



19
26

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN

"OBTENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE
ESTABILIDAD, FLUJO, PESO VOLUMÉTRICO Y
RELACION DE VACIOS MARSHALL, POR MEDIO
DE CARGA ESTÁTICA"

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO CIVIL
PRESENTAN
LUIS GÓMEZ ESTRADA
MIGUEL ÁNGEL VERA ESPEJEL

ASESOR DE TESIS: ING. RICARDO RODRÍGUEZ CORDERO

MEXICO

1990

**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.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

LUIS GÓMEZ ESTRADA
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 20 de mayo del año en curso, presentada por Miguel Ángel Vera Espejel y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RICARDO RODRÍGUEZ CORDERO pueda dirigirlas el trabajo de Tesis denominado "OBTENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ESTABILIDAD, FLUJO, PESO VOLUMÉTRICO Y RELACIÓN DE VACÍOS MARSHALL, POR MEDIO DE 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 he sido aprobada su solicitud.

Aprovecho la ocasión para reiterarle mi distinguida consideración.

ATENTAMENTE
"POR MI RAZA HABLARÁ EL ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 27 de mayo de 1998.
EL DIRECTOR.

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.

CCMCAIR/ta.



UNIVERSIDAD NACIONAL
AVENIDA DE
MEXICO

ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES
ARAGÓN
DIRECCION

MIGUEL ÁNGEL VERA ESPEJEL
PRESENTE.

En contestación a su solicitud de fecha 20 de mayo del año en curso, presentada por Luis Gómez Estrada y usted, relativa a la autorización que se le debe conceder para que el señor profesor, Ing. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO pueda dirigirse el trabajo de Tesis denominado "OBTENCIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE ESTABILIDAD, FLUJO, PESO VOLUMÉTRICO Y RELACIÓN DE VACIOS MARSHALL, POR MEDIO DE 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 ESPÍRITU"
San Juan de Aragón, México, 27 de mayo de 1966
EL DIRECTOR

MIGUEL CLAUDIO CARRERFIELD CASTRO

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

CCMCAIR/ia.

Casta

Fca

AL ING. RICARDO RODRIGUEZ CORDERO,

Asesor de tesis.

AL HOMBRE QUE ME ENSEÑO
QUE A BASE DE TRABAJO,
ESFUERZO Y DEDICACION
SE LOGRA LA META FIJADA.
Mi Padre: M A N U E L.

A QUIEN SIEMPRE ME DIO
SU CONFIANZA, APOYO Y
COMPRESION.
Mi Madre : Ma. LUISA

A MIS HERMANOS: RITA,
ENRIQUE, MARGARITA,
LEOBARDO, M A N U E L,
PATRICIA, POR SU
GRAN CONFIANZA.
GRACIAS.

A MIS SOBRINOS.
COMO UNA FORMA DE RETO
PARA SU SUPERACION
PERSONAL.
LUIS, ADRIAN, GABY, ALEX,
NANCY, ARELY, JUAN, YAZMIN,
LUPE, AGUSTIN, DIANA,
JESSICA, ABRAHAM Y ANDRES.

A QUIEN LLENA MI VIDA
DE ALEGRIA Y QUIEN
TODO SE MERECE.

ANA LUISA,

MI HIJA

POR EL CARINO QUE ME DAS
POR TU APOYO INCONDICIONAL
POR TU COMPRENSION
POR SER AMIGA Y ESPOSA
POR MIL RAZONES; A TI

I R M A,

A MIS COMPAÑEROS DE
GENERACION, POR TODOS
ESOS BELLOS Y GRATOS
RECUERDOS.

A TODOS AQUELLOS QUE
ALGUNA VEZ ME BRINDARON
SU APOYO.

LUIS

A QUIEN, AUNQUE ESTABA A OSCURAS COMO CIEGO,
COMO EN LA MAR, DESPUES DE LA TINIEBLA,
SIN SABER ATINAR POR DONDE IRIA,
COBRE TINO EN LA LUZ DE SU FUEGO
Y SU MANO ANUDO MI ROTO HILO,
A QUIEN ME DIO TODO, HASTA LA VIDA

A I G N A C I O .

MI PADRE.

ELLA ES LA FUENTE DE QUE TODOS BEBEMOS
ELLA ES REFUGIO SANTO AL QUE TODOS CORREMOS
ELLA ES LLAMADA PUERTA, FIRME Y BIEN AJUSTADA,
QUE SE ABRE ANTE NOSOTROS PARA DARNOS ENTRADA
ES PALOMA INTACTA POR HIEL NUNCA AMARGADA,
SIEMPRE LIMPIA DE IRA, SIEMPRE REGOCIJADA.

A ELLA : E S T H E R .

MI MADRE

A MIS HERMANOS: **GABRIEL**
Y **MAYTE**, QUE SIEMPRE HAN
TRANSMITIDO DICHA Y
APOYO EN MI VIDA.

A QUIENES CON SU ANIMO Y COMPAÑIA,
CON SU TRATO Y SU NOBLEZA, APORTA-
RON A MIS HORAS MALAS UN MOMENTO
DE CORDURA.

A USTEDES: **NACHO Y ANA**

A QUIEN MI CORAZON LEVANTA
EN MAYOR PUNTO LA ALEGRIA
Y A SU HERMANA BELLA, UNA
ROSA DE DIAMANTES.
MIS SOBRINOS:

JOSEPH Y ELIZABETH

A QUIEN ALGUNA VEZ ME TENDIO
LA MANO, SIN ESPERAR FAVOR
ALGUNO; A MIS AMIGOS.

MIGUEL ANGEL

UN AGRADECIMIENTO

**A LA UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
CAMPUS ARAGON, PORQUE EN ELLA NOS FORMAMOS
PROFESIONALMENTE.**

**AL LABORATORIO DE CONSTRUCCION DE
LA E.N.E.P. ARAGON POR HABERNOS PERMITIDO
ELABORAR LAS PRACTICAS NECESARIAS PARA LA
REALIZACION DE NUESTRA INVESTIGACION.**

A LAS EMPRESAS:

- CONTROLES Y TECNICAS PROFESIONALES EN
URBANIZACIONES Y CONSTRUCCIONES S.A. DE C.V.
COTEPSA**
- PLANTA DE ASFALTO, AGREGADOS, CONSTRUCCIONES
factor S.A.**

**A JOSE FIDEL GONZALEZ MARTINEZ Y PATRICIA SILVA
PORQUE SU AYUDA FUE IMPORTANTE PARA LA
CONCLUSION DE ESTA INVESTIGACION.**

CONTENIDO.

INTRODUCCION.

CAPITULO I.

Descripción de las principales pruebas para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico.

I.1 Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico por medio de la prueba de compresión simple.

I.2 Determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico por medio de la prueba de extrusión o Hubbard Field.

I.3 Determinación del contenido óptimo de asfalto por el método Marshall.

CAPITULO II.

Determinación de las características de calidad del material pétreo para el estudio.

II.1 Peso volumétrico.

II.2 Granulometría.

II.3 Desgaste.

II.4 Contracción lineal.

CAPITULO III.

Resultados de pastillas Marshall.

III.1 Elaboración de pastillas Marshall.

III.2 Determinación de las características de peso volumétrico, estabilidad, flujo y relación de vacíos Marshall.

CAPITULO IV.

Pastillas compactadas con carga estática para reproducir las condiciones del método Marshall.

IV.1 Elaboración de pastillas compactadas con carga estática reproduciendo el peso volumétrico.

IV.2 Determinación de las características de peso volumétrico, estabilidad, flujo y relación de vacíos Marshall en las pastillas realizadas bajo condiciones estáticas.

CAPITULO V.

Correlación de los resultados obtenidos por ambos métodos de compactación. (dinámico y estático)

CAPITULO VI.

Determinación de una carga estática que reproduzca satisfactoriamente las condiciones Marshall.

CAPITULO VII.

Análisis de las ventajas y desventajas de cada uno de los procedimientos efectuados.

VII.1 Variabilidad de resultados.

VII.2 Ventajas y desventajas del procedimiento Marshall a través de una carga estática.

VII.3 Ventajas y desventajas del método Marshall convencional.

CONCLUSIONES.

BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION.

El sistema de transporte de cualquier país es el sistema circulatorio de su economía, ya que a través de él se desplazan los flujos de bienes y personal que le dan sentido a la vida económica, social, cultural de cada país.

Las vías terrestres son la parte medular de cualquier sistema de transporte, y muy en particular de nuestro país. A través de las carreteras de México se mueve el 60% del tonelaje transportado a nivel interurbano, así como el 97% de los pasajeros en recorridos entre ciudades. Los ferrocarriles contribuyen con otro 20% del tonelaje movillizado, correspondiente en su mayoría a productos indispensables para la alimentación de los mexicanos, así como para la actividad productiva de la industria pesada.

Además las vías terrestres son decisivas para estructurar la organización territorial de nuestro país, así como para apoyar la distribución regional de su población.

La participación de las vías terrestres en el transporte nacional ha sido importante en el pasado, lo es en el presente y continuara siéndolo en el futuro; independientemente de los avances tecnológicos que registren otros medios de transportes, el transporte terrestre seguirá siendo el elemento mas importante del sistema de transporte nacional.

