C.T + 0.5 %)

\_ Contenido mínimo de cubrimiento total, más uno punto cero por ciento (C.M.C.T. + 1.0 %)

\_ Contenido mínimo de cubrimiento total, más uno

punto cinco por ciento (C.M.C.T. + 1.5 %)  
\_ Contenido mínimo de cubrimiento total, más dos  
punto cero por ciento (C.M.C.T. + 2.0 %)

8) Al terminar la operación de mezclado se obtendrá en la mezcla la temperatura de compactación determinada aplicando calor durante el mezclado.

9) Se limpian la placa de compactación del pisón y los moldes de compactación junto con el collarín, la espátula y placa de base respectivos, se calientan a 90° C. utilizando para ello un recipiente con agua calentada a dicha temperatura.

10) Se arman un molde con su collarín y base, poniendo en el fondo una de las hojas de papel filtro circular. Se vacía dentro del molde la mezcla asfáltica elaborada y se acomoda con la espátula, introduciéndola 15 veces en la parte cercana en la porción de la mezcla con el molde, y 10 veces en la porción central de la misma, para acomodarla sin que se clasifique; por último, se acomoda la parte superior del espécimen procurando dejarle la superficie ligeramente abombada, sobre la cual se coloca otra de las hojas de papel filtro circular.

11) A continuación se coloca el molde con su base y collarín montados, conteniendo la mezcla de prueba, sobre el pedestal de compactación y se ajusta el dispositivo de este que sostiene el molde, se aplican con la pesa deslizante del pisón de compactación 50 golpes, o bien, 75 golpes, dependiendo de lo que especifique el proyecto para el tipo de tránsito especificado. La altura de caída de la pesa será de 457 mm, debiendo mantener el eje del pisón en posición normal a la base del molde.

12) Una vez aplicado el número de golpes de compactación establecido, se libera el molde de la sujeción y se remueve el collarín; se invierte el molde conteniendo el espécimen y se ajusta sobre la placa de base, se vuelven a colocar el collarín y el dispositivo que sostiene el molde, en seguida se aplica en la otra cara del espécimen del mismo número de golpes que en la cara primeramente mencionada.

13) Se determina con el calibrador la altura del espécimen del molde, y se anota ésta en centímetros en la columna "q" de la hoja de registro, FIGURA No. 14. Si dicha altura no es



63±3 mm, la cantidad de mezcla empleada en la elaboración del siguiente espécimen deberá corregirse aplicando la siguiente fórmula:

$$P^e = \frac{63 P_e}{H_e}$$

En donde:

$P^e$  = es el peso corregido de la mezcla, para elaborar uno de los nuevos especímenes, en gramos.

$P_e$  = es el peso del espécimen elaborado, en gramos.

$H_e$  = es la altura del espécimen elaborado, en gramos.

- 14) Se separa el molde que contiene el espécimen, la placa de base y su collarín y se deja enfriar dicho espécimen en el molde, el tiempo necesario para que al ser extraído no sufra deformaciones, para lo cual se pone bajo un chorro de agua fría, por lo regular unos 2 minutos; a continuación, se saca cuidadosamente el espécimen del molde y se le coloca sobre una superficie plana y horizontal, en donde permanecerá en reposo a la temperatura ambiente, antes de ser probado, durante 24 horas aproximadamente, a partir de su elaboración.

- 15) Se moldean sucesivamente cada uno de los especímenes restantes del contenido de asfalto con que se inició la prueba, siguiendo los pasos descritos anteriormente, después, en la misma forma, los demás especímenes de cada uno de los contenidos de asfalto considerados en el estudio.
- 16) Transcurrido el periodo de enfriamiento, se obtiene su peso en aire, después, se funde parafina en un recipiente hasta quedar líquida, y se cubren los especímenes con ella; una vez cubiertas las pastillas con parafina se vuelven a pesar en aire y también sumergidas en agua, y por diferencia de pesos obtenemos los pesos volumétricos de ellas. Los datos obtenidos se anotan en la hoja de registro.
- 17) A continuación se sumergen todos los especímenes en el baño de agua, a una temperatura de sesenta más menos un grado centígrado ( $60 \pm 1^\circ \text{ C.}$ ) durante un lapso de 30 minutos, excepto en el caso de mezclas elaboradas con asfaltos rebajados o emulsiones, en que los especímenes, antes de ser probados, se colocan en un ambiente con aire a la temperatura de veinticinco más menos un grado centígrado ( $25 \pm 1^\circ \text{ C.}$ ), permaneciendo en

estas condiciones durante 2 horas. La determinación de estabilidad y flujo se iniciará a los treinta minutos de inmersión, para lo cual se van extrayendo sucesivamente los especímenes del baño, debiendo sacar y probar el último a los 42 minutos, de haber sido introducido en el baño.

18) Se lubrican las guías de los cabezales de prueba, se limpian sus superficies interiores y se mantienen estos a una temperatura de treinta y cinco más menos tres grados centígrados ( $35 \pm 3^\circ \text{C}$ ), en el caso de mezclas con cemento asfáltico y de veinticinco más menos tres grados centígrados ( $25 \pm 3^\circ \text{C}$ ), en el caso de mezclas con rebajados o emulsiones.

Se verifica que el extensómetro de anillo de carga instalado en una máquina de compresión marque cero (0) cuando no se está aplicando carga.

19) Se saca un espécimen del baño de agua y se le elimina la humedad superficial que presente, se coloca sobre el cabezal inferior y se centra en el mismo; se monta y coloca sobre el espécimen el cabezal superior y en esta forma se lleva el conjunto a la máquina de compresión Marshall, en donde se coloca y se centra. Se instala sobre la varilla guía el extensómetro para medir el

flujo, se ajusta a cero (0) su carátula y durante la aplicación de la carga se sujeta por el casquillo, oprimiendolo contra el cabezal.

20) Se aplica carga al espécimen a una velocidad de deformación constante, de 50.8 mm/minuto, hasta que se presenta la carga máxima o sea la necesaria para producir la falla del espécimen a la temperatura de prueba; dicha carga es el valor de estabilidad Marshall y se anotará en kilogramos en la columna "P" de la hoja de registro, FIGURA No. 14. como antes se indicó, mientras la carga se está aplicando se sostiene firmemente el extensómetro medidor de flujo sobre la varilla guía y al presentarse la carga máxima se toma la lectura correspondiente y se registra con aproximación de cero punto un milímetro (0.1 mm). La deformación del espécimen en milímetros es el valor del flujo, el cual se anota en la columna "V" de la hoja de registro. Todo el procedimiento para efectuar las pruebas de estabilidad y flujo del espécimen deberá completarse en un periodo de 30 segundos contados a partir del momento en que el espécimen se retire del baño.

21) Se determinan sucesivamente la estabilidad y flujo de cada uno de los especímenes restantes del

contenido de asfalto con que se inició la prueba, después, aplicando este mismo procedimiento, se determinan los valores correspondientes a los especímenes de cada uno de los demás contenidos de asfalto considerados en el estudio.

En esta prueba se calcula y reporta lo siguiente:

- 22) Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas considerados en el estudio, y los datos obtenidos se anotan en la columna "k" de la hoja de registro.
- 23) Se calculan los volúmenes en % total del cemento asfáltico y material pétreo y se anotan en las columnas "l" y "m" respectivamente.
- 24) Se calcula el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, que forma cada uno de los especímenes, y los datos obtenidos se anotan en la columna "n".
- 25) Se calcula el porcentaje de vacíos del material pétreo, (V.A.M.), de cada uno de los especímenes elaborados y los datos obtenidos se anotan en la columna "o" de la hoja de registro.

26) Se corrigen los valores de estabilidad de los especímenes que hayan resultado con una altura diferente de 63.5 mm, utilizando para ello los factores que correspondan de la tabla c, los datos corregidos se anotan en la columna "t" de la hoja de registro.

27) Se determina para cada serie de tres especímenes correspondientes a un mismo porcentaje, el peso volumétrico, el porcentaje de vacíos de la mezcla compactada, el porcentaje de vacíos del material pétreo, estabilidad y flujo, y se desechan los datos de aquellos especímenes que no cumplan con las siguientes tolerancias, respecto de los promedios correspondientes de cada serie:

- \_ Más menos cinco por ciento ( $\pm 5\%$ ) del contenido de asfalto.
- \_ Más menos dos por ciento ( $\pm 2\%$ ) del peso volumétrico.
- \_ Más menos diez por ciento ( $\pm 10\%$ ) de la estabilidad.
- \_ Más menos veinte por ciento ( $\pm 20\%$ ) del flujo.

28) Utilizando los promedios de los valores que no excedan las tolerancias indicadas, se dibujan los gráficos que a continuación se indican y se muestran en la FIGURA No. 15.

\_ Peso volumétrico - Proporción de asfalto

- \_ Por ciento de vacíos de la mezcla - Proporción de asfalto
- \_ Por ciento de vacíos del material pétreo - Proporción de asfalto.
- \_ Estabilidad - Proporción de asfalto
- \_ Flujo - Proporción de asfalto

29) De cada gráfica se define cuál es el contenido de asfalto que mejor satisface los requisitos de proyecto para cada una de las características que se graficaron y se promedian dichos contenidos, es decir:

$$\% \text{ Contenido óptimo de asfalto} = \frac{C1 + C2 + C3 + C4}{4}$$

Donde:

C1 = Contenido para el peso volumétrico máximo

C2 = Contenido para la máxima estabilidad

C3 = Contenido para el flujo de 4.5 mm

C4 = Contenido para la relación de vacíos de 5.5 %



PRUEBA MARSHALL

OPERADOR		MATERIAL		MATERIAL ASFALTICO <u>Cemento asfáltico No.8</u>										OBSERVACIONES:									
FECHA		TAMAÑO MAXIMO		AUTIVO EMPLEADO										COMPACTACION DINAMICA									
ENSAJE NÚM.	PRUEBA SUP.	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE MEZCLADO	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE MEZCLA	P. C. D. O.		VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )		PESO VOLUMENADO (N/m <sup>3</sup> )	DENSIDAD TEORICA MAXIMA	VOLUMENES % TOTAL			% VACIOS MAXIMA PIEDRA	ESTABILIDAD (Kg)			FLUJO EN (0.01')	FLUJO EN (mm)					
				ESPECIMEN + PARAFINA EN AREC.	ESPECIMEN + PARAFINA EN AREC.	ESPECIMEN + PARAFINA	ESPECIMEN + PARAFINA			PARAFINA	ESPECIMEN	CEMENTO ASFALTICO		MATERIAL PETREO	VACIOS	LECTURA INCRÓMETRO			ALTIMA ESPECIMEN (cm)	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA (Kg)		
		a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l	m	n	o	p	q	r	s	t	u	v
1		5.0	4.76	1005.4	985.8	460.8	19.6	544.6	23.06	521.54	1890	2201	9.27	76.6	14.13	23.4	195	6.35	1.0	1365	421	4.21	
2		5.0	4.76	996.4	983.9	459.3	12.5	537.1	14.71	522.39	1883	2201	9.24	76.31	14.45	23.69	213	6.30	1.01	1506	719	7.19	
3		5.0	4.76	995.1	980.2	459.3	14.9	535.8	17.53	518.27	1890	2201	9.27	76.60	14.13	23.40	257	6.30	1.01	1817	350	3.50	
4		6.0	5.66	1002.2	991.9	468.3	10.3	533.9	12.12	521.78	1901	2175	11.09	76.32	12.59	23.68	255	6.30	1.01	1803	420	4.20	
5		6.0	5.66	1016.1	1000.1	476.2	16.0	539.9	18.82	521.08	1919	2175	11.20	77.04	11.76	22.96	232	6.30	1.01	1640	381	3.81	
6		6.0	5.66	1018.9	1000.5	469.3	18.4	549.6	21.65	527.95	1895	2175	11.06	76.07	12.87	23.93	170	6.30	1.01	1202	385	3.85	
7		6.5	6.10	1020.3	1005.9	480.3	14.4	540.0	16.94	523.06	1923	2162	12.09	76.84	11.07	23.16	182	6.30	1.01	1287	557	5.57	
8		6.5	6.10	1016.6	1002.9	480.6	13.7	536.0	16.12	519.88	1929	2162	12.13	77.08	10.79	22.92	260	6.30	1.01	1838	450	4.50	
9		6.5	6.10	1011.6	1004.3	484.5	7.3	527.1	8.59	518.51	1937	2162	12.18	77.40	10.42	22.60	290	6.30	1.01	2050	440	4.40	
10		7.0	6.54	1021.3	1005.7	489.9	15.6	531.4	18.35	513.05	1960	2150	13.21	77.95	8.84	22.05	256	6.25	1.025	1837	495	4.95	
11		7.0	6.54	1031.8	1006.8	488.1	25.0	543.7	29.41	514.29	1958	2150	13.20	77.87	8.93	22.13	217	6.20	1.04	1580	670	6.7	
12		7.0	6.54	1024.6	1007.3	495.5	17.2	529.0	20.24	508.76	1980	2150	13.35	78.75	7.90	21.25	249	6.25	1.025	1787	435	4.35	
13		7.5	6.98	1026.3	1011.8	491.2	14.5	535.1	17.06	518.04	1953	2138	14.05	77.31	8.64	22.69	239	6.35	1.0	1673	455	4.55	
14		7.5	6.98	1031.9	1015.0	491.8	16.9	540.1	19.88	520.22	1951	2138	14.04	77.23	8.73	22.77	232	6.30	1.01	1640	585	5.85	
15		7.5	6.98	1041.7	1013.8	494.8	27.9	546.9	32.82	514.08	1972	2138	14.19	78.06	7.75	21.94	217	6.25	1.025	1557	635	6.35	
16		8.0	7.41	1030.3	1016.2	492.1	14.1	538.2	16.59	521.61	1948	2126	14.88	76.75	8.37	23.25	198	6.35	1.0	1386	640	6.40	
17		8.0	7.41	1028.8	1014.3	493.2	14.5	535.6	17.06	518.54	1956	2126	14.94	77.07	7.99	22.93	179	6.35	1.0	1253	676	6.76	
18		8.0	7.41	1035.8	1017.1	492.4	18.7	543.4	22.0	521.4	1951	2126	14.90	76.87	8.23	23.13	186	6.35	1.0	1302	655	6.55	

f = CONSTANTE DE ANILLO = 7  
 Ψ = DENSIDAD MAXIMA TEORICA =  $\frac{100}{\frac{\% C.A.}{D.C.A.} + \frac{\% M.P.}{D.M.P.}}$

DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (D.C.A.) = 0.97  
 DENSIDAD MATERIAL PETREO (D.M.P.) = 2.35  
 DENSIDAD PARAFINA (D.P.) = 0.85

OBSERVACIONES:

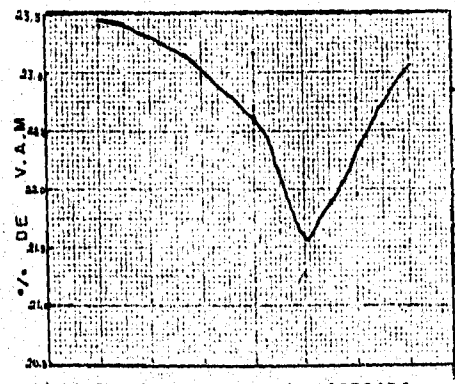
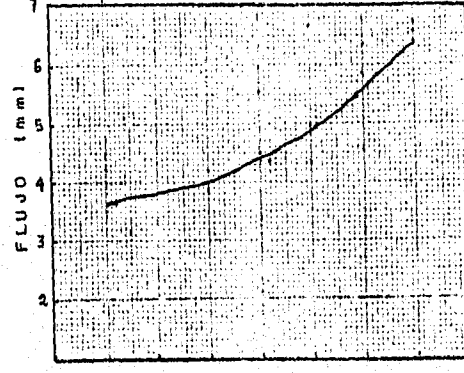
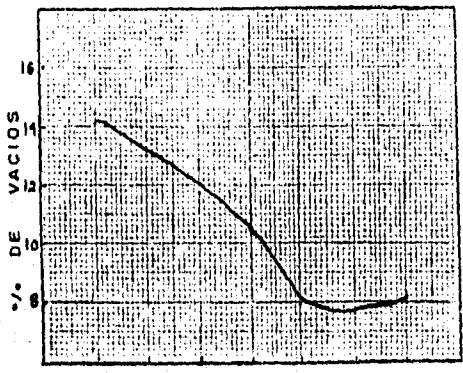
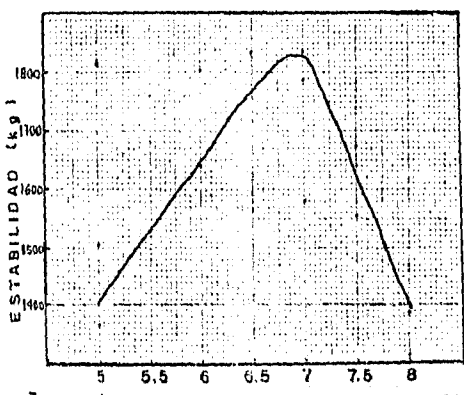
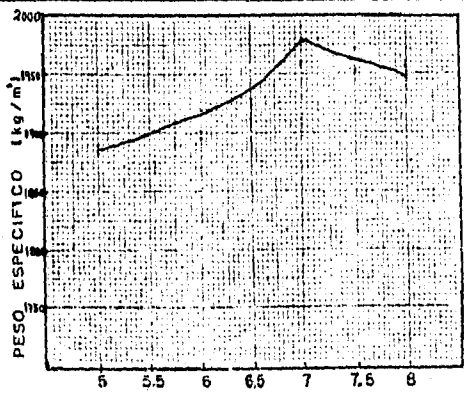
FIG. 14





## PRUEBA MARSHALL

ESTUDIO POR EFECTUAR Prueba Marshall FECHA DE INICIACION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION ENEP "ARAGON" FECHA DE TERMINACION \_\_\_\_\_  
 TIPO DE COMPACTACION Dinámica ENSAYE N° 1



%C.A EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
CONTENIDO OPTIMO DE C.A. (%)	6.8	
PESO ESPECIFICO (Kg/m³)	1960	
VACIOS (%)	9.0	
V. A. M. (%)	21.9	
ESTABILIDAD (Kg)	1810	
FLUJO (mm)	4.6	
ESPECIMEN COMPACTADO CON <u>50</u> GOLPES DEL PISON POR CARA A LA TEMPERATURA DE _____		

%C.A EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

EL LABORATORISTA _____	EL JEFE DEL LABORATORIO _____	Vo. 8a
FIG. 15		

METODO MARSHALL SUSTITUYENDO LA COMPACTACION DINAMICA POR UNA  
CARGA ESTATICA

Después de haber elaborado 18 pastillas con carga dinámica o por impactos, procedimos a reproducir el gemelo de cada pastilla tomando como base las mismas cantidades de agregado pétreo y el mismo contenido de asfalto de cada una de ellas.

Para la elaboración de pastillas con carga dinámica empleamos los mismos pasos y equipo que se siguieron en el método Marshall con carga por impactos desde el paso número 1 hasta el punto número 10.

A partir de este paso número 10 enumeraremos los que siguen en el método Marshall sustituyendo los impactos por una carga estática.

11) A continuación se coloca el molde sin su collarín en la plancha de la máquina universal, la cual previamente fue ajustada a cero en su carátula donde nos marca la carga, y fue verificada que su presión de aire y aceite sean los correctos.

11.a) Después de haber realizado lo anterior se procede a igualar la altura de la pastilla que fue elegida para reproducirse; al tratar de darle la misma altura se está reproduciendo el

mismo peso volumétrico ya que se está manejando el mismo contenido de agregado pétreo y asfalto y la misma altura.

Para lograr esta misma altura se marca en una regla lo que resulte de restar a la altura del molde la altura de la pastilla que estamos reproduciendo.

Después de haber obtenido la altura que queremos darle a nuestra pastilla procedemos a reproducirla para lograr esto introducimos en el molde que ya contiene nuestro material una rondana ciega de 10 cms. de diámetro con una altura de 100 mm. y sobre de esta colocamos un perno de 30 mm. de diámetro con una altura de 15 cm., este perno se coloca procurando que quede lo más vertical y centrado con respecto a las paredes del molde.

Una vez hecho lo anterior se procede a aplicar la carga con la máquina universal; para esto se necesita el auxilio de un técnico que nos controle el manejo de la máquina, mientras que una persona sujeta al perno para que no se vaya de lado, el técnico aplica la carga, cuando la persona que este sujetando el molde se de cuenta que la altura de la pastilla ya fue alcanzada deberá informar inmediatamente al operador esa misma carga para que suspenda la aplicación de

carga y sostenga esa misma carga por espacio de 2 minutos.

11.b) Después de haber pasado los 2 minutos se anota el valor de la carga que fue alcanzado, se libera a la pastilla de la carga.

11.c) Una vez liberado el molde se coloca bajo el chorro de agua por espacio de 2 minutos, a continuación, se saca cuidadosamente el espécimen del molde y se le coloca sobre una superficie plana y horizontal en donde permanecerá en reposo a la temperatura ambiente antes de ser probada, durante 24 horas a partir de su elaboración, se realizaran así los mismos pasos para reproducir las 17 pastillas restantes.

11.d) Una vez igualados los pesos volumétricos de cada una de las pastillas se continua con el paso número 16 en adelante del método Marshall con carga por impactos descrito en el tema anterior.



### PRUEBA MARSHALL

OPERADOR _____		MATERIAL _____		MATERIAL ASFALTICO <u>Cemento asfáltico No.8</u>										OBSERVACIONES:								
FECHA _____		TAMAÑO MÁXIMO _____		ADITIVO EMPLEADO _____										C COMPACTACION ESTATICA								
ENSAJE NUM.	PROBETA NUM.	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE AGREGADO	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE MEZCLA	P E S O (g)			VOLUMEN (cm <sup>3</sup> )				DENSIDAD TEORICA MATERIA	DENSIDAD VOLUMENICA (kg/m <sup>3</sup> )	VOLUMENES % TOTAL			% VACIOS MATERIA PETRO	ESTABILIDAD (kg)					
				ESPECIMEN + PARAFINA EN ANEJ	ESPECIMEN + PARAFINA EN ANEJ	ESPECIMEN + PARAFINA EN ANEJ	PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	PARAFINA	ESPECIMEN			DENSIDAD ASFALTICO	MATERIAL PETRICO	VACIOS		LECTURA MACROMETRO	ALTURA ESPECIMEN (cm)	FACTOR DE CORRECCION	ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)	FLUJO EN (0.01°)	FLUJO EN (mm)
1		5.0	4.76	1000.2	984.6	463.7	15.6	536.5	18.35	518.1	1900	2201	9.32	77.0	13.68	23.0	182	6.35	1	1274	760	7.6
2		5.0	4.76	1003.1	984.5	459.7	18.6	543.4	21.88	521.52	1888	2201	9.26	76.52	14.22	23.48	169	6.30	1.01	1195	550	5.5
3		5.0	4.76	994.9	983.0	455.4	11.9	539.5	14.0	525.5	1871	2201	9.18	75.83	14.99	24.17	180	6.30	1.01	1273	500	5.0
4		6.0	5.66	1013.7	996.3	467.7	17.4	546.0	20.47	525.53	1896	2175	11.06	76.11	12.83	23.89	148	6.30	1.01	1046	400	4.0
5		6.0	5.66	1020.5	999.5	462.7	21.0	557.8	24.71	533.09	1875	2175	10.94	75.27	13.79	24.73	150	6.30	1.01	1060	650	6.5
6		6.0	5.66	1031.9	1010.7	465.1	21.2	566.8	24.94	541.86	1865	2175	10.88	74.87	14.25	25.13	161	6.30	1.01	1138	510	5.1
7		6.5	6.10	1010.4	1006.7	510.0	3.7	500.4	4.35	496.05	2029	2162	12.76	81.07	6.17	18.93	166	6.30	1.01	1174	520	5.2
8		6.5	6.10	1010.0	1003.0	507.6	7.0	502.4	8.24	494.16	2030	2162	12.77	81.11	6.12	18.89	191	6.30	1.01	1350	410	4.1
9		6.5	6.10	1013.7	1004.0	511.5	9.4	502.2	11.06	491.14	2044	2162	12.85	81.67	5.48	18.33	199	6.30	1.01	1407	420	4.2
10		7.0	6.54	1019.1	1006.2	515.5	12.9	503.6	15.18	488.42	2060	2150	13.89	81.93	4.18	18.07	246	6.25	1.025	1765	480	4.8
11		7.0	6.54	1006.9	994.2	506.4	12.7	500.5	14.94	485.56	2048	2150	13.81	81.45	4.74	18.55	171	6.20	1.04	1245	430	4.3
12		7.0	6.54	1018.6	1005.6	518.3	13.0	500.3	15.29	485.01	2073	2150	13.98	82.44	3.58	17.56	180	6.25	1.025	1291	500	5.0
13		7.5	6.98	1020.5	1007.1	503.2	13.4	517.3	15.76	501.54	2008	2138	14.45	79.48	6.07	20.52	232	6.35	1	1624	540	5.4
14		7.5	6.98	1037.7	1015.4	495.2	22.3	542.5	26.24	516.26	1967	2138	14.15	77.86	7.99	22.14	183	6.30	1.01	1294	510	5.1
15		7.5	6.98	1028.4	1019.1	500.5	9.3	527.9	10.94	516.96	1971	2138	14.18	78.02	7.80	21.98	227	6.25	1.025	1629	730	7.3
16		8.0	7.41	1027.5	1011.3	475.5	16.2	532.0	19.06	532.94	1898	2126	14.50	74.78	10.72	25.22	168	6.30	1.01	1188	670	6.7
17		8.0	7.41	1035.2	1017.5	481.6	17.7	553.6	20.82	532.78	1910	2126	14.59	75.25	10.16	24.75	175	6.35	1	1225	710	7.1
18		8.0	7.41	1031.3	1013.4	480.2	17.9	551.1	21.06	530.04	1912	2126	14.61	75.33	10.05	24.67	181	6.30	1.01	1290	690	6.9

f = CONSTANTE DE ANILLO = 7  
 \* = DENSIDAD MAXIMA TEORICA =  $\frac{100}{\frac{\% C.A.}{D.C.A.} + \frac{\% M.P.}{D.M.P.}}$