Por consiguiente, la Ingeniería de vías terrestres continuará desempeñando un papel de gran relevancia para el país, ya que la conservación, modernización y ampliación de la cobertura de la infraestructura de vías terrestres no podrá ser realizada sin su participación.

Sin embargo, la evolución futura de las vías terrestres de México estará condicionada por la situación económica que viva nuestro país durante los próximos años. Por ello la actividad de los ingenieros en vías terrestres será mas eficaz en la medida en que se adapte al contexto dentro del que se produzca, orientándose de una manera acorde a las necesidades y posibilidades nacionales del momento.

Por ejemplo, hoy el Ingeniero en vías terrestres debe volcar su talento, sus conocimientos y su creatividad de concebir soluciones que contribuyan a elevar la productividad de los sistemas existentes mediante proyectos de bajo costo cuya implantación sea factible, postergando la concepción y desarrollo de proyectos más ambiciosos para tiempos mejores.

El proyecto de carreteras esta formado por la definición geométrica y estructural de las terracerías, el drenaje, el pavimento, las intersecciones, el señalamiento, los puentes, los túneles y las obras complementarias.

Al proyectar una carpeta asfáltica se debe reunir ciertos requisitos, dentro de los cuales los más importantes son el peso volumétrico, la estabilidad y el flujo, estos dos últimos requisitos se podrán hacer bajo condiciones desfavorables de humedad y temperatura. El valor de estabilidad será 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 integra la mezcla.

La determinación del contenido óptimo de cemento asfáltico es de primordial importancia y esta es la razón de que se elaboraran diversos métodos para lograr su determinación, de los que destacan el *método de compresión axial no confinada*, el *método de extrusión o Hubbard Field* y el *método Marshall*, siendo este último uno de los mas empleados en la determinación de óptimos de cemento asfáltico para proyecto.

La realización de esta investigación será basada en la prueba mas utilizada para la determinación de óptimos de asfalto, la cual es la prueba Marshall; en esta prueba la aplicación de la carga mediante un pisón de características conocidas y ha dicha carga le llamaremos carga dinámica siendo el objetivo de la investigación sustituir esta carga dinámica por otra que será aplicable mediante una maquina de compresión simple.

Como es sabido la carga dinámica implica someter a cincuenta o setenta y cinco golpes de pisón por cara al espécimen, según el proyecto de carpeta; se observa que son cien o ciento cincuenta golpes por espécimen, los cuales multiplicados por las pastillas necesarias que son

dieciocho nos transporta a una cantidad muy grande de golpes de pisón, lo que conlleva a que el laboratorista u operador que está aplicando la práctica de los golpes de pisón caiga en una serie de imprecisiones y errores causados por la fatiga y el tedio, provocando variaciones en los resultados.

Para poder obtener la carga estática que simplifique todo el trabajo anterior y evite las imprecisiones antes mencionadas, se pretenderá aplicar una carga estática, procurando la similitud de los resultados, tomando como parámetro el peso volumétrico de cada espécimen, para así fabricar uno similar al que llamaremos gemelo.

Para lograr lo anterior desarrollaremos la investigación de la siguiente manera:

En el capítulo I se describen las pruebas más importantes para determinar el contenido óptimo de cemento asfáltico, puesto que se considera importante tener una base teórica.

En el capítulo II trataremos las características del material pétreo, ya que la manera comúnmente empleada de hacer uso del asfalto en la elaboración de carpetas para caminos, es mezclándolos con agregados pétreos de características definidas. Sin embargo no cualquier tipo de agregado puede emplearse en la elaboración de carpetas; de ahí la necesidad de que conozcamos sus características físicas para determinar si es apto o no para su empleo.

En el capítulo III se dan los resultados de las pastillas obtenidas por el método Marshall con carga dinámica o convencional.

En el capítulo IV se presentan los resultados de las pastillas compactadas con carga estática para reproducir las condiciones de método Marshall y así establecer una correlación de resultados entre ambos procedimientos de elaboración de pastillas, que son presentadas en el capítulo V.

En el capítulo VI determinaremos la carga estática que esperamos cumpla con los requisitos de la prueba Marshall convencional.

Para el capítulo VII se presentan las ventajas y desventajas que implica obtener el óptimo de cemento asfáltico con carga dinámica y estática.

**CAPITULO I. DESCRIPCION DE LAS PRINCIPALES PRUEBAS PARA
DETERMINAR EL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO.**

**1.1 DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO
POR MEDIO DE LA PRUEBA DE COMPRESION SIMPLE.**

El equipo de esta prueba será el siguiente :

- Un molde metálico de diez punto dos (10.2) centímetros de diámetro interior y diecisiete punto siete (17.7) centímetros (7 ") de altura, provisto de una base metálica removible y una placa circular para compactar, de diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro, que pueda sujetarse a la cabeza de aplicación de la carga.

Este molde se utiliza cuando el tamaño máximo del agregado es menor de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8 ").

- Un molde metálico de doce punto siete (12.7) centímetros (5 ") de diámetro interior y veintinueve punto cinco (21.5) centímetros (8.5 ") de altura, provisto de una base metálica removible y una placa circular para la compactación, con diámetro ligeramente menor que el diámetro interior del cilindro que se puede sujetar a la cabeza de aplicación de la carga. Este molde es empleado cuando el tamaño máximo del agregado es mayor de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8 ").

- Una máquina de compresión con dispositivos para hacer lecturas a cada diez (10) kilogramos.

- Una varilla metálica de uno punto nueve (1.9) centímetros de diámetro y treinta punto cero (30) centímetros de longitud, con punta de bala, para el picado del material en el molde.

- Charolas de lámina.
- Una balanza de diez (10) kilogramos de capacidad con aproximación de un (1) gramo.
- Una balanza con sensibilidad de un centésimo (0.01) de gramo.
- Un horno con temperatura controlable.
- Un termómetro con variación de diez grados a ciento cincuenta (10 a 150) grados Celsius.
- Vasos de precipitado.
- Un pisón metálico de dos punto cinco (2.5) kilogramos de peso, con superficie circular de apisonado de cinco punto cero ocho (5.08) centímetros (2") de diámetro, provisto de una guía tubular de lámina de treinta y cinco (35) centímetros de longitud.
- Una cuchara de albañil.

La realización de la prueba comprende los siguientes pasos:

- Fijada la granulometría de la mezcla asfáltica, se determinará el porcentaje en peso de los siguientes tamaños en que ha sido separado previamente el material pétreo.
- Material retenido en malla de doce punto siete (12.7) milímetros (1/2 ").
- Material retenido en malla de seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros y que pasa la malla de doce punto siete (12.7) milímetros (1/2 ").

- Material retenido en malla número diez (10) y que pasa por la malla de seis punto treinta y cinco (6.35) milímetros (1/4 ").

- Material retenido en malla número cuarenta (40) y que pasa la malla número diez (10).

- Material que pasa la malla número cuarenta (40).

Si el tamaño máximo del agregado es mayor de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8 "), se requerirán cuatro (4) kilogramos de material pétreo para elaborar cada uno de los seis (6) especímenes de prueba. Se tomará de cada uno de los tamaños mencionados las cantidades de muestra que resulte de multiplicar el porcentaje en peso de cada fracción por el peso total de la muestra que es de cuatro (4) kilogramos. Las fracciones ya pesadas se mezclarán previamente a la adición del producto asfáltico.

Para mezclas con tamaño igual o menor de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8 ") se procederá en forma semejante, debiendo ser de dos (2) kilogramos la cantidad total del agregado pétreo para cada espécimen. La cantidad de producto asfáltico que deberá agregarse a cada una de las seis (6) muestras, se calculará sobre la base del contenido mínimo de asfalto (expresado como cemento asfáltico). Estas cantidades de producto asfáltico, deberán corresponder a los siguientes contenidos de cemento asfáltico, expresados como porcentajes del peso del material pétreo:

Contenido calculado - 0.5 %

Contenido calculado NETO

Contenido calculado + 0.5 %

Contenido calculado + 1.0 %

Contenido calculado + 1.5 %

Contenido calculado + 2.0 %

A cada una de las muestras de material pétreo se incorporará la cantidad calculada de producto asfáltico, más un pequeño exceso correspondiente al producto que se queda adherido a la charola que puede llegar a ser de medio por ciento (0.5 %) de producto asfáltico. Terminadas estas operaciones, se colocará una tarjeta de identificación que indique el porcentaje de asfalto que corresponde a cada muestra, y se determinará dicho porcentaje por cualquiera de los dos procedimientos indicados.

La compactación de los especímenes se llevará a cabo por cualquiera de estos dos métodos: Con carga estática o por medio de impactos. Se considera que difícilmente puede producirse en el laboratorio las condiciones de compactación que se tiene en obra, por tener el material menor libertad de acomodo al confinarse en un cilindro para su compactación. Este defecto queda contrarrestado al compactar con el mismo sistema todos los especímenes de un mismo material. En términos generales puede decirse que la compactación con carga estática no es adecuada para materiales angulosos de difícil acomodo, para los cuales se recomienda la compactación por impactos. Para decidir cual de los métodos debe ser utilizado, deberán compactarse por ambos procedimientos dos (2) muestras elaboradas con el contenido de asfalto calculado, y elegir el que de especímenes con mayor peso volumétrico y menor número de partículas fracturadas.