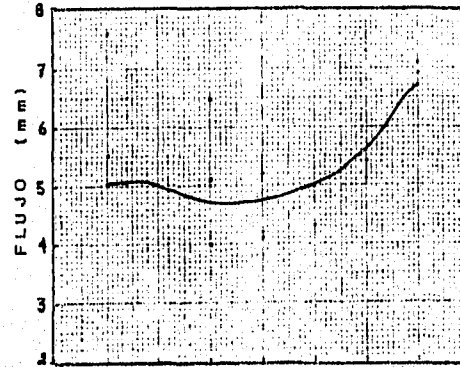
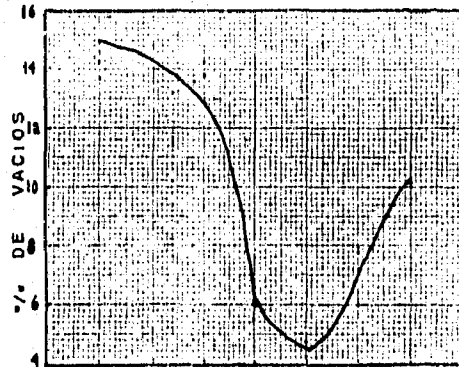
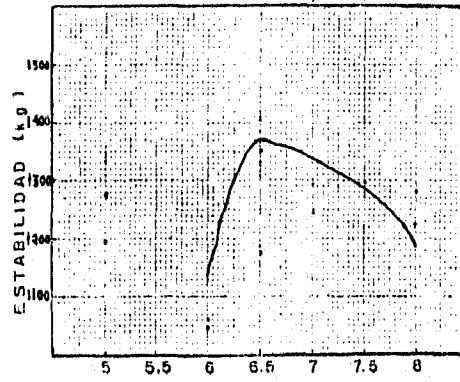
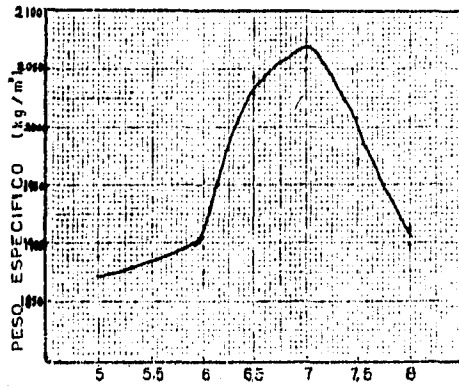
DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (D.C.A.) = 0.97  
 DENSIDAD MATERIAL PETRO (D.M.P.) = 2.35  
 DENSIDAD PARAFINA (D.P.) = 0.85

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

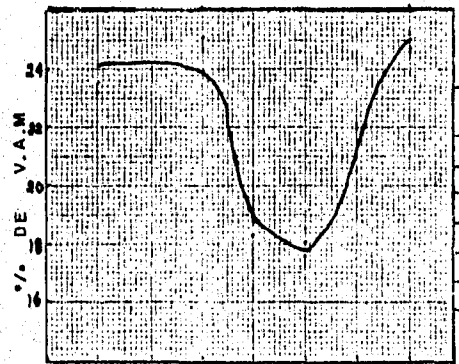


## PRUEBA MARSHALL

ESTUDIO POR EFECTUAR	Prueba Marshall	FECHA DE INICIACION
LOCALIZACION	ENEP "ARAGON"	FECHA DE TERMINACION
TIPO DE COMPACTACION	Estática	ENSAYE N° 1



%.C.A EN PESO RESPECTO AL AGREGADO



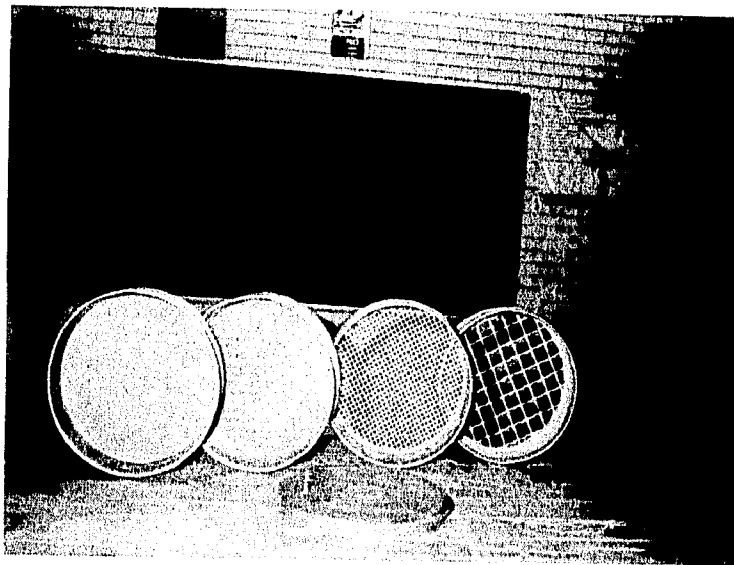
CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
CONTENIDO OPTIMO DE C.A (%)	6.7	
PESO ESPECIFICO (Kg/m³)	2052	
VACIOS (%)	5.2	
V. A. M (%)	18.3	
ESTABILIDAD (Kg)	1360	
FLUJO (mm)	4.8	
ESPECIMEN COMPACTADO CON GOLPES DEL PISON POR CARA A LA TEMPERATURA DE _____		

%.C.A EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

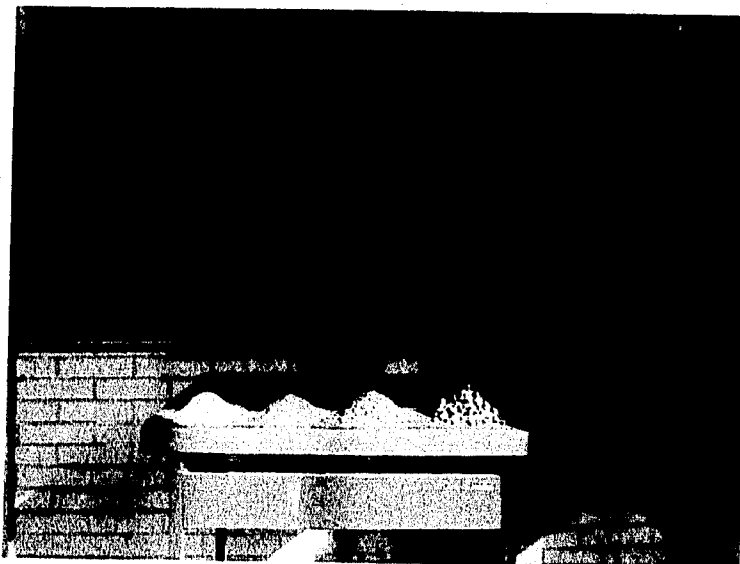
EL LABORATORISTA	EL JEFE DEL LABORATORIO	Vº. Bº
------------------	-------------------------	--------

**SECUENCIA FOTOGRAFICA DE LA PRUEBA**

**MARSHALL**

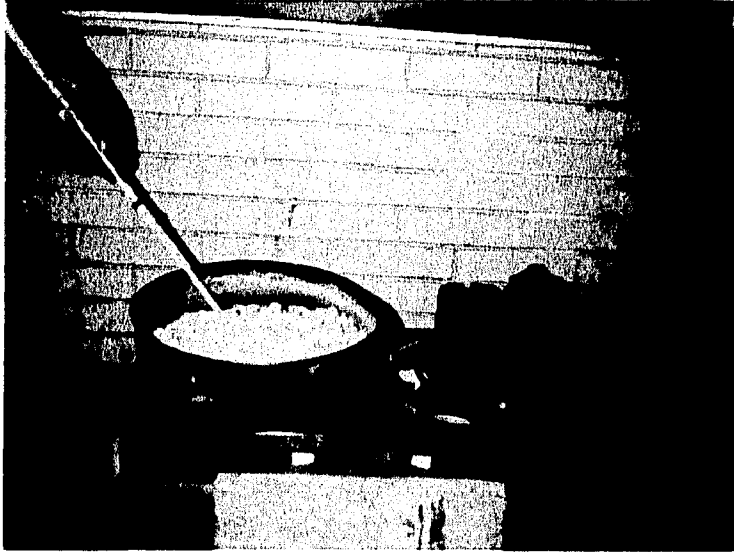


Se seleccionara la granulometria del material pétreo con las mallas de 3/4", No. 4, No. 10, No. 40.

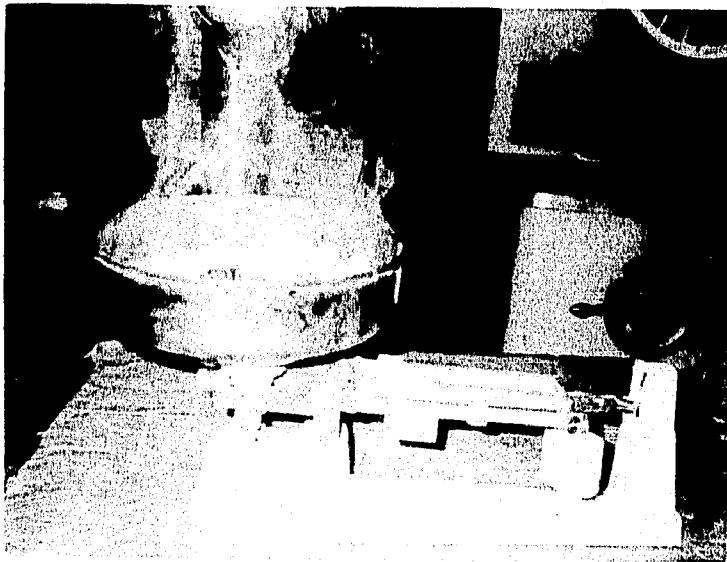


Se toma el 45% que pasa la malla de 3/4" y se retiene en la No. 4, el 15% que pasa la No. 4 y se retiene en la No. 10, el 20% que pasa la No. 10 y se retiene en la No. 40, el 20% restante que pase la No. 40.

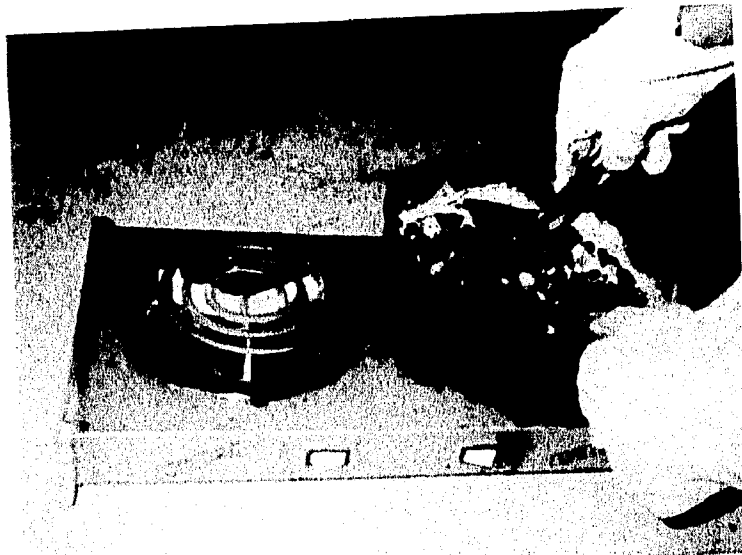




Se calienta el asfalto y el material pétreo hasta las temperaturas indicadas



Se vacia el % de asfalto por peso de agregado correspondiente



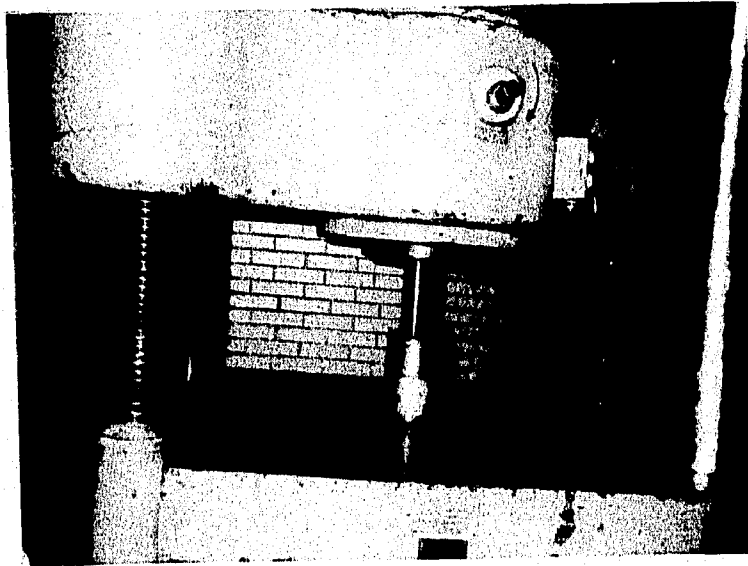
Revoltura del asfalto con el material pétreo, hasta que todas las partículas del pétreo se hayan cubierto con el asfalto.



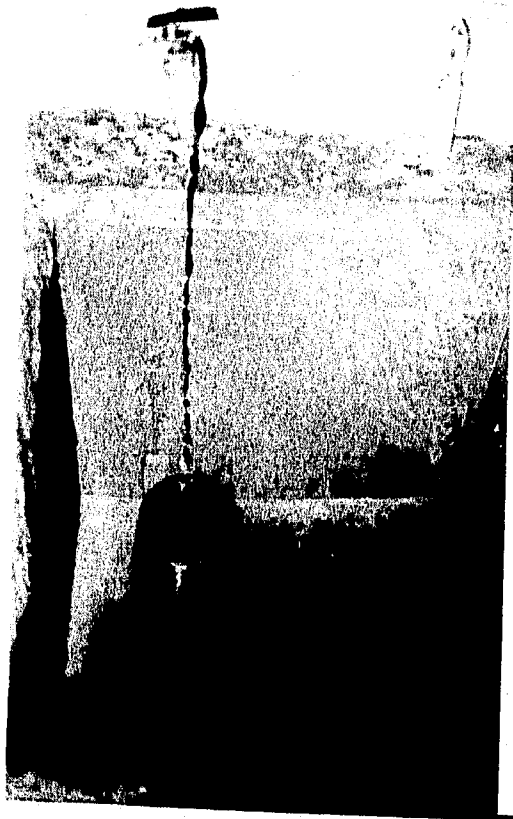
Vaciado de la mezcla asfáltica en el molde de compactación, el vaciado se hace en 3 capas apisonando cada una con 15 golpes de la varilla punta de bala



Compactación por  
impactos tradicional



Compactación estática con una  
máquina universal



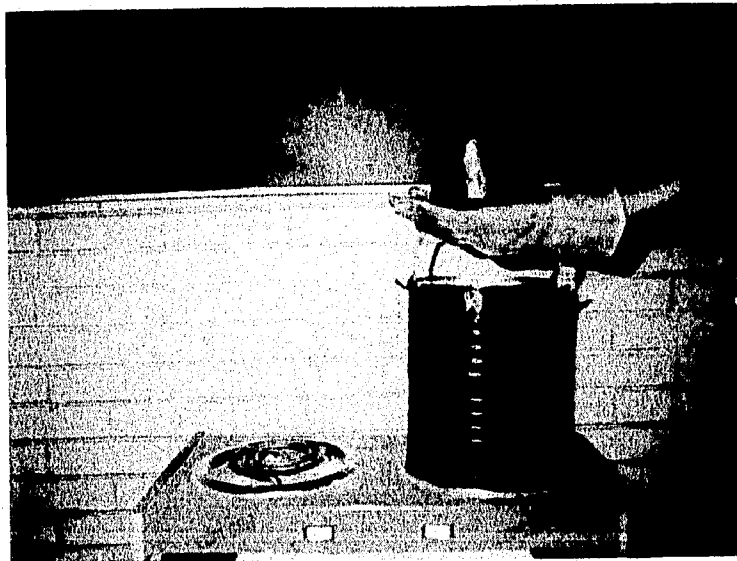
Después de la compactación, el  
especimen se deja enfriar durante  
2 minutos en un chorro de agua

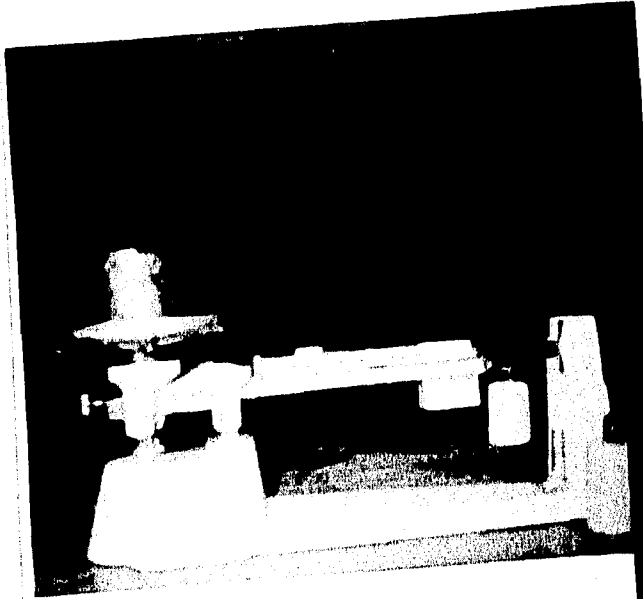
18 especímenes elaborados con  
carga dinámica y 18 con carga estática,  
3 por cada % de asfalto



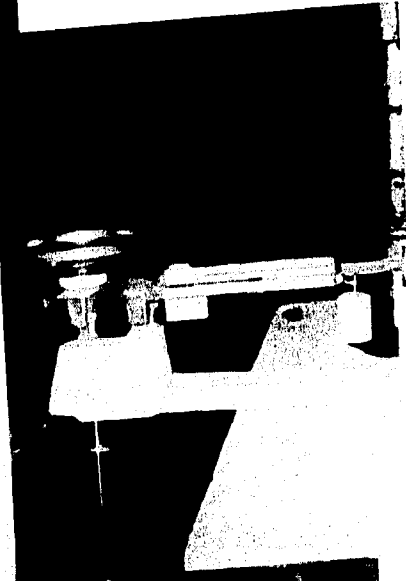


El método de la parafina, consistente en el cubrimiento de los especímenes con parafina derretida



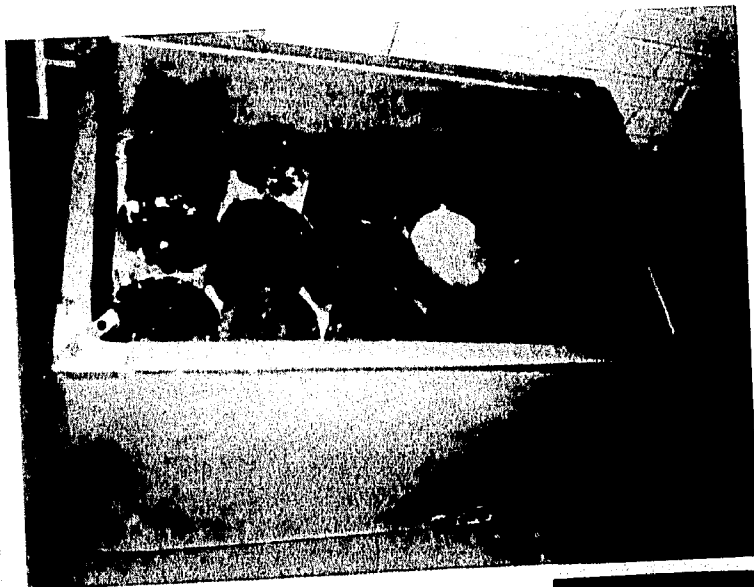


Los especimenes se pesan  
primeramente en el aire sin  
parafina y después con parafina



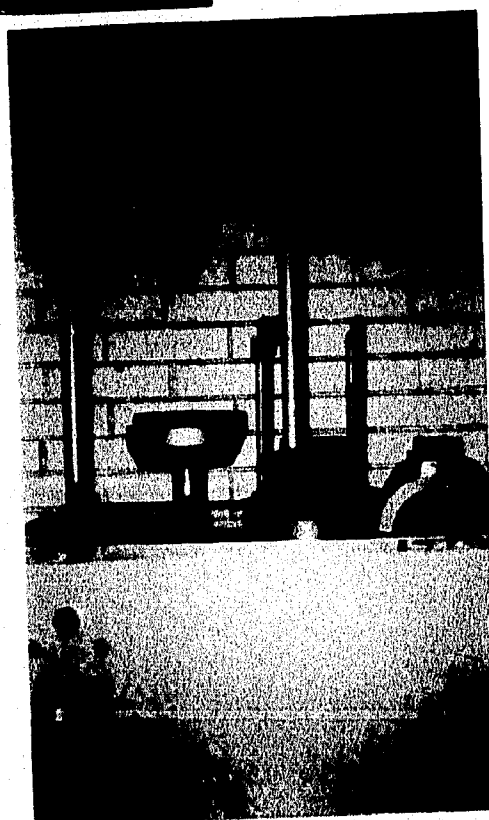
Los especimenes se pesan en agua,  
para que por diferencias de pesos se  
obtenga su peso volumetrico





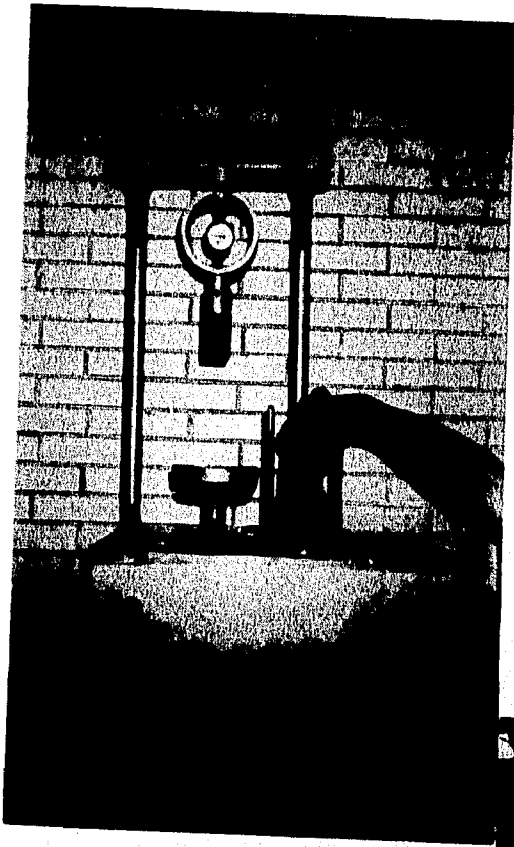
Antes de probarse los  
especimenes se meten a  
un baño maria durante  
30 minutos a una  
temperatura de 60°C

Prensa Marshall con el cabezal para  
probar especimenes

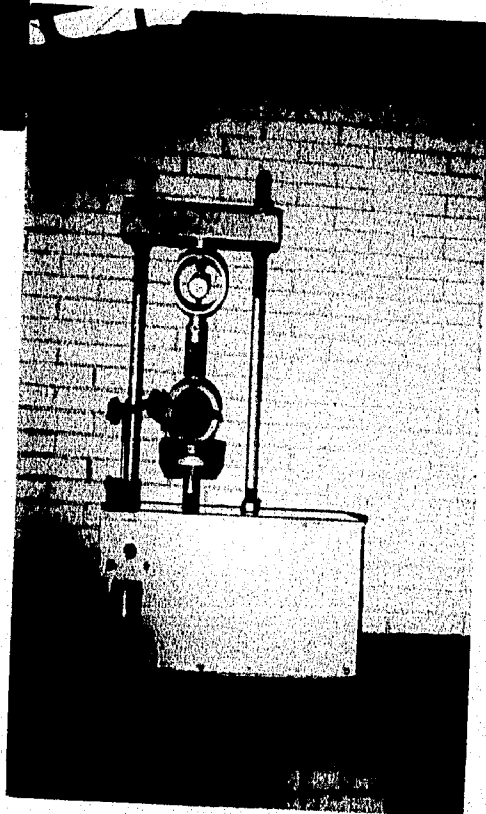


ESTA TESIS NO DEBE  
SALIR DE LA BIBLIOTECA

Colocación del espécimen sobre  
el cabezal de prueba

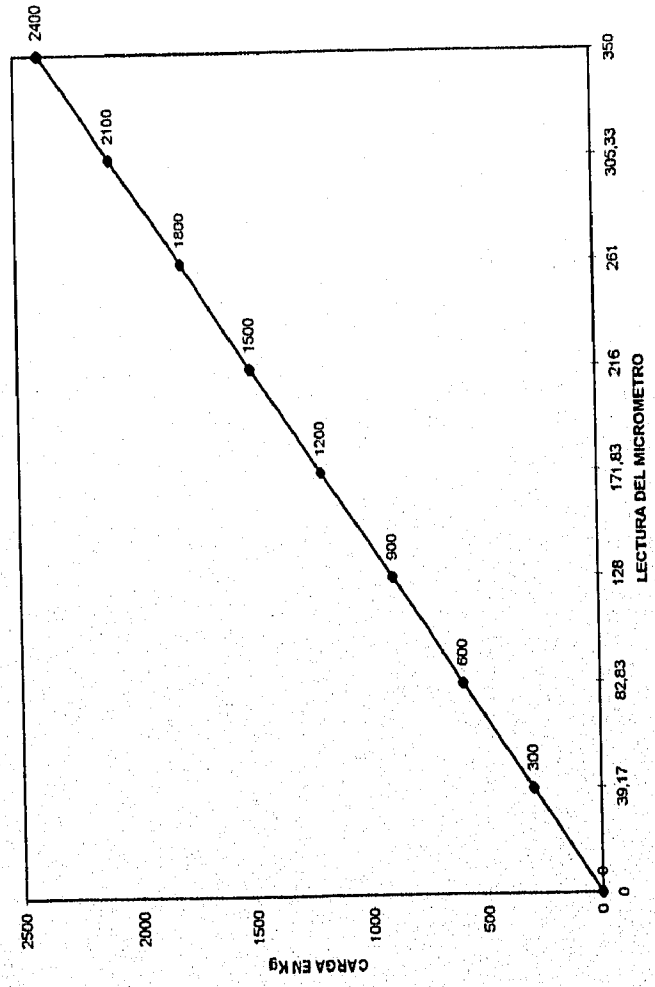


Los especímenes se someten a prueba  
en la prensa Marshall y se toman las  
lecturas de carga y deformación





### CALIBRACION DE LA PRENSA MARSHALL



PRESA MARSHALL

PASTILLAS COMPACTADAS  
CON CARGA ESTATICA

PASTILLAS COMPACTADAS  
CON CARGA DINAMICA

% C.A	LECTURA MICROMETRO	CARGA APLICADA EN Kg	% C.A	LECTURA MICROMETRO	CARGA APLICADA EN Kg
5	182	1260	5	195	1350
5	169	1180	5	213	1475
5	180	1250	5	257	1770
6.0	148	1040	6.0	255	1760
6.0	150	1050	6.0	232	1600
6.0	161	1125	6.0	170	1190
6.5	166	1160	6.5	182	1260
6.5	191	1330	6.5	260	1790
6.5	199	1380	6.5	290	2000
7.0	246	1700	7.0	256	1765
7.0	171	1200	7.0	217	1500
7.0	180	1250	7.0	249	1725
7.5	232	1600	7.5	239	1650
7.5	183	1270	7.5	232	1600
7.5	227	1570	7.5	212	1500
8.0	168	1170	8.0	198	1375
8.0	175	1220	8.0	179	1248
8.0	181	1260	8.0	186	1290

## METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

El problema del ajuste de una curva a un conjunto de puntos admite dos interpretaciones ligeramente distintas. Una de ellas consiste en buscar la ecuación de una curva de un tipo determinado que pase exactamente por cada punto del conjunto dado. En el caso de una curva cuya ecuación sea un polinomio, la manera más sencilla de hacerlo es mediante fórmulas de interpolación.

La otra supone unas condiciones menos rígidas y consiste en buscar alguna curva más sencilla cuya ecuación contenga un número reducido de parámetros de modo que sin pasar exactamente por cada punto dado, se "aproxime lo más posible" a ellos. Por ejemplo, dado un conjunto de puntos como en FIGURA A, una recta que pase tan cerca como sea posible a cada punto puede ser más útil que alguna curva complicada que pasa exactamente por cada uno de ellos. Evidentemente, este será el caso con aquellos datos experimentales que, teóricamente, deben quedar a lo largo de una recta, pero que no sucede así debido a errores de observación. Para la mayor parte de los casos que se presentan, la medida necesaria de "tan cerca como sea posible" la proporciona el criterio de los mínimos cuadrados, y el proceso de aplicar este criterio se conoce como método de los mínimos cuadrados y se desarrollará a continuación.