Si la compactación de los especímenes es con carga estática, inmediatamente después de terminada la mezcla, se procederá a su compactación utilizando el molde que le corresponde, de acuerdo con el material pétreo (tamaño máximo del agregado). Se colocará el material en el molde, previamente calentado, en tres capas (3) de igual espesor dando a cada capa un picado de veinticinco (25) golpes con la varilla con punta de bala para facilitar el acomodo del material. En seguida se procederá a aplicar con la máquina de compresión una carga que corresponda a la presión de cuarenta (40) kilogramos por centímetro cuadrado, o sean tres mil doscientos (3200) kilogramos de carga total para los especímenes de diez punto dos (10.2) centímetros de

diámetro (4") y cinco mil (5000) kilogramos para los de doce punto siete (12.7) centímetros (5 "). La carga deberá aplicarse lentamente, en forma continúa y una vez alcanzada la presión especificada, se mantendrá ésta por un periodo de dos (2) minutos. La relación altura-diámetro del espécimen ya compactado deberá ser aproximadamente de uno punto veinticinco (1.25), admitiéndose una discrepancia máxima de cinco (5) milímetros en las alturas de los especímenes elaborados con el mismo material. Se dejará enfriar el espécimen en el molde, se extraerá de éste, y se dejará transcurrir el tiempo necesario para que adquiera la temperatura ambiente, con objeto de que al probar todos los especímenes tengan la misma temperatura. Es indispensable que todos los especímenes tengan la misma temperatura para lograr resultados concordantes, condición tan importante como el control de la consistencia de la mezcla en la elaboración de los especímenes.

Si la compactación de los especímenes es por impactos, inmediatamente después de haber terminado de elaborar la mezcla, se procederá a la compactación de los especímenes en el molde correspondiente, de acuerdo con el tamaño máximo del agregado. La compactación se hará tres (3) veces (en tres capas). A cada capa se le dará un picado de veinticinco (25) golpes de pisón, si el cilindro es de diez punto dos (10.2) centímetros (4") de diámetro; o con cuarenta golpes de pisón si el diámetro es de doce punto siete (12.7) centímetros (5 "). La altura de caída deberá ser de treinta (30) centímetros y el pisón no deberá golpear directamente sobre la mezcla, para evitar romper el agregado pétreo. Para el efecto se revestirá el pisón con una camisa de cuero o bien se colocará un disco de hule de unos dos (2) milímetros de espesor sobre la superficie que se va a apisonar. Una vez compactada ésta y antes de colocar la capa de la siguiente mezcla, se procederá a escarificar la superficie con la varilla metálica para obtener una buena liga entre ambas capas. Terminada la compactación de la última capa por medio del pisón, se aplicará lentamente con la máquina de compresión una carga que sea suficiente para producir una superficie horizontal y uniforme, sin que provoque fractura del agregado pétreo. La carga unitaria para este efecto podrá ser de cuarenta a sesenta (40 a 60) kilogramos por centímetro cuadrado, debiéndose mantenerse por espacio de dos (2) minutos. La carga que se aplique deberá

ser la misma para todos los especímenes elaborados con un mismo material. Se dejará enfriar el espécimen del molde, se extraerá de este y se mantendrá a temperatura ambiente el tiempo necesario para que adquieran dicha temperatura todos los especímenes elaborados. La relación altura - diámetro de los cilindros de prueba deberá ser de uno punto veinticinco (1.25) aproximadamente, admitiéndose una discrepancia máxima de cinco (5) milímetros en la altura de los especímenes con un mismo material.

La prueba de los especímenes se describe a continuación: El espécimen ya frío compactado por cualquiera de los dos (2) procedimientos anteriormente mencionados, se probará a la compresión sin confinar, aplicando la carga uniforme y lentamente hasta alcanzar la de ruptura. Se calculará la resistencia unitaria para la carga máxima registrada en cada uno de los especímenes aprobados y con estos datos se formará una gráfica, en cuyas ordenadas se anotarán las resistencias obtenidas y en cuyas abscisas se anotarán los contenidos de asfalto expresados sobre la base de cemento asfáltico y referidos al peso del agregado pétreo. El contenido óptimo de cemento asfáltico se localizará dentro de la rama ascendente de la curva correspondiente al segundo máximo.

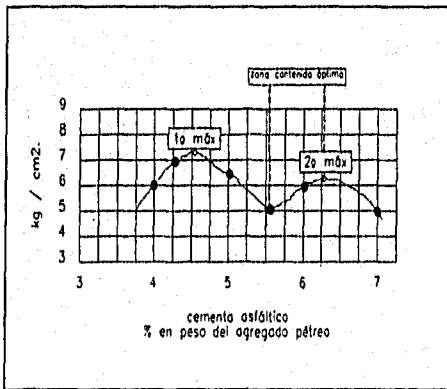


fig. 1.1 OBTENCIÓN DEL ÓPTIMO DE ASFALTO

I.2 DETERMINACION DE CONTENIDO OPTIMO DE CEMENTO ASFALTICO POR MEDIODE LA PRUEBA DE EXTRUSION O HUBBARD FIELD.

La prueba se basa en el método Hubbard Field que consiste en elaborar especímenes con el agregado pétreo y diferentes proporciones de cemento asfáltico, en los que se definen mediante su resistencia a la extrusión y porcentaje de vacíos, las diferentes proporciones de asfalto que permiten satisfacer los requisitos del proyecto; entre dichas proporciones se selecciona aquella que más conviene a las necesidades de la obra. Este procedimiento se aplicará preferentemente para el proyecto de mezclas asfálticas en carpetas con tránsito medio o bajo y estabilización de materiales.

OBJETIVO.

De los resultados que se deriven fundamentalmente en cuanto a resistencia a la extrusión y vacíos se definirá el contenido óptimo de asfalto.

EQUIPO.

El equipo que se necesita para efectuar la prueba es indicado a continuación:

- Dos (2) moldes de acero estructural de cinco punto cero ocho (5.08) milímetros de diámetro interior.

- Recipiente metálico galvanizado con altura mínima de quince (15) centímetros, treinta (30) centímetros de largo y veinticinco (25) centímetros de ancho aproximadamente.

- Termómetro blindado con registro de cero a doscientos (0 a 200) grados Centígrados y aproximación de un (1) grado Centígrado.

- Máquina de compresión con capacidad mínima de cuatro punto cinco (4.5) toneladas y aproximación de diez (10) kilogramos con cabezal adaptado para transmitir la carga de la placa de compactación. El cabezal de la máquina deberá desplazarse a una velocidad de sesenta (60) milímetros por minuto.

- Horno con temperatura controlable con aproximación de tres (3) grados centígrados.

- Anillo de extrusión, que deberá tener las dimensiones indicadas en la figura I.2

- Pistón de compactación.

- Placas para compactación.

- Charolas de lámina.

- Cuchara de albañil.

- Guantes de piel carmaza.

- Parrilla eléctrica.

- Balanza de veinte (20) kilogramos con aproximación de un (1) gramo.

MATERIAL.

- Agregados pétreos de acuerdo a los requerimientos del proyecto.

- Cemento asfáltico.

DESARROLLO DE LA PRUEBA.

- 1.- Determinar el peso específico del material pétreo.
- 2.- Determinar el peso específico del cemento asfáltico.
- 3.- Obtener las temperaturas de mezclado del cemento asfáltico y del material pétreo; para que primero, la temperatura mencionada es aquella a la que tenga una viscosidad Saybolt Furol de ochenta y cinco más o menos diez (85 ± 10) segundos para el material pétreo es esta misma temperatura más diez (+ 10) grados centígrados.
- 4.- 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 o menos quince (140 ± 15) segundos.
- 5.- Para fijar las temperaturas antes descritas se debe recurrir a las respectivas gráficas viscosidad-temperatura del cemento asfáltico utilizado.
- 6.- Fijar la granulometría de la mezcla asfáltica determinando el porcentaje en peso de los materiales pétreos retenidos en las mallas de:

MALLAS	% PASA
1"	---
3/4"	100
1/2"	90
3/8"	79
1/4"	67
Núm. 4	60
Núm. 10	46
Núm. 20	31
Núm. 40	21
Núm 60	16

Núm 100 12

Núm 200 8

7.- Se fabricarán dos especímenes para cada uno de los contenidos de mezcla asfáltica.

8.- Los agregados pétreos y el cemento asfáltico se calentarán previamente a la temperatura de mezclado anteriormente calculado.

9.- Hacer una mezcla sobre la base de contenido mínimo de cemento asfáltico por el método del área superficial.

$$P_{ra} = F K I$$

donde:

F Es la proporción expresada en porcentaje en peso en cada una de las fracciones en que se divide el material pétreo.

K Es la constante de área superficial de las partículas de material pétreo.

I Es el índice asfáltico de la fracción considerada.