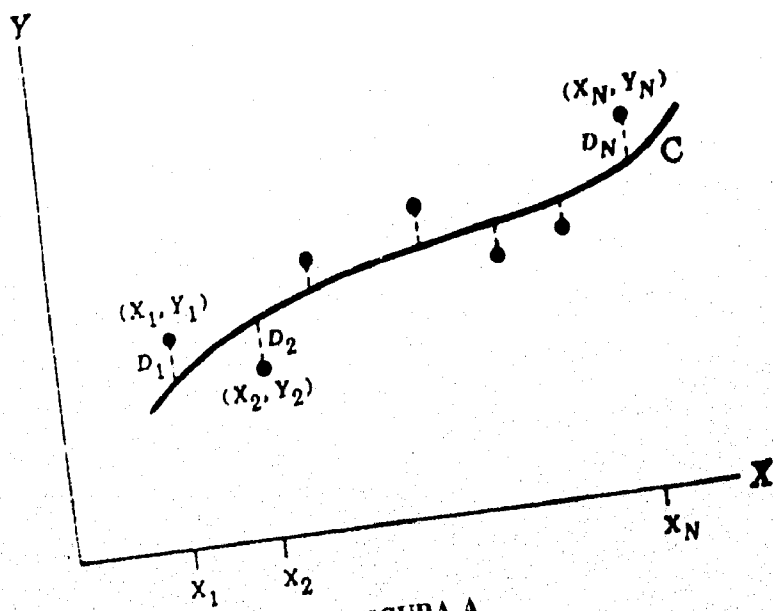


FIGURA A

ANALISIS DE REGRESION LINEAL  
 POR EL METODO DE LOS MINIMOS CUADRADOS

Se desea obtener el coeficiente de correlación para pesos  
 volumétricos de pastillas compactadas a 50 golpes y pastillas  
 compactadas por medio de carga estática.

No. DE PASTILLA	PESO VOLUMETRICO MARSHALL (KM/M3)	PESO VOLUMETRICO POR COMPACTACION ESTATICA (KM/M3)
1	1890	1900
2	1883	1888
3	1890	1871
4	1901	1896
5	1919	1875
6	1895	1865
7	1923	2029
8	1929	2030
9	1937	2044
10	1960	2060
11	1958	2048
12	1980	2073
13	1953	2008
14	1951	1967
15	1972	1971
16	1948	1898
17	1956	1910
18	1951	1912

A los valores de la prueba Marshall se les asigna X y a los obtenidos por compactación estática Y, y se obtienen los siguientes valores:  $\sum x$ ,  $\sum y$ ,  $\sum xy$ ,  $\sum x^2$ ,  $\sum y^2$ , N es el número de ensayos.

N	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	1890	1900	3591000	3572100	3610000
2	1883	1888	3555104	3545569	3564544
3	1890	1871	35366190	3572100	3500641
4	1901	1896	3604296	3613801	3594816
5	1919	1875	3598125	3682561	3515625
6	1895	1865	3534175	3591025	3478225
7	1923	2029	3901767	3697929	4116841
8	1929	2030	3915870	3721041	4120900
9	1937	2044	3959228	3751969	4177936
10	1960	2060	4037600	3841600	4243600
11	1958	2048	4009984	3836764	4194304
12	1980	2073	4104540	3920400	4297329
13	1953	2008	3921624	3814209	4032064
14	1951	1967	3837617	3806401	3869089
15	1972	1971	3886812	3888784	3884841
16	1948	1898	3697304	3794704	3602404
17	1956	1910	3735960	3825936	3648100
18	1951	1912	3730312	3806401	3655744
$\Sigma =$	34796	35245	68157508	67280414	69107003

El coeficiente de correlación (r) lo obtendremos de la siguiente fórmula:

$$r = \frac{\frac{\sum x y}{N} - \frac{\sum x \sum y}{N^2}}{\sigma_x \sigma_y} \dots\dots\dots 1$$

Donde:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum x^2}{N} - \frac{(\sum x)^2}{N^2}} \dots\dots\dots 2$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum y^2}{N} - \frac{(\sum y)^2}{N^2}} \dots\dots\dots 3$$

Sustituyendo valores en las ecuaciones anteriores tenemos:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{67280414}{18} - \frac{(34796)^2}{324}} = 29.70$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{69107003}{18} - \frac{(35245)^2}{324}} = 72.78$$

Coefficiente de correlación (r)

$$r = \frac{\frac{68157508}{18} - (34796)(35245)}{(29.70)(72.28)}$$

\* Cuando el coeficiente de correlación (r) se acerca más a la unidad (1) nos indica que la correlación entre los valores es mayor.

La ecuación de la línea recta de regresión se obtiene con la siguiente ecuación:

$$Y = mx + b$$

Donde:

$$m = \frac{N\sum xy - \sum x \sum y}{N\sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots 4$$

$$b = \frac{\sum y \sum x^2 - \sum x \sum xy}{N\sum x^2 - (\sum x)^2} \dots\dots\dots 5$$



Sustituyendo valores en las ecuaciones anteriores tenemos:

$$m = \frac{(18) (68157508) - (34796) (35245)}{(18) (68157508) - (34796)^2}$$

$$m = 1.575$$

$$b = \frac{(35249) (6728044) - (34796) (68157508)}{(18) (672800414) - (34796)^2}$$

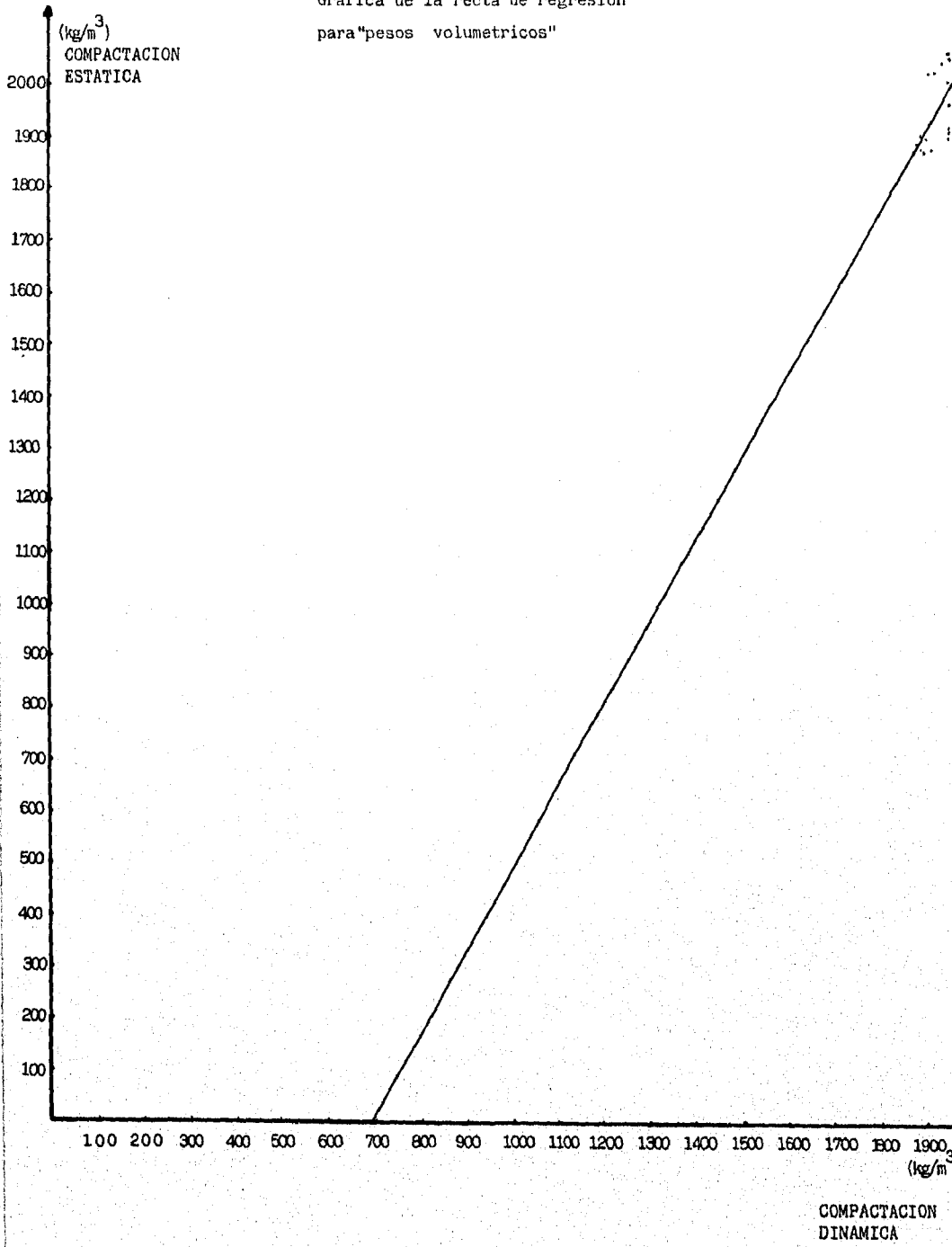
$$b = -1086.13$$

Así obtenemos "m" que es la pendiente de la recta y "b" que es el punto donde la recta intersecta el eje de las ordenadas cuando  $X = 0$  y tenemos la ecuación:

$$Y = 1.575 X - 1086.13$$

Ecuación de la recta de regresión para pesos volumétricos.

Gráfica de la recta de regresión  
para "pesos volumetricos"



Se desea obtener el coeficiente de correlación para la estabilidad de pastillas Marshall compactadas a 50 golpes y pastillas compactadas por medio de carga estática.

No. DE PASTILLA	ESTABILIDAD DE MARSHALL (KG/M3)	ESTABILIDAD EN COMPACTACION ESTATICA (KG/M3)
1	1365	1274
2	1506	1195
3	1817	1273
4	1803	1046
5	1640	1060
6	1202	1138
7	1287	1174
8	1838	1350
9	2050	1407
10	1837	1765
11	1580	1245
12	1787	1291
13	1673	1624
14	1640	1294
15	1557	1629
16	1380	1188
17	1253	1225
18	1302	1280

Los valores obtenidos de la prueba Marshall se les asigna X y a los valores por compactación Y, y se obtiene los siguientes valores:  $\Sigma X$ ,  $\Sigma Y$ ,  $\Sigma XY$ ,  $\Sigma X^2$ ,  $\Sigma Y^2$ , N es el número de ensayos.

N	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	1365	1274	1739010	1863225	1623076
2	1506	1195	1799670	2268036	1428025
3	1817	1273	2313041	3301489	1620529
4	1803	1046	1885938	3250809	1094116
5	1640	1060	1738400	2689600	1123600
6	1202	1138	1367876	1444804	1295044
7	1287	1174	1510938	1656369	1378276
8	1838	1350	2481300	3378244	1822500
9	2050	1407	2884350	4202500	1979649
10	1837	1765	3242305	3374569	3115225
11	1580	1245	1967100	2496400	1550025
12	1787	1291	2307017	3193369	1666681
13	1673	1624	2716952	2798929	2637376
14	1640	1294	2122160	2689600	1674436
15	1557	1629	2536353	2424249	2653641
16	1380	1188	1646568	1920996	1411344
17	1253	1225	1534925	1570009	1500625
18	1302	1280	1666560	1695204	1638400
$\Sigma =$	28523	23458	37460463	46218401	31212568

Coefficiente de correlación (r) de las ecuaciones 1, 2 y 3  
tenemos:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{46218401}{18} - \frac{(28523)^2}{324}} = 238.11$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{31212568}{18} - \frac{(23458)^2}{324}} = 188.79$$

$$r = \frac{\frac{37460463}{18} - \frac{(28523)(23458)}{324}}{(238.11)(188.79)} = 0.356$$

De las ecuaciones 4 y 5 obtenemos m y b para obtener la ecuación de la recta para la estabilidad.