F y K Es determinada según la tabla siguiente:

MATERIAL		
Peso malla Núm.	Retiene en malla Núm.	Área superficial de partículas, K, en m ² /kg.
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

1 seleccionada de acuerdo con las características del material según la tabla siguiente:

Materiales pétreos de partículas.	Índices asfálticas en kg/m ²		
	Absorción 0.0 a 2.5%	Absorción 2.6 a 5.0%	Absorción mayor de 5.0%
Redondeados	0.0055	0.0065	0.0075
Sub-angulosos	0.0065	0.0075	0.0085
Angulosos	0.0075	0.0085	0.0100

10.- Se hacen varias mezclas variando el contenido mínimo de cemento asfáltico que deberán corresponder a los siguientes porcentajes:

- Contenido calculado - 1.0 %
- Contenido calculado - 0.5 %
- Contenido calculado NETO
- Contenido calculado + 0.5 %
- Contenido calculado + 1.0 %
- Contenido calculado + 1.5 %
- Contenido calculado + 2.0 %

11.- Previamente a la elaboración de los especímenes se calientan dos (2) moldes, armados con sus correspondientes placas de base, a una temperatura de ciento treinta (130) grados Centígrados colocándolos en el horno durante diez (10) minutos.

12.- Se sacan los moldes del horno y sus placas de base, los cuales se designarán como molde uno (1) y molde dos (2), se colocan sobre una mesa y se vierte en cada uno de ellos la cantidad de mezcla necesaria aproximadamente cien (100) gramos, para obtener en ambos un espécimen cilíndrico con altura de veinticinco punto cuatro más menos cero punto cinco (25.4 +/- 0.5) milímetros, después de lo cual se regresan al horno los moldes con su contenido durante un periodo de diez (10) minutos como mínimo.

13.- 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 o 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 (4275) kilogramos equivalente a una presión de doscientos once (211) kilogramos sobre centímetro cuadrado.

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 (4275) kilogramos durante un periodo de cinco (5) minutos.

Transcurrido ese 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 con un crayón se marca la cara superior y se deja a la temperatura ambiente por lo menos durante doce horas antes de ser probado.

Se saca del horno el molde restante conteniendo la mezcla asfáltica y se le aplica el mismo procedimiento que al anterior.

Se preparan las mezclas y se elaboran las pastillas correspondientes a los demás contenidos de cemento asfáltico aplicándoles el mismo procedimiento que a las anteriores, transcurrido el período de reposo se determina a cada uno de los especímenes su peso volumétrico aplicando el método de la parafina.

Se determina la resistencia a la extrusión de cada espécimen de prueba como se indica a continuación:

A) Se colocan las pastillas y los moldes de prueba limpios en el baño o recipiente con agua a sesenta (60) grados Centígrados y se dejan en éste durante una hora como mínimo antes de la prueba.

B) Se montan dentro del baño, el anillo de extrusión y el molde de prueba sobre un soporte metálico como se indica en la figura 1.3

C) Se coloca el conjunto sobre la platina de la máquina de prueba y se le aplica una 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.

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 aplicándole el mismo procedimiento que el anterior, y se determinarán los valores correspondientes a los especímenes de cada uno de los demás contenidos de asfalto considerados en el estudio.

E) En cada uno de los sobrantes de las mezclas utilizadas para elaborar los especímenes, se verifica el porcentaje de asfalto que contiene cada mezcla de prueba; restándole cero punto tres

(0.3) porciento de cada uno de los contenidos de asfalto considerados al elaborar las mezclas para corregir dichos contenidos por pérdidas durante el mezclado. Los contenidos de cemento asfáltico así corregidos se anotan en la columna " a " de la hoja de registro.

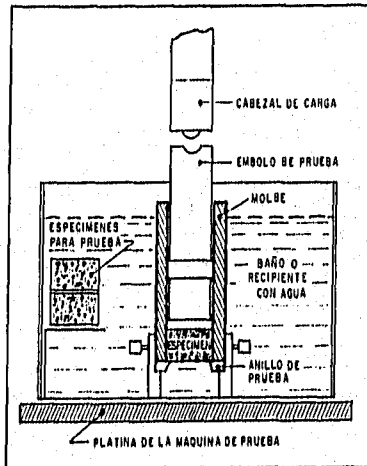


FIGURA NUM 7.3 DISPOSICION DEL EQUIPO HUBBARD FIELD PARA LA EXTRUSION DE LA PASTILLA.

En esta prueba se calcula y se reporta lo siguiente:

1) Se determina el peso específico teórico máximo de cada una de las mezclas asfálticas consideradas en el estudio aplicando la siguiente fórmula:

$$\gamma_m = \frac{100}{\frac{A}{SCA \gamma_0} + \frac{P}{SP \gamma_0}}$$

en donde:

γ_m . Es el peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica.

A. Es la proporción en peso de cemento asfáltico con relación al de la mezcla, en porcentaje.

P. Es la proporción en peso del material pétreo con relación al de la mezcla en porcentaje.

SCA Densidad de cemento asfáltico, N° abstracto.

SP. Es la densidad aparente del material pétreo por inmersión en cemento asfáltico, N° abstracto.

γ_0 . Es el peso específico del agua considerado en éste caso de un gramo por centímetro cúbico.

2) 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 obtenidos con la siguiente fórmula:

$$VAM = 100 \left(1 - \frac{A \cdot \gamma_c}{1000 \cdot SP \cdot \gamma_0} \right)$$

en donde:

V A M. Es la proporción de vacíos del material pétreo

A. Es el peso del material pétreo en la mezcla, en porcentaje.

γ_{dc} . Es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica compactada en kilogramos por metro cúbico.

SP. Es la densidad aparente del material pétreo, por inmersión en cemento asfáltico, número abstracto.

γ_0 . Es el peso específico del agua considerado en éste caso de un gramo por centímetro cúbico.

1000. Es el factor de conversión para hacer homogéneos los valores de los pesos γ_{dc} y γ_0 .

3) 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 por medio de la siguiente fórmula:

$$VMC = 100 \left(1 - \frac{\gamma_{dc}}{1000 \cdot tm} \right)$$

en donde:

VMC. Es la proporción de vacíos en la mezcla asfáltica compactada, en porcentaje.

tm. Es el peso específico teórico máximo de la mezcla asfáltica, en gramos por centímetro cúbico.

γ_{dc}. Es el peso volumétrico de la mezcla asfáltica compactada en kilogramos por metro cúbico.

4) Utilizando los valores promedio obtenidos para cada contenido de asfalto se dibujan las gráficas que a continuación se indican:

- Peso volumétrico vs Porcentaje de cemento asfáltico.
- Porcentaje de vacío de la mezcla compactada vs Porcentaje de cemento asfáltico.
- Porcentaje de vacío del material pétreo vs Porcentaje de cemento asfáltico.
- Resistencia a la extrusión vs Porcentaje de cemento asfáltico.

En cada gráfica se analizará cual es la proporción de asfalto que en mejor forma satisface los requerimientos del 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.

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

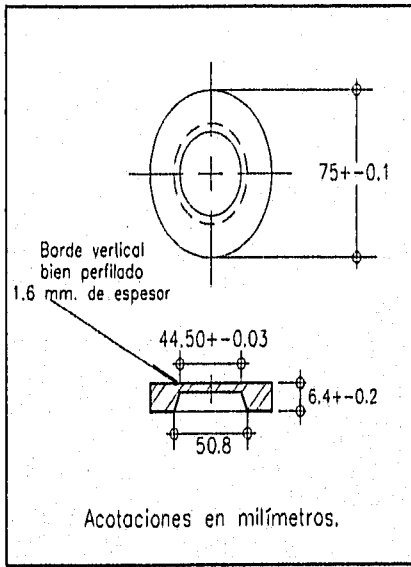


Fig. 1.2 ANILLO PARA LA EXTRUSION

SCT

CENTRO S.C.T.

UNIDAD DE LABORATORIOS

RESIDENCIA

DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS

DEPARTAMENTO DE ENSAYE DE MATERIALES

LABORATORIO CENTRAL

Pasta Núm.	Cemento As- fáltico en peso respec- to al agre- gado %	Cemento As- fáltico en peso respec- to a la mez- cla %	Pesos		Volumen total cm ³	Peso vo- lumétrico g/cm ³	Peso espe- cífico teórico máximo g/cm ³	Relaciones volumétricas respecto al total			Proporción de vacíos entre par- tículas de mat.pétreo VAN %	Resisten- cia a la extrusión kg.
			En aire	En agua				Asfalto	Material pétreo	Vacios llenos de aire %		
			g	g				%	%	%		
	a	b	c	d	e	f	g	h	i	j	k	l
					c-d	c/a	(*)	(+)	(x)	100-h-1	100-i	
1	4.0	3.86	31.17	17.92	13.25	2.353	2.599	8.58	81.96	9.16	18.04	627
2	4.0	3.86	31.28	18.03	13.25	2.361	2.599	8.60	82.24	9.16	17.76	573
3	4.5	4.30	31.34	18.25	13.09	2.394	2.581	9.72	83.00	7.28	17.00	1270
4	4.5	4.30	31.48	18.40	13.08	2.407	2.581	9.77	83.46	6.77	16.54	1300
5	5.0	4.76	31.53	18.56	12.96	2.431	2.564	10.93	83.89	5.18	16.11	2030
6	5.0	4.76	31.65	18.62	13.03	2.429	2.564	10.92	83.82	5.28	16.18	1730
7	5.5	5.21	31.69	18.81	12.88	2.460	2.547	12.10	84.49	3.41	15.51	3200
8	5.5	5.21	31.60	18.71	12.89	2.452	2.547	12.06	84.21	3.73	15.79	2280
9	6.0	5.66	31.77	18.82	12.95	2.453	2.530	13.11	83.85	3.54	16.15	1850
10	6.0	5.66	31.73	18.76	12.97	2.446	2.530	13.07	83.61	3.32	16.39	1900
11	6.5	6.10	31.73	18.79	12.94	2.452	2.514	14.12	83.42	2.46	16.58	1720
12	6.5	6.10	31.85	18.86	12.99	2.452	2.514	14.12	83.42	2.46	16.58	1360
13	7.0	6.56	31.96	18.85	13.11	2.438	2.497	15.10	82.54	2.36	17.46	1260
14	7.0	6.56	31.89	18.83	13.06	2.442	2.497	15.12	82.67	2.21	17.33	1020
P R O M E D I O S												
1-2	4.0	3.86				2357		8.59	82.10	9.31	17.90	600
3-4	4.5	4.30				2400		9.74	83.23	7.03	16.77	1285
5-6	5.0	4.76				2430		10.92	83.86	5.22	16.14	1900
7-8	5.5	5.21				2456		12.08	84.35	3.52	15.65	2270
9-10	6.0	5.66				2449		13.09	83.73	3.18	16.37	1875
11-12	6.5	6.10				2452		14.12	83.42	2.46	16.58	1540
13-14	7.0	6.56				2440		15.11	82.61	2.28	17.39	1140

$$(*) \frac{100}{\frac{b}{S_{CA}} + \frac{100-b}{S_p}}$$

$$(+)$$

$$\frac{b \times f}{\% S_{CA}}$$

$$(x) \frac{(100-b)f}{\% S_p}$$

Pesos específicos relativos de los materiales:

Asfalto, $S_{CA} = 1.059$

Agregado pétreo, $S_p = 2.76$

HOJA DE REGISTRO PARA PRUEBA DE EXTRUSION DE MEZCLAS EN CALIENTE

SECRETARIA DE COMUNICACIONES Y TRANSPORTES
DIRECCION GENERAL DE SERVICIOS TECNICOS
DIRECCION DE ESTUDIOS
SUBDIRECCION DE LABORATORIOS
DEPARTAMENTO DE ENAYES DE MATERIALES
PRUEBA DE EXTRUSION

OPERA: JOSUE GARCIA MENDOZA EMPLEADO: PP-89
 LOCALIDAD: MANAGUA, N. NICARAGUA FECHA DE EMISION: 12/11/87
 ENVIADO POR: _____ FECHA DE INFORME: 12/11/87
 MATERIAL PARA CAPA DE: CARRETA
 UBICACION DE LA PLANTA: _____
 OBJETIVO DEL ENAYE: _____

ESTUDIO I	ESTUDIO II

CARACTERISTICAS	SERIE	NOTAS
CONTENIDO DE CEMENTO	P. 2	
PERMISIVIDAD	P. 2	
TIPO DE CEMENTO	P. 2	
TIPO DE MATERIALES	P. 2	

% C. D. EN PESO RESPECTO AL ASERADO

ELaborado por: _____	En Mta del: _____	En Mta de la Oficina: _____
----------------------	-------------------	-----------------------------

GRAFICAS PARA EL ANALISIS DE RESULTADOS
 DE LA PRUEBA DE EXTRUSION DE MEZCLAS
 ASFALTICAS EN CALIENTE.

I.3 DETERMINACION DEL CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO POR EL METODO MARSHALL.

El método Marshall está limitado al proyecto de control de elaboración de mezclas asfálticas hechas en plantas estacionarias, en caliente, utilizando cemento asfáltico.

En ésta prueba, se determinarán los valores de estabilidad y de flujo en especímenes cilíndricos, compactados axialmente, con un sistema determinado y probados a sesenta (60) grados Centígrados.

El valor de la estabilidad se determinará midiendo la carga necesaria para producir la falla del espécimen; aplicada en sentido normal a su eje.

La deformación vertical producida en el espécimen por dicha carga, será el valor del flujo. El valor de estabilidad expresa la resistencia estructural de la mezcla compactada, y está afectada principalmente por el contenido de asfalto, la composición granulométrica y el tipo de agregado. Principalmente, el valor de estabilidad, es un índice de la calidad del agregado.

El valor de flujo representa la deformación requerida, en el sentido del diámetro del espécimen, para producir su fractura. Este valor es una indicación de la resistencia que ofrecerá la carpeta al deformarse bajo la acción de las cargas impuestas por los vehículos.

OBJETIVO.

De los resultados que se deriven de la prueba se podrá determinar el contenido óptimo de asfalto, que habrá de contener un concreto asfáltico.

EQUIPO.

- 5 charolas.
- Molde para compactación provisto de un collarín y placa de base de diez (10) centímetros de altura y diez (10) centímetros de diámetro, ver figura I.4
- Sostén del molde de compactación.
- Pisón de compactación, equipado con una pesa deslizante de cuatro punto cinco (4.5) kilogramos y cuarenta y seis (46) centímetros de caída, como se indica en la figura I.5
- Extensómetros.
- Medidor de flujo.
- Parrilla eléctrica.
- Cucharón.
- Termómetro de inmersión de doscientos (200) grados centígrados.
- Balanza de veinte (20) kilogramos con aproximación de un (1) gramo.
- Espátulas.
- Baño María.
- Mordazas para la prueba de compresión, ver figura I.6
- Marco de carga Marshall, ver figura I.7

MATERIAL.

- Agregado pétreo.
- Cemento asfáltico, se calculará sobre la base de contenido mínimo de cemento asfáltico.
- papel filtro.
- Aceite quemado.
- Parafina.
- Cubeta.
- Hilo cáñamo.

DESARROLLO DE LA PRUEBA.

1.- Fijar la granulometría de la mezcla asfáltica determinando el porcentaje en peso de los materiales pétreos, retenidos en las mallas de : 1 1/2", 1/2", 1/4", N°10 y materiales que pasan las mallas de 1/4", N° 40.

2.- Se fabricarán tres (3) especímenes para cada uno de los contenidos de cemento asfáltico, pesará aproximadamente cada pastilla mil doscientos (1200) gramos.

3.- Los agregados pétreos y el cemento asfáltico se calentarán previamente a la temperatura de ciento setenta y cinco (175) y ciento veinte (120) grados centígrados respectivamente.

4.- Se hace una mezcla sobre la base de contenido mínimo de cemento asfáltico, que se determina por el procedimiento del área superficial o el procedimiento basado en la distribución del tamaño de las partículas.

5.- Se hacen varias mezclas variando el contenido mínimo de cemento asfáltico que deberán corresponder a los siguientes porcentajes:

Contenido calculado	- 1.0 %
Contenido calculado	NETO
Contenido calculado	+ 0.5 %
Contenido calculado	+ 1.0 %
Contenido calculado	+ 1.5 %
Contenido calculado	+ 2.0 %

6.- La temperatura de la mezcla no debe ser menor de cien (100) grados Centígrados al momento de elaborar el espécimen. En ningún caso la mezcla deberá ser recalentada.

7.- El pisón, el molde y la placa base deberán ser calentados previamente en un baño de agua hirviendo.

8.- Una vez caliente se secará el equipo del baño y se colocará un filtro en el fondo del molde previamente engrasado y se llenará éste con la mezcla caliente.

9.- Se apoyará el pisón sobre la mezcla y se aplicarán cincuenta (50) golpes de pisón con la pesa deslizante en cada cara del espécimen. Las caras del pisón deberán ser mantenidas paralelas a la base del molde durante el proceso de compactación.

El proceso de compactación anteriormente descrito se aplicará al estudio de mezclas proyectadas para recibir presiones de contacto que no excedan de siete (7) kilogramos por centímetro cuadrado ó cien (100) libras por puigada cuadrada.

10.- El número de golpes en cada cara del espécimen deberá aumentarse a setenta y cinco (75) golpes cuando las mezclas se proyecten para recibir presiones de contacto comprendidas entre siete y catorce (7 - 14) kilogramos por centímetro cuadrado ó de cien a doscientas (100 a 200) libras por pulgada cuadrada.

11.- Terminada la compactación se extraerá el espécimen del molde, dejándolo enfriar a la temperatura ambiente durante veinticuatro (24) horas una vez terminadas las dieciocho (18) pastillas se obtiene su peso en aire.

12.- Se funde la parafina hasta quedar líquida, y se cubren los especímenes con ella para obtener su peso en aire y sumergidos en agua a una temperatura de sesenta (60) grados Centígrados con medio grado de tolerancia y se mantendrá ahí durante veinte a treinta (20 a 30) minutos.

13.- Mientras los especímenes se encuentran en el tanque de agua, se limpia la superficie del anillo seccionado y se lubricarán los postes guía de tal manera que la sección superior del anillo seccionado se deslice libremente, se ajustará a cero el extensómetro del anillo de carga.

14.- Posteriormente se quita cuidadosamente la parafina para ser sometidas a compresión lateral, parcialmente confinadas sujetándola con las mordazas y se le da carga con el marco Marshall hasta la ruptura. Se aplicará la carga al espécimen a una velocidad constante de cinco (5) centímetros sobre minuto hasta que la falla ocurra.