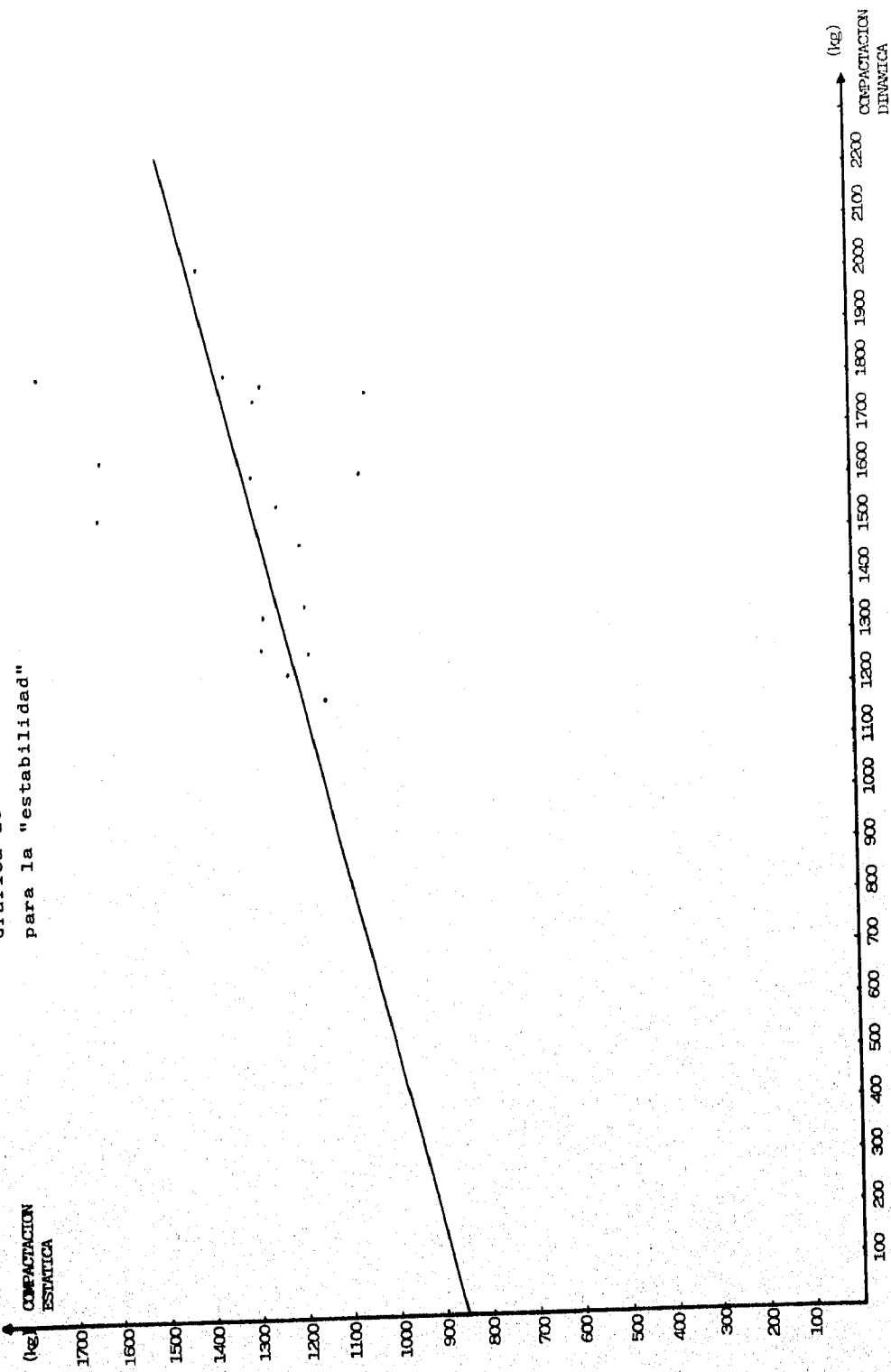
$$m = \frac{(18)(37460463) - (28523)(23458)}{(18)(37460463) - (28523)^2} = 0.2828$$

$$b = \frac{(23458)(46218401) - (28523)(37460463)}{(18)(46218401) - (28523)^2} = 855.02$$

Así obtenemos la ecuación de la recta de regresión para la estabilidad.

$$Y = 0.2828 x + 855.02$$

Gráfica de la recta de regresión  
para la "estabilidad"



Se desea obtener el coeficiente de correlación para el flujo de pastillas Marshall compactadas a 50 golpes y pastillas compactadas por medio de carga estática.

No. DE PASTILLA	FLUJO EN MARSHALL	FLUJO EN COMPACTACION ESTATICA
1	4.21	7.60
2	7.19	5.50
3	3.5	5.00
4	4.2	4.00
5	3.81	6.50
6	3.85	5.10
7	5.57	5.20
8	4.5	4.10
9	4.4	4.20
10	4.95	4.80
11	6.7	4.30
12	4.35	5.0
13	4.55	5.40
14	5.85	5.10
15	6.35	7.30
16	6.4	6.70
17	6.76	7.10
18	6.55	6.90

A los valores de la prueba Marshall se les asigna X y a los obtenidos por compactación estática Y, y se obtienen los siguientes valores:  $\Sigma x$ ,  $\Sigma y$ ,  $\Sigma xy$ ,  $\Sigma x^2$ ,  $\Sigma y^2$ , N es el número de ensayos.

N	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	4.21	7.60	31.996	17.7241	57.76
2	7.19	5.50	39.545	51.6961	30.25
3	3.5	5.00	17.50	12.25	25.0
4	4.2	4.00	16.80	17.64	16.0
5	3.81	6.50	24.765	14.5161	42.25
6	3.85	5.10	19.635	14.8225	26.01
7	5.57	5.20	28.964	31.0249	27.04
8	4.5	4.10	18.45	20.25	16.81
9	4.4	4.20	18.48	19.36	17.64
10	4.95	4.80	23.76	24.5025	23.04
11	6.7	4.30	28.81	44.89	18.49
12	4.35	5.0	21.75	18.9225	25
13	4.55	5.40	24.57	20.7025	29.16
14	5.85	5.10	29.835	34.2225	26.01
15	6.35	7.30	46.355	40.3225	53.29
16	6.4	6.70	42.88	40.96	44.89
17	6.76	7.10	47.996	45.6976	50.41
18	6.55	6.90	45.195	42.9025	47.01
$\Sigma =$	93.69	99.8	527.286	512.4063	576.66



Coefficiente de correlación (r) lo obtenemos de las ecuaciones 1, 2 y 3 y tenemos:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{512.4063}{18} - \frac{(93.69)^2}{324}} = 1.172$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{576.66}{18} - \frac{(99.80)^2}{324}} = 1.1383$$

$$r = \frac{\frac{527.286}{18} - \frac{(93.69)(99.8)}{324}}{(1.172)(1.1383)} = 0.3257$$

De las ecuaciones 4 y 5 obtenemos m y b para obtener la ecuación de la recta para el flujo

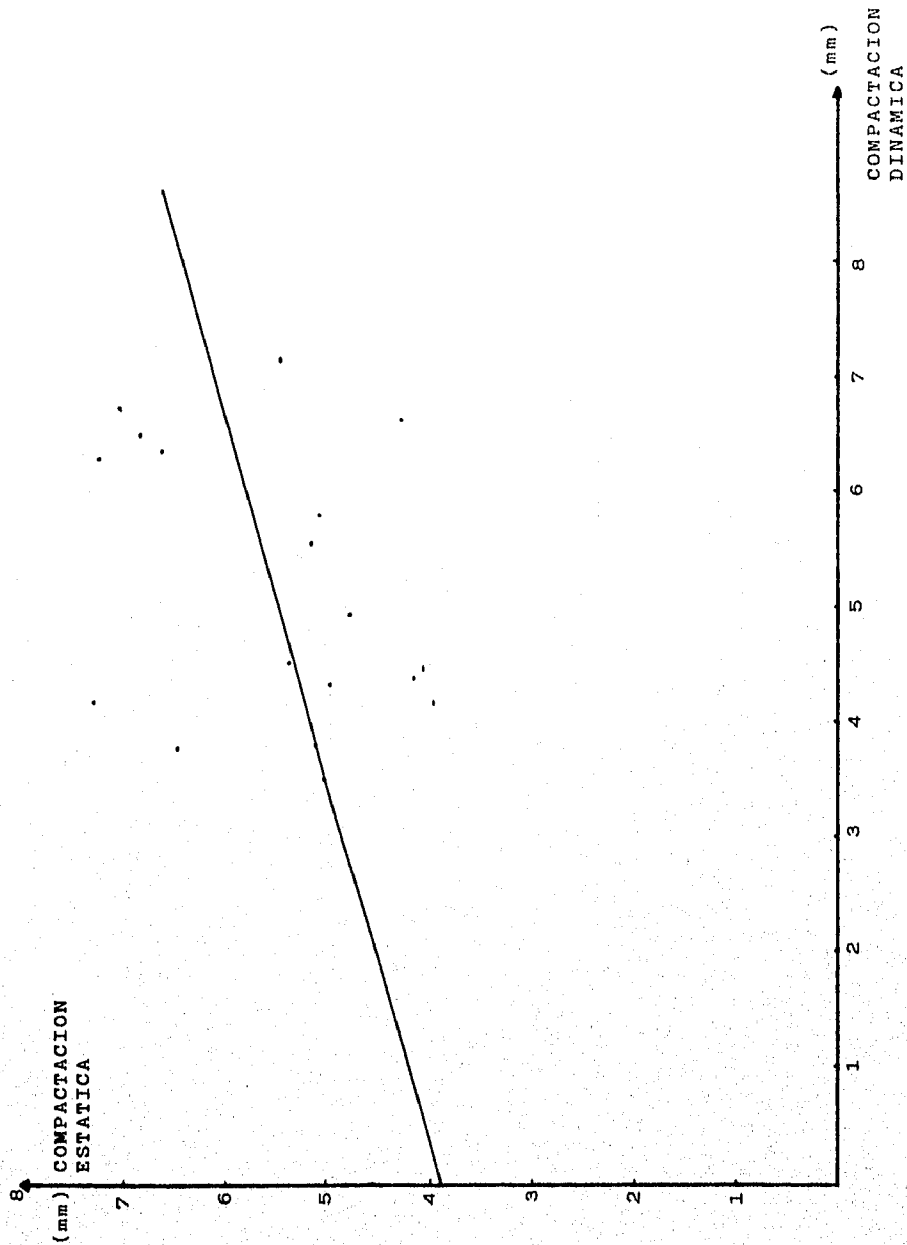
$$m = \frac{(18)(527.286) - (93.69)(99.8)}{(18)(512.4063) - (93.69)^2} = 0.3162$$

$$b = \frac{(99.8)(512.4063) - (93.69)(527.286)}{(18)(512.4063) - (93.69)^2} = 3.89$$

Así obtenemos la ecuación de la recta de regresión para el flujo.

$$Y = 0.3162 x + 3.89$$

Gráfica de la recta de regresión para el "flujo"



Se desea obtener el coeficiente de correlación para el % de vacíos de pastillas Marshall compactadas a 50 golpes y pastillas compactadas por medio de carga estática.

No. DE PASTILLA	% DE VACIOS MARSHALL	% DE VACIOS POR COMPACTACION ESTATICA
1	14.13	13.68
2	14.45	14.22
3	14.13	14.99
4	12.59	12.83
5	11.76	13.79
6	12.87	14.25
7	11.07	6.17
8	10.79	6.12
9	10.42	5.48
10	8.84	4.18
11	8.93	4.74
12	7.90	3.58
13	8.64	6.07
14	8.73	7.99
15	7.75	7.80
16	8.37	10.72
17	7.99	10.16
18	8.23	10.06

A los valores de la prueba Marshall se les asigna X y a los obtenidos por compactación estática Y, y se obtienen los siguientes valores:  $\Sigma X$ ,  $\Sigma Y$ ,  $\Sigma XY$ ,  $\Sigma X^2$ ,  $\Sigma Y^2$ , N es el número de ensayos.

N	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	14.13	13.68	193.2984	199.6569	187.1424
2	14.45	14.22	205.479	208.8025	202.2084
3	14.13	14.99	211.8087	199.6569	224.7001
4	12.59	12.83	161.5297	158.5081	164.6089
5	11.76	13.79	162.1704	138.2976	190.1641
6	12.87	14.25	183.3975	165.6369	203.0625
7	11.07	6.17	68.3019	122.5449	38.0689
8	10.79	6.12	66.0348	116.4241	37.4544
9	10.42	5.48	57.1016	108.5764	30.0304
10	8.84	4.18	36.9512	78.1456	17.4724
11	8.93	4.74	42.3282	79.7449	22.4676
12	7.90	3.58	28.282	62.41	12.8164
13	8.64	6.07	52.4448	74.6496	36.8449
14	8.73	7.99	69.7527	76.2129	63.8401
15	7.75	7.80	60.45	60.0625	60.84
16	8.37	10.72	80.7264	70.0569	114.9184
17	7.99	10.16	81.1784	63.8401	103.2256
18	8.23	10.06	82.7938	65.7329	101.2036
$\Sigma =$	187.59	166.83	1853.0295	2050.9597	1811.0691

Coefficiente de correlación (r) lo obtenemos de las ecuaciones 1, 2 y 3 y tenemos:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{2050.9597}{18} - \frac{(187.59)^2}{324}} = 2.30$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1811.0691}{18} - \frac{(166.83)^2}{324}} = 3.83$$

$$r = \frac{\frac{1853.0295}{18} - \frac{(187.59)(166.83)}{324}}{(2.30)(3.83)} = 0.7175$$

De las ecuaciones 4 y 5 obtenemos m y b para obtener la ecuación de la recta para el % de vacíos.