15.- Se registrarán para cada ensaye los siguientes datos:

- a) La carga de ruptura P en kilogramos, conocida como *ESTABILIDAD*.
- b) La deformación delta en milímetros, conocida como *FLUJO*.
- c) El *PESO VOLUMETRICO* para ese contenido de asfalto en porciento.
- d) El flujo para ese mismo contenido.

16.- Se realizarán las siguientes gráficas:

- a) *Peso volumétrico* vs porcentaje de cemento asfáltico.
- b) *Relación de vacíos* vs porcentaje de cemento asfáltico.
- c) *Estabilidad* vs porcentaje de cemento asfáltico.
- d) *flujo* vs porcentaje de cemento asfáltico.
- E) *g de V . A . M .* vs porcentaje de cemento asfáltico.

17.- Con estas gráficas se encuentra el contenido óptimo de asfalto de la siguiente manera:

$$\% \text{ CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO} = \frac{c1 + c2 + c3 + c4}{4} = \% \text{ CO}$$

donde:

CO. Contenido óptimo de asfalto en porcentaje.

c1. Contenido para el máximo peso volumétrico.

c2. Contenido para la máxima estabilidad.

c3. Contenido correspondiente al valor medio de porcentaje de vacíos señalado en la tabla

c4. Contenido correspondiente al valor promedio del porcentaje de huecos ocupados por el cemento asfáltico señalados en la tabla que se indica a continuación:

10.- El número de golpes en cada cara del espécimen deberá aumentarse a setenta y cinco (75) golpes cuando las mezclas se proyecten para recibir presiones de contacto comprendidas entre siete y catorce (7 - 14) kilogramos por centímetro cuadrado ó de cien a doscientas (100 a 200) libras por pulgada cuadrada.

11.- Terminada la compactación se extraerá el espécimen del molde, dejándolo enfriar a la temperatura ambiente durante veinticuatro (24) horas una vez terminadas las dieciocho (18) pastillas se obtiene su peso en aire.

12.- Se funde la parafina hasta quedar líquida, y se cubren los especímenes con ella para obtener su peso en aire y sumergidos en agua a una temperatura de sesenta (60) grados Centígrados con medio grado de tolerancia y se mantendrá ahí durante veinte a treinta (20 a 30) minutos.

13.- Mientras los especímenes se encuentran en el tanque de agua, se limpia la superficie del anillo seccionado y se lubricarán los postes guía de tal manera que la sección superior del anillo seccionado se deslice libremente, se ajustará a cero el extensómetro del anillo de carga.

14.- Posteriormente se quita cuidadosamente la parafina para ser sometidas a compresión lateral, parcialmente confinadas sujetándola con las mordazas y se le da carga con el marco Marshall hasta la ruptura. Se aplicará la carga al espécimen a una velocidad constante de cinco (5) centímetros sobre minuto hasta que la falla ocurra.

15.- Se registrarán para cada ensaye los siguientes datos:

- a) La carga de ruptura P en kilogramos, conocida como *ESTABILIDAD*.
- b) La deformación delta en milímetros, conocida como *FLUJO*.
- c) *El PESO VOLUMETRICO* para ese contenido de asfalto en por ciento.
- d) El flujo para ese mismo contenido.

16.- Se realizarán las siguientes gráficas:

- a) *Peso volumétrico* vs porcentaje de cemento asfáltico.
- b) *Relación de vacíos* vs porcentaje de cemento asfáltico.
- c) *Estabilidad* vs porcentaje de cemento asfáltico.
- d) *flujo* vs porcentaje de cemento asfáltico.
- E) $\frac{g}{cm^3}$ de $V, A, M,$ vs porcentaje de cemento asfáltico.

17.- Con estas gráficas se encuentra el contenido óptimo de asfalto de la siguiente manera:

$$\% \text{ CONTENIDO OPTIMO DE ASFALTO} = \frac{c1 + c2 + c3 + c4}{4} = \% \text{ CO}$$

donde:

CO. Contenido óptimo de asfalto en porcentaje.

c1. Contenido para el máximo peso volumétrico.

c2. Contenido para la máxima estabilidad.

c3. Contenido correspondiente al valor medio de porcentaje de vacíos señalado en la tabla

c4. Contenido correspondiente al valor promedio del porcentaje de huecos ocupados por el cemento asfáltico señalados en la tabla que se indica a continuación:

Prueba	Tipo de Mezcla	Presión de contacto de las llantas	
		7 kg/cm ²	14 kg/cm ²
Estabilidad		225kg, min.	450kg, min.
Flujo		4 mm Máx.	5 mm Máx.
Porcentaje de vacíos	Con agregado de tamaño máximo de 3/4".	3-5	3-5
	Con agregado de tamaño máximo de 1/4".	5-7	6-8
Porcentaje de huecos ocupados por el C.A.	Con agregado de tamaño máximo de 3/4".	75-85	75-82
	Con agregado de tamaño máximo de 1/4".	65-75	65-72

OBSERVACIONES Y RECOMENDACIONES.

Tomar en cuenta la composición granulométrica y el tipo de agregado.

Verificar que el cemento asfáltico empleado este a la temperatura indicada.

Homogeneizar perfectamente el agregado con el cemento asfáltico.

Eliminar cualquier residuo en el equipo antes y después de la realización de la prueba.

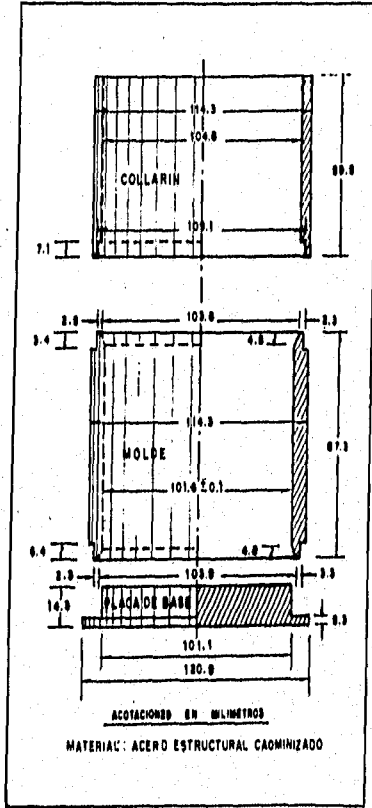


FIG. 1.4 MOLDE DE COMPACTACION PARA LA PRUEBA DE MARSHALL.

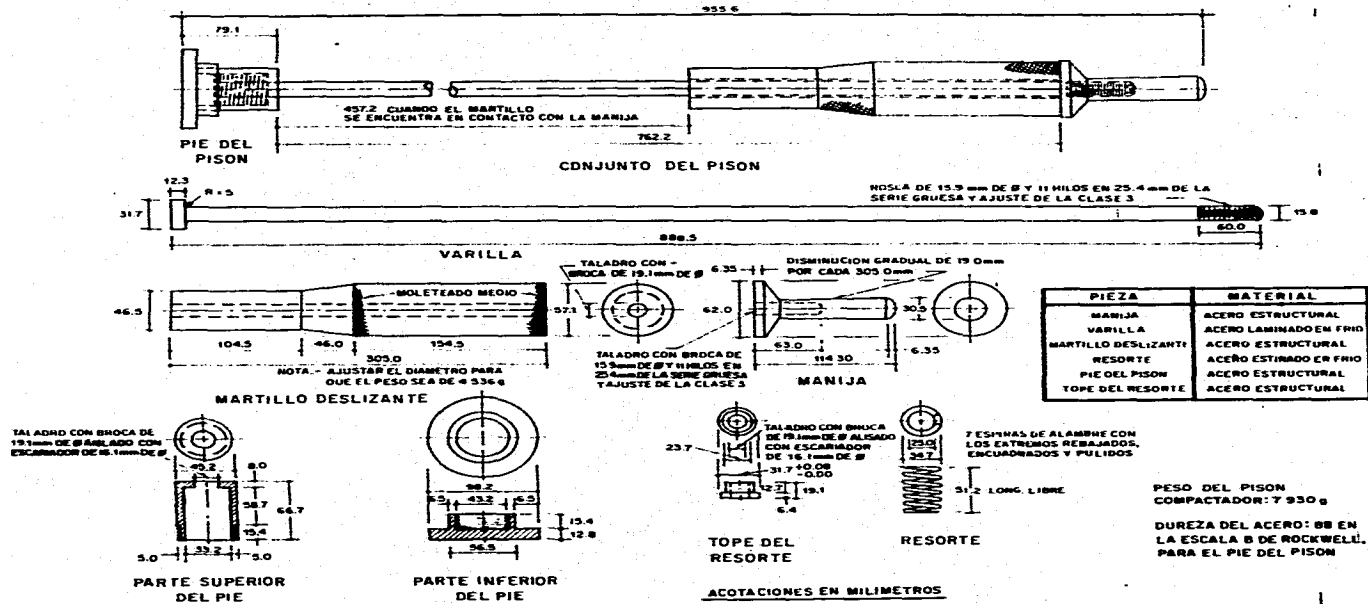


FIG. I.5 PISON DE COMPACTACION MARSHALL.

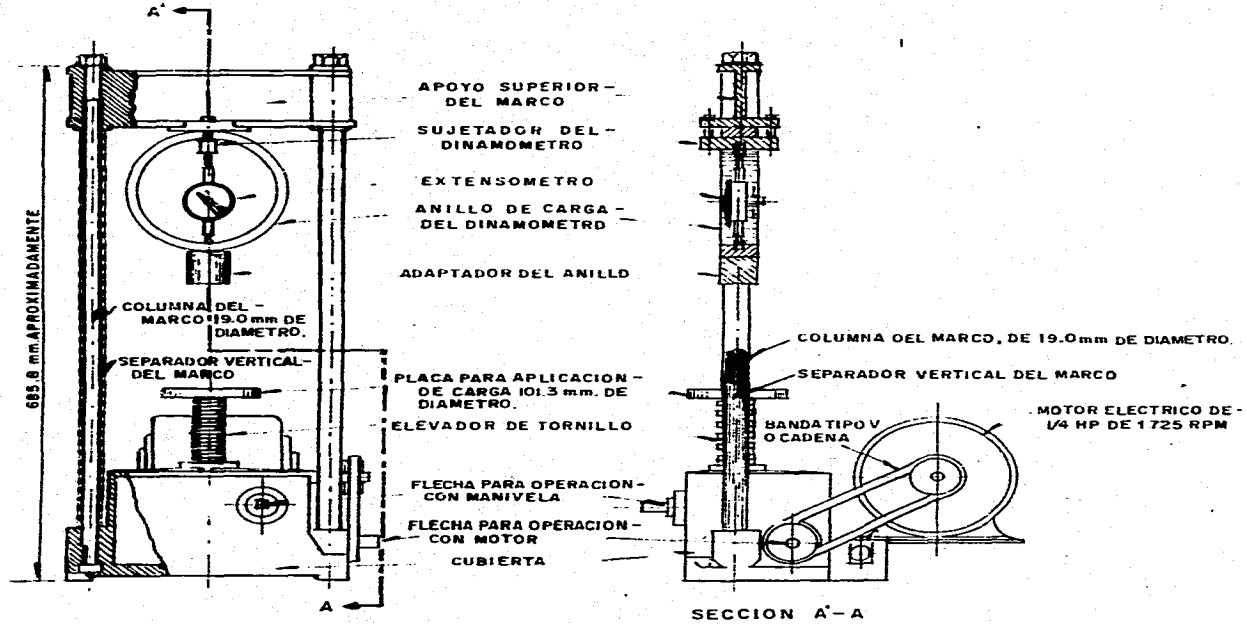
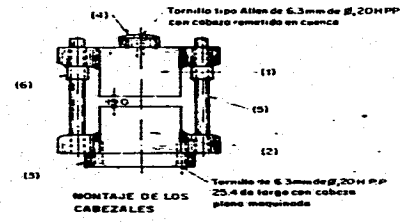
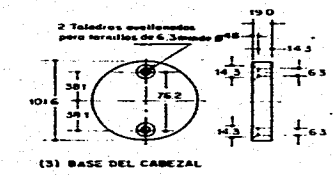
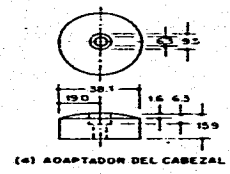
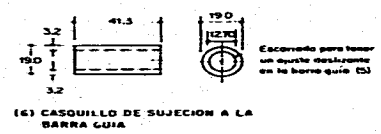
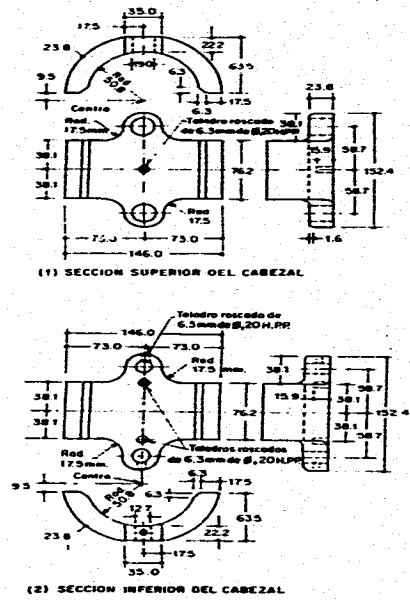


FIG. I.7 ESQUEMA DE LA MAQUINA DE PRUEBAS MARSHALL.



ACOTACIONES EN MILIMETROS
N. P. P. = NILOS POR PULGADA.

38

FIG. I.6 CABEZAL PARA PROBAR LOS ESPECIMENES MARSHALL.

ANEXO I.

Emulsiones asfálticas aniónicas

CARACTERÍSTICAS	GRADO				
	Reemplazo Rápido		Reemplazo Medio	Reemplazo Lento	
	RR-1	RR-2	RM-3	RL-1	RL-2
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Viscosidad Saybolt-Furul a 50 °C, segundos	20-100	75-400	100 Mín	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furul a 25 °C, segundos	57	62	62	57	57
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo	3	3	3	3	3
Asentamiento en 5 días, diferencia en por ciento, máximo	60	50	30	2.0	2.0
Demulsibilidad:					
35 ml de 0.02N CoCl ₂ , por ciento, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
50 ml de 0.10N CoCl ₂ , por ciento, máximo					
Retenido en la malla Núm. 20 por ciento, máximo				2.0	2.0
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo					
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados	100-200	100-200	100-200	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	97.5	97.5	97.5	97.5	97.5
Ductilidad, 25°C, cm., mínimo	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentarse más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (10°C) o diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) o cuarenta grados centígrados (40°C).

Emulsiones asfálticas catiónicas

CARACTERÍSTICAS	GRADO					
	Reemplazo Rápido		Reemplazo Medio		Reemplazo Lento	
	RR-2X	RR-3X	RM-2X	RM-3X	RL-2X	RL-3X
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO						
Viscosidad Saybolt-Furul, 25°C, segundos	20-100	100-400	50-500	50-600	20-100	20-100
Viscosidad Saybolt-Furul, 50°C, segundos	60	65	60	65	57	57
Residuo de la destilación, porcentaje en peso, mínimo	5	5	5	5	5	5
Asentamiento en 5 días, diferencia en porcentaje, máximo	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10	0.10
Retenido en la malla Núm. 20, por ciento, máximo						
Cubrimiento del agregado (en condiciones de trabajo). Prueba de resistencia al agua:						
Agregado seco, por ciento de cubrimiento, mínimo			80	80		
Agregado húmedo, por ciento de cubrimiento, mínimo			60	60		
Miscibilidad con cemento Portland, por ciento, máximo					2	2
Caraca de la partícula	Positivo	Positivo	Positivo	Positivo		
pH, máximo					6.7	6.7
Disolvente en volumen, por ciento, máximo	3	3	20	12		
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION						
Penetración, 25°C, 100 g, 5 segundos, grados	100-250	100-250	100-250	100-250	100-200	40-90
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	97	97	97	97	97	97
Ductilidad, 25°C, cm., mínimo	40	40	40	40	40	40

Nota: La viscosidad de las emulsiones no debe aumentarse más de treinta por ciento (30%) al bajar su temperatura de veinte grados centígrados (10°C) o diez grados centígrados (10°C), ni bajar más de treinta por ciento (30%) al subir su temperatura de veinte grados centígrados (20°C) o cuarenta grados centígrados (40°C).

Cementos asfálticos

CARACTERISTICAS	CEMENTO ASFALTICO			
	Núm. 3	Núm. 6	Núm. 7	Núm. 8
Penetración, 100g 5s, 25°C, grados	180-200	80-100	60-70	40-60
Viscosidad Saybolt-Furell: A 135°C, s, mínima	60	85	100	120
Punto de inflamación (copa abierta de Cleveland), °C mínimo	220	232	232	232
Punto de reblandecimiento, °C	37-43	46-52	48-56	52-60
Ductilidad, 25°C, cm, mínima	60	100	100	100
Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínima	99.5	99.5	99.5	99.5
Prueba de la película delgada, 50 cm ² 5h, 163°C: Penetración tenida, por ciento, mínimo Pérdida por calentamiento, por ciento, máximo	4.0 1.4	5.0 1.0	5.4 0.8	5.8 0.8

Asfalto rebajado de fraguado rápido

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FR-0	FR-1	FR-2	FR-3	FR-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo			27	27	27
Viscosidad Saybolt-Furell: A 25°C, segundos A 50°C, segundos A 82°C, segundos	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C Hasta 45°C, mínimo Hasta 45°C, máximo Hasta 45°C, mínimo Hasta 45°C, máximo	15 55 75 90	10 80 70 88	40 65 87	25 55 83	8 40 80
Residuo de la destilación a 360°C, Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo Agua por destilación, por ciento, máximo	50 0.2	60 0.2	67 0.2	73 0.2	78 0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados Ductilidad en centímetros, mínimo Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	80-120 100 99.5	80-120 100 99.5	80-120 100 99.5	80-120 100 99.5	80-120 100 99.5