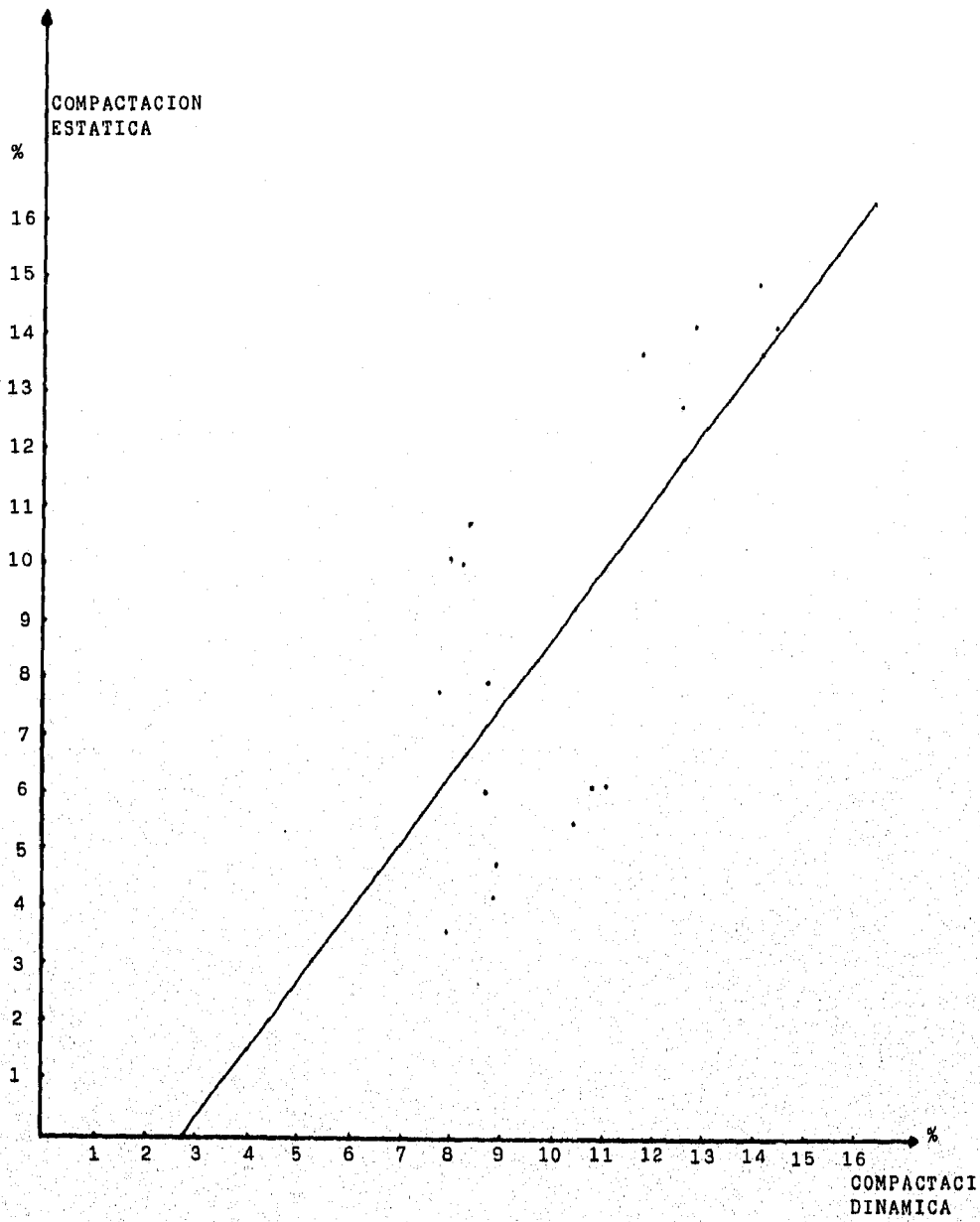
$$m = \frac{(18)(1853.0295) - (187.59)(166.83)}{(18)(2050.9597) - (187.59)^2} = 1.191$$

$$b = \frac{(166.83)(2050.9597) - (187.59)(1853.0295)}{(18)(2050.9597) - (187.59)^2} = 3.154$$

Así obtenemos la ecuación de la recta de regresión para el % de vacíos.

$$Y = 1.191 x - 3.154$$

Gráfica de la recta de regresión  
para el % de vacíos



Se desea obtener el coeficiente de correlación para el % de vacíos de agregados mineral (% V.A.M.) de pastillas Marshall compactadas a 50 golpes y pastillas compactadas por medio de carga estática.

No. DE PASTILLA	% DE V.A.M. MARSHALL	% DE V.A.M. POR COMPACTACION ESTATICA
1	23.40	23.00
2	23.69	23.48
3	23.40	24.17
4	23.68	23.89
5	22.96	24.73
6	23.93	25.13
7	23.16	18.93
8	22.92	18.89
9	22.60	18.33
10	22.05	18.07
11	22.13	18.55
12	21.25	17.56
13	22.69	20.52
14	22.77	22.14
15	21.94	21.98
16	23.25	25.22
17	22.93	24.75
18	23.13	24.67

A los valores de la prueba Marshall se les asigna X y a los obtenidos por compactación estática Y, y se obtienen los siguientes valores:  $\sum x$ ,  $\sum y$ ,  $\sum xy$ ,  $\sum x^2$ ,  $\sum y^2$ , N es el número de ensayos.

N	X	Y	XY	X <sup>2</sup>	Y <sup>2</sup>
1	23.40	23.00	538.2	547.56	529
2	23.69	23.48	556.2412	561.2116	551.3104
3	23.40	24.17	656.578	547.56	584.1889
4	23.68	23.89	565.7152	560.7424	570.7321
5	22.96	24.73	567.8008	527.1616	611.5729
6	23.93	25.13	601.3609	572.6449	631.5169
7	23.16	18.93	438.4188	525.3264	356.8321
8	22.92	18.89	414.258	510.76	335.9889
9	22.60	18.33	394.4435	486.2025	326.5249
10	22.05	18.07	410.5115	489.7369	344.1025
11	22.13	18.55	373.15	451.5625	308.3536
12	21.25	17.56	465.5988	514.8361	421.0704
13	22.69	20.52	504.1278	518.4729	490.1796
14	22.77	22.14	482.2412	481.3636	483.1204
15	21.94	21.98	586.365	540.5625	636.0484
16	23.25	25.22	586.365	540.5625	636.0484
17	22.93	24.75	567.5175	525.7849	612.5625
18	23.13	24.67	570.6171	534.9969	608.6089
$\Sigma =$	411.88	394.01	9039.1041	9432.8758	8760.0583



Coefficiente de correlación (r) lo obtenemos de las ecuaciones 1, 2 y 3 y tenemos:

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{9432.8758}{18} - \frac{(411.88)^2}{324}} = 0.6727$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{8760.0583}{18} - \frac{(394.01)^2}{324}} = 2.7426$$

$$r = \frac{\frac{9039.1041}{18} - \frac{(411.88)(394.01)}{324}}{(0.6727)(2.7426)} = 0.7009$$

De las ecuaciones 4 y 5 obtenemos m y b para obtener la ecuación de la recta para el % de vacíos.

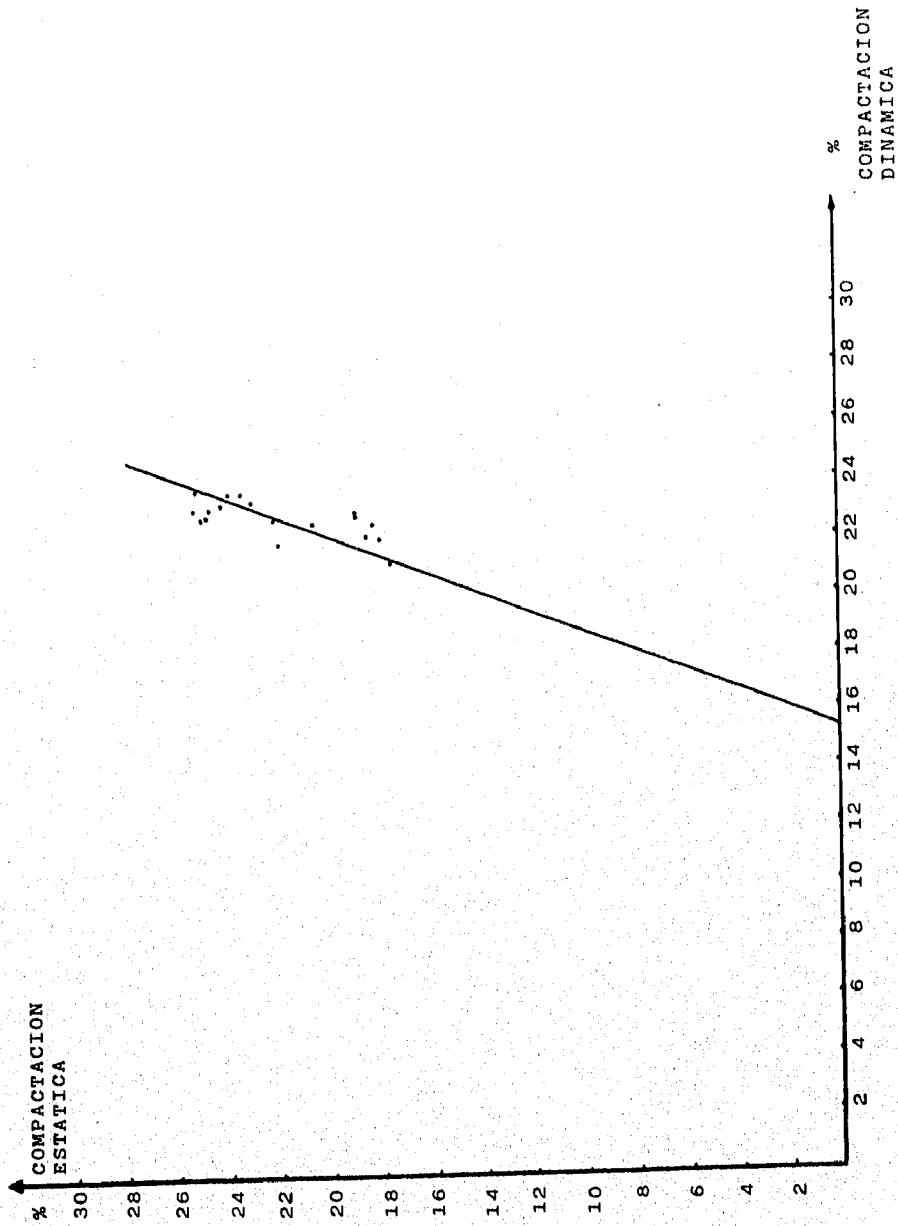
$$m = \frac{(18)(9039.1041) - (411.88)(394.01)}{(18)(9432.8758) - (411.88)^2} = 2.85577$$

$$b = \frac{(394.01)(9432.8758) - (411.88)(9039.1041)}{(18)(9432.8758) - (411.88)^2} = 43.5027$$

Así obtenemos la ecuación de la recta de regresión para el % de V.A.M.

$$Y = 2.8577 x - 43.5027$$

Gráfica de la recta de regresión  
para el % V.A.M



T A B L A C

FACTORES DE CORRECCION PARA LOS VALORES  
DE ESTABILIDAD MARSHALL

ALTURA APROXIMADA DEL ESPÉCIMEN EN MILIMETROS	FACTOR DE CORRECCION POR ALTURA
50	1.51
51	1.46
52	1.41
53	1.36
54	1.32
55	1.27
56	1.23
57	1.20
58	1.16
59	1.13
60	1.10
61	1.07
62	1.04
63	1.01
64	1.99
65	1.96
66	1.94
67	1.91
68	1.89
69	1.87
70	1.85

NOTA: Multiplicando la estabilidad medida en un espécimen por el factor de corrección, se obtiene la estabilidad corregida para un espécimen de 63.5 milímetros de altura.

Después de haber comprobado que si existe relación alguna entre las pastillas compactadas con carga dinámica y carga estática, procedemos a determinar el valor de la carga estática que será aplicada por una máquina universal que nos sirva para reproducir pastillas con características similares a las pastillas compactadas con carga dinámica.

El valor de esta carga será empleado únicamente en el diseño de pavimentos cuyo tránsito vehicular sea ligero y la presión de inflado en las llantas no exceda de  $7 \text{ kg/cm}^2$ .

En nuestro estudio elaboramos 18 pastillas compactadas con carga dinámica, posteriormente reproducimos el peso volumétrico de cada una de ellas por medio de una carga estática, al reproducir estos pesos volumétricos encontramos las siguientes cargas para cada una de ellas.

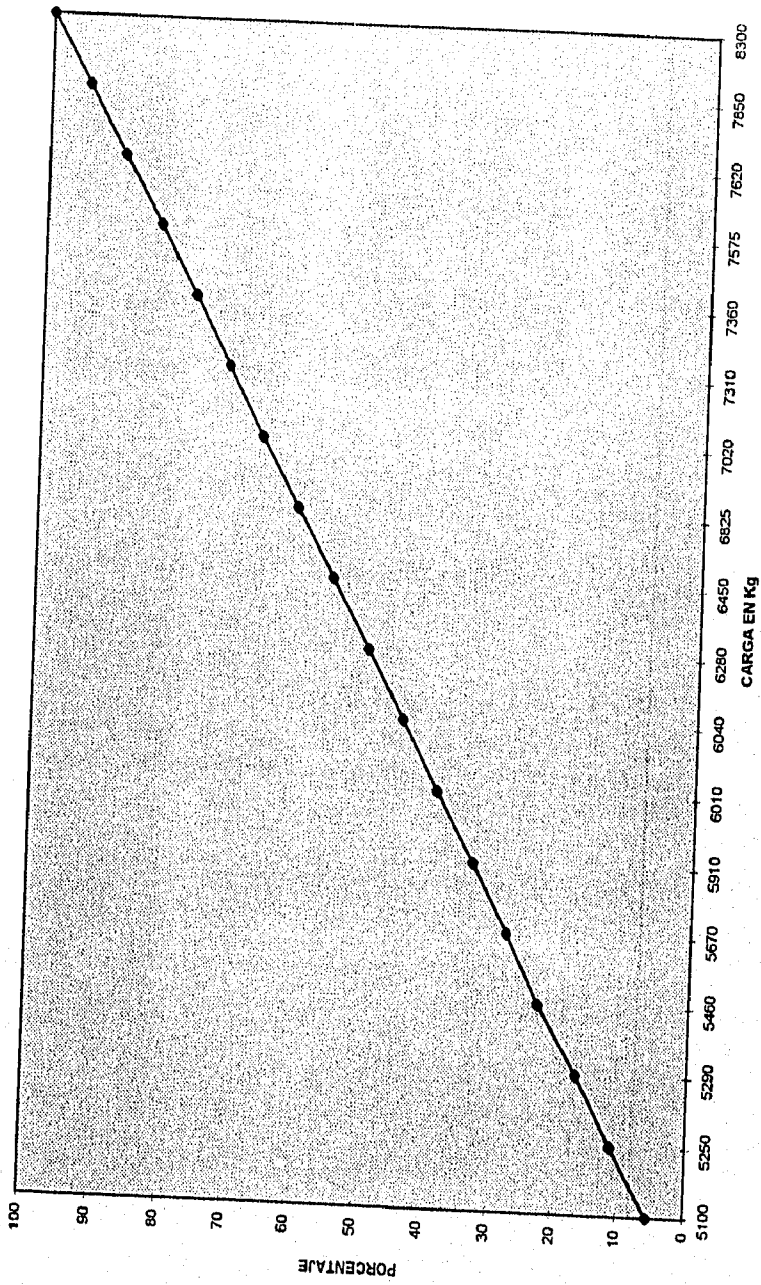
VALOR DE LAS CARGAS OBTENIDAS AL REPRODUCIR PESOS VOLUMETRICOS  
POR MEDIO DE CARGA ESTATICA.

% C. A.	CARGA ESTATICA EN KG.
5.0	5290
5.0	5250
5.0	5460
6.0	6450
6.0	7020
6.0	7310
6.5	7360
6.5	8300
6.5	7620
7.0	7575
7.0	6825
7.0	7850
7.5	5100
7.5	6040
7.5	6280
8.0	5910
8.0	6010
8.0	5670

Para obtener el valor de la carga estática que nos va a sustituir los 50 impactos que se aplica a las pastillas en el método Marshall tradicionalmente, aplicamos el método de 80 Percentil, para lo cual tabulamos de la siguiente manera:

DATOS	FRECUENCIA	VALORES IGUALES O MAYORES	% DE VALORES IGUALES O MAYORES
8300	1	18	100 %
7850	1	17	94.4
7620	1	16	88.9
7575	1	15	83.3
7360	1	14	77.8
7310	1	13	72.2
7020	1	12	66.7
6825	1	11	61.1
6450	1	10	55.5
6280	1	9	50.0
6040	1	8	44.4
6010	1	7	38.9
5910	1	6	33.3
5670	1	5	27.8
5460	1	4	22.2
5290	1	3	16.7
5250	1	2	11.1
5100	1	1	5.6

Empleando los mismos datos, procedemos a graficar cargas contra porcentos, por lo que obtenemos una curva, en la cual se intersecta el 80% para así obtener directamente el valor de la carga al prolongar este punto hacia el eje de las cargas.



Al pasar la temperatura del 80% con la curva, resulta que el cambio porcentual es de 24,4%.



Como se puede ver en la gráfica, la carga buscada es de 7460 Kg.

Para comprobar este resultado se procedió a realizar otra prueba Marshall con compactación estática de 7460 Kg.

Así se obtuvieron la tabla y gráficas siguientes, en las cuales se puede apreciar que los resultados son similares a los de la prueba Marshall con compactación dinámica.



**PRUEBA MARSHALL**

OPERADOR		MATERIAL		MATERIAL ASFALTICO <u> cemento asfáltico</u>										OBSERVACIONES:											
FECHA		TAMAÑO MÁXIMO		ADITIVO EMPLEADO <u> No.8</u>										Compactación estática de <u> 7400 kg.</u>											
ENSAYE NÚM.	PROBETA NÚM.	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE MEZCLA	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE MEZCLA	P E S O (g)			V O L U M E N (cm <sup>3</sup> )					DENSIDAD TEÓRICA MÁXIMA	DENSIDAD MATERIAL PÉTREO	VOLUMENES % TOTAL			ESTABILIDAD (Kg)				FLUJO EN (0.01") (mm)	FLUJO (mm)			
				ESPECIMEN + PARAFINA EN ANILLO	ESPECIMEN + PARAFINA EN ANILLO	ESPECIMEN + PARAFINA EN ANILLO	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA			ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA			ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA
				c	d	e	f	g	h	i	j			k	l	m	n	o	p	q			r	s	t
		a	b	c	d	e	c-d	c-e	i/D <sub>p</sub>	g-h	d/l	*	D	M	V	P	Q	S	D + r + s	u	v				
1		5.0	4.76	995.7	990.4	477.8	14.7	517.3	17.29	500.09	1961	2201	9.62	79.47	10.91	20.53	109	6.3	1.01	771	427	4.4			
2		5.0	4.76	1002.0	990.6	487.7	11.4	514.3	13.41	500.89	1978	2201	9.71	80.16	10.13	19.84	159	6.3	1.01	1124	362	3.6			
3		5.0	4.76	960.6	944.1	464.1	16.5	496.5	19.41	477.09	1979	2201	9.71	80.20	10.09	19.80	152	6.3	1.01	1075	361	3.6			
4		6.0	5.66	1015.2	9999.9	485.1	15.3	530.1	18.0	512.10	1953	2175	11.40	78.40	10.20	21.60	113	6.3	1.01	799	548	5.4			
5		6.0	5.66	997.9	987.0	479.2	10.9	518.7	12.82	505.88	1951	2175	11.38	78.32	10.30	21.68	115	6.3	1.01	813	449	4.4			
6		6.0	5.66	1003.8	992.2	480.5	11.6	523.3	13.65	509.65	1947	2175	11.36	78.16	10.48	21.84	210	6.3	1.01	1485	629	6.2			
7		6.5	6.10	1015.7	1001.2	490.8	14.5	524.9	17.06	507.84	1971	2162	12.39	78.76	8.85	21.24	202	6.3	1.01	1428	454	4.5			
8		6.5	6.10	1011.1	1002.5	497.1	8.6	514.0	10.12	503.88	1990	2162	12.51	79.52	7.97	20.48	252	6.3	1.01	1782	329	3.2			
9		6.5	6.10	1009.9	1000.5	496.8	9.4	513.1	11.06	502.04	1993	2162	12.53	79.64	7.83	20.36	242	6.3	1.01	1711	382	3.8			
10		7.0	6.54	1029.8	1018.8	518.6	11.0	511.2	12.94	498.26	2045	2150	13.79	81.33	4.88	18.67	276	6.3	1.01	1951	389	3.8			
11		7.0	6.54	1034.9	1017.2	505.1	17.7	529.8	20.82	508.98	1999	2150	13.48	79.50	7.02	20.50	265	6.3	1.01	1874	373	3.7			
12		7.0	6.54	1035.0	1016.8	505.6	18.2	529.4	21.41	507.99	2002	2150	13.50	79.62	6.88	20.38	286	6.3	1.01	2015	352	3.5			
13		7.5	6.98	1025.4	1009.8	503.7	15.6	521.7	18.35	503.35	2006	2138	14.43	79.40	6.17	20.60	219	6.3	1.01	1548	427	4.2			
14		7.5	6.98	1025.2	1012.2	509.2	13.0	516.0	15.29	500.71	2022	2138	14.55	80.04	5.41	19.96	254	6.3	1.01	1796	409	4.0			
15		7.5	6.98	1024.4	1008.2	496.7	16.2	527.7	19.06	508.64	1982	2138	14.26	78.45	7.29	21.55	271	6.3	1.01	1916	421	4.2			
16		8.0	7.41	1029.8	1004.6	497.2	11.2	518.6	13.18	505.42	1988	2126	15.19	78.33	6.48	21.67	239	6.3	1.01	1690	392	3.9			
17		8.0	7.41	1034.9	1011.3	497.1	17.5	531.7	20.59	511.11	1979	2126	15.12	77.97	6.91	22.03	214	6.3	1.01	1513	325	3.2			
18		8.0	7.41	1035.0	1002.4	494.9	11.4	518.9	13.41	505.49	1983	2126	15.15	78.13	6.72	21.87	231	6.3	1.01	1633	332	3.2			

f = CONSTANTE DE ANILLO 7  
 \* = DENSIDAD MÁXIMA TEÓRICA =  $\frac{100}{\frac{\% C.A.}{D.C.A.} + \frac{\% M.P.}{D.M.P.}}$

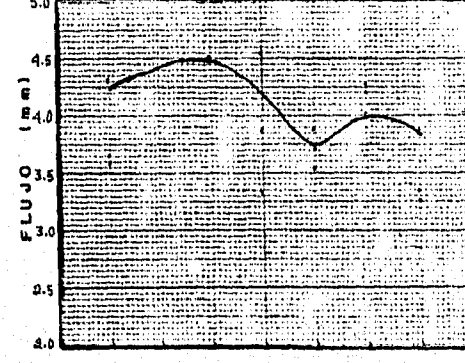
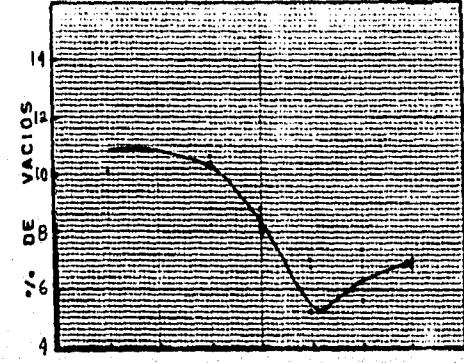
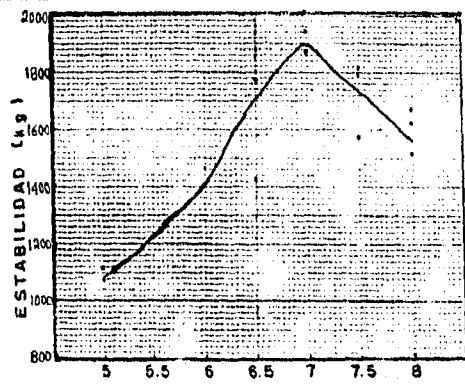
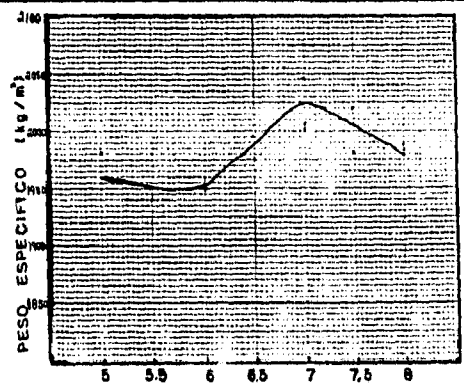
DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (D.C.A.) = 0.97  
 DENSIDAD MATERIAL PÉTREO (D.M.P.) = 2.35  
 DENSIDAD PARAFINA (D.P.) = 0.85

OBSERVACIONES:  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

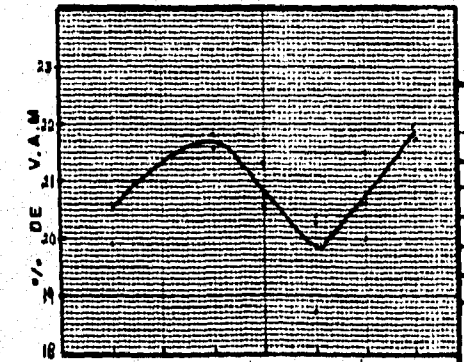


# PRUEBA MARSHALL

ESTUDIO POR EFECTUAR Prueba Marshall FECHA DE INICIACION \_\_\_\_\_  
 LOCALIZACION ENEP "ARAGON" FECHA DE TERMINACION \_\_\_\_\_  
 TIPO DE COMPACTACION Estática con 7400 kg ENSAYE N° 1



%C.A EN PESO RESPECTO AL AGREGADO



CARACTERISTICAS	DATOS OBTENIDOS	ESPECIFICACIONES
CONTENIDO OPTIMO DE C.A. (%)	6.75	
PESO ESPECIFICO (Kg/m³)	2010	
VACIOS (%)	6.6	
V. A. M (%)	20.1	
ESTABILIDAD (Kg)	1830	
FLUJO (mm)	3.9	

ESPECIMEN COMPACTADO CON GOLPES DEL PISON POR CARA A LA TEMPERATURA DE \_\_\_\_\_

%C.A EN PESO RESPECTO AL AGREGADO

EL LABORATORISTA \_\_\_\_\_ EL JEFE DEL LABORATORIO \_\_\_\_\_ Vº. Bº \_\_\_\_\_

## CONCLUSIONES

Después de haber realizado la prueba Marshall para obtener el contenido óptimo de asfalto por el método que hasta ahora a sido tradicional, es decir, aplicando compactación por impactos y compararla con las pastillas que hicimos pero sustituyendo los impactos con una carga estática aplicada con una máquina universal, encontramos lo siguiente:

- 1) Encontramos que la carga que nos sustituyen los 100 impactos en la prueba Marshall para contenido óptimo de asfalto para tránsito vehicular ligero que no exceda presión de inflado en las llantas de 7 kg/cm<sup>2</sup> es de 94.9836 kg/cm<sup>2</sup>.
- 2) Al aplicar una carga constante en lugar de 50 impactos por cara se eliminan errores sistemáticos de los laboratoristas al llevar el conteo de los golpes.
- 3) Al reproducir los pesos volumétricos con una carga estática constante se ahorra tiempo, ya que es más rápido aplicar una carga estática en 3 minutos que aplicar una carga dinámica de 100 impactos.

4) Al reproducir pastillas con carga estática se obtienen especímenes con alturas más constantes y uniformes en todo su perímetro.

5) Cuando se hacen pastillas con carga estática se obtienen resultados de flujo, V.A.M., estabilidad y pesos volumétricos mucho muy similares a los que se obtienen cuando se realiza Marshall tradicional y sobre todo el contenido óptimo de asfalto que se obtiene es muy similar.

Por esto hemos observado que si es posible sustituir los impactos de una carga dinámica por los de una compactación estática.

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

- TARO Y YAMANE  
"Estadística"  
Editorial Harla

- MURRAY, R.  
Spiegel  
"Estadística"  
Editorial Mc Graw Hill

- "Manual de prácticas de estructuras de pavimentos"  
Ing. Celia Martínez Rayón  
Ing. José Paulo Mejorada Mota  
U.N.A.M. Enep Aragón

- "Normas para el muestreo y pruebas de los materiales, equipos y sistemas"  
(Parte 6.01, carreteras y aeropistas)  
Pavimentos, Tomo I  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México, D.F. 1991

- "Normas para el muestreo y pruebas de los materiales, equipos y sistemas"  
(Parte 6.01, carreteras y aeropistas)  
Pavimentos, Tomo II  
Secretaría de Comunicaciones y Transportes  
México, D.F. 1991

- ING. OLIVER B., FERNANDO  
"Estructuración de vías terrestres"  
Editorial CECSA