Asfalto rebajado de fraguado medio

CARACTERISTICAS	GRADO				
	FM-0	FM-1	FM-2	FM-3	FM-4
PRUEBAS AL MATERIAL ASFALTICO					
Punto de inflamación (copa abierta de Tag), °C mínimo	38	38	66	66	66
Viscosidad Saybolt-Furell: A 25°C, segundos A 50°C, segundos A 82°C, segundos	75-150	75-150	100-200	250-500	125-250
Destilación: Por ciento del total destilado a 360°C Hasta 225°C, máximo Hasta 250°C Hasta 310°C	25 40-70 75-93	20 25-65 70-90	10 15-55 60-87	5 5-40 55-83	30 Max. 40-80
Residuo de la destilación a 360°C, Por ciento del volumen total por diferencia, mínimo Agua por destilación, por ciento, máximo	50 0.2	60 0.2	67 0.2	73 0.2	78 0.2
PRUEBAS AL RESIDUO DE LA DESTILACION					
Penetración, grados Ductilidad en centímetros, mínimo Solubilidad en tetracloruro de carbono, por ciento, mínimo	120-300 100 99.5	128-300 100 99.5	120-300 100 99.5	120-300 100 99.5	120-300 100 99.5

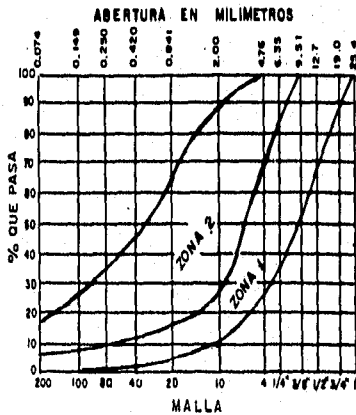
ESPECIFICACIONES GRANULOMETRICAS PARA MATERIALES PETREOS QUE SE EMPLEAN EN CARPETAS ASFALTICAS POR EL SISTEMA DE RIEGOS O PARA RIEGOS DE SELLO

DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	POR CIENTO QUE PASA LA MALLA										
	50.8 mm (2")	38.1 mm (1 1/2")	32.0 mm (1 1/4")	25.4 mm (1")	18.0 mm (3/4")	12.7 mm (1/2")	9.5 mm (3/8")	6.35 mm (1/4")	4.75 mm (Núm. 4)	3.35 mm (Núm. 8)	0.425 mm (Núm. 40)
1			100	95 Mín.		5 Mdx.		0			
2					100	95 M/n		5 Mdx		0	
3-A						100	95 M/n.			5 Mdx.	0
3-B							100	95 M/n.		5 Mdx.	0
3-E						100	95 M/n.		5 Mdx.	0	

Especificaciones para materiales pétreos que se emplean en carpetas asfálticas por el sistema de riegos o para riegos de sellos (material 3).

Carpeta	Materiales	1a. Capa (l/m ²)	2a. Capa (l/m ²)	3a. Capa (l/m ²)
3 riegos	Cemento asfáltico pétreo	0.6-1.1 #1: 20-25	1.1-1.4 #2: 8-12	0.7-2.0 #3: 6-8
2 riegos	Cemento asfáltico pétreo	0.6-1.0 #2: 8-12	0.8-1.1 #3: 6-8	
1 riego	Cemento asfáltico pétreo	0.6-1.0 #3: 8-11		

Cantidades de material pétreo y cemento asfáltico que se recomiendan para la construcción de carpetas por el sistema de riegos. Para conocer la cantidad de asfalto rebajado o emulsificado, la cantidad aceptada de cemento asfáltico, se divide entre el porcentaje de este material contenida en el producto asfáltico y es el resultado de una prueba de destilación.



Zona a la que deben localizarse los granulometrias de los materiales pétreos para (a) concretos asfálticos; (b) mezclas en el lugar.

CAPITULO II. DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE CALIDAD DEL MATERIAL PETREO PARA EL ESTUDIO

La manera comúnmente empleada de hacer uso del asfalto en la elaboración de carpetas para caminos, es mezclándolo con un agregado pétreo de características conocidas. Sin embargo, no cualquier tipo de agregado pétreo puede emplearse en forma adecuada para formar carpeta. De ahí la necesidad de que conozcamos sus características físicas para saber si es apto o no. Para conocer las características físicas de los agregados que se pretenden emplear en la elaboración de carpetas asfálticas es necesario llevarles a cabo pruebas de laboratorio tales como peso volumétrico seco y suelto, granulometría, densidad absorción, porcentaje de partículas alargadas y lajeadas, contracción lineal etc. En general los materiales pétreos para carpetas asfálticas deben llenar los siguientes requisitos:

- a) No deben emplearse agregados pétreos que presenten más del 5 %, en peso, de fragmentos en forma de laja o que tengan marcada tendencia a romper en forma de lajas cuando se les tritura. Generalmente se les considera como lajas las que tengan una longitud mayor de tres veces la dimensión menor del agregado.
- b) No deben emplearse agregados pétreos que contengan materia orgánica en forma perjudicial o arcilla en grumos.
- c) Los agregados pétreos no deben tener más del 20% de fragmentos suaves.
- d) Los agregados pétreos deben de emplearse de preferencia secos o cuando mucho con una humedad igual a la absorción de ese material. En caso contrario deba emplearse un adicionante en el asfalto.

- e) El tamaño máximo del agregado pétreo no deberá ser mayor que las 2/3 partes del espesor de la carpeta proyectada.
- f) Tener suficiente resistencia para soportar, sin romperse, las cargas del equipo de compactación.
- g) La proporción que pase la malla No. 40 no debe tener una contracción lineal mayor de tres.
- h) Los materiales pétreos deben llenar características granulométricas tales que cumplan con las especificaciones marcadas por las curvas granulométricas de proyecto.

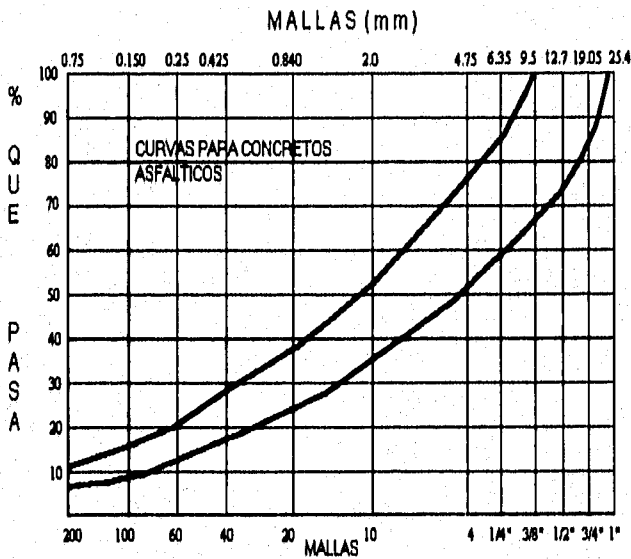


Fig. II.1 GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA

i) El desgaste determinado con la máquina Los Angeles no debe ser mayor del 40%.

j) La absorción del material no debe ser mayor del 3%.

k) La densidad aparente del material pétreo no debe ser menor de 2,3 .

l) El material pétreo debe tener buena adherencia con el asfalto.

m) El material pétreo debe resistir la prueba de intemperismo acelerado.

Las pruebas de laboratorio a que se someten los materiales pétreos para carpetas asfálticas son las siguientes:

1.- PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO.

2.- GRANULOMETRIA.

3.- DESGASTE.

4.- CONTRACCION LINEAL.

1.- PESO VOLUMETRICO SECO Y SUELTO. La obtención del Peso Volumétrico Seco y Suelto de los materiales pétreos para carpetas asfálticas tiene por objeto hacer conversiones de pesos de material a volúmenes. La prueba se ejecuta de la siguiente manera:

Se toma por cuarteos una cantidad determinada de la muestra representativa que se pretenda ensayar , se seca y se disgrega para luego llenar un recipiente de volumen conocido dejando caer el material desde una altura de unos 20 cm. Sin apretar dicho material en el recipiente y sin mover éste para evitar que el material se acomode por los movimientos del recipiente. Hecho lo anterior el material se enrasa dentro del molde y se pesa. A este peso se le resta el peso del recipiente y se divide entre el volumen del mismo obteniéndose así, el Peso Volumétrico Seco y Suelto del material.

Los cálculos se realizan de la siguiente manera:

$$P.V. H. = \frac{(P.Mat + Recip) - (P.Recip)}{\text{Vol. Recipiente}}$$

Vol. Recipiente

$$W = \frac{(P.Mat + Tara) - (P.Mat. seco + Tara)}{(P.Tara + Mat. seco) - (P. Tara)} \times 100$$

$$P.V.S.S. = \frac{P. V. H}{1 + W \text{ (en decimales)}}$$

donde:

W= Contenido de humedad.

P.V.S.S= Peso volumétrico seco y suelto.

P. V. H.= Peso volumétrico húmedo.

$$P.V.H. = \frac{(17.8 \text{ kg}) - (5.25 \text{ kg})}{0.014 \text{ m}^3}$$

$$P.V.H. = 1\,649 \text{ kg/m}^3$$

$$W = \frac{(317 \text{ grs}) - (301 \text{ grs})}{(301 \text{ grs}) - (86.5 \text{ grs})}$$

$$W = 7\%$$

$$P.V.S.S. = \frac{1\,649 \text{ kg/m}^3}{1 + 0.07}$$

$$P.V.S.S. = 1\,542 \text{ kg/m}^3$$

2. GRANULOMETRIA. La determinación de la composición granulométrica de un material pétreo que se pretenda emplear en la elaboración de carpetas asfálticas, es de primordial importancia, por que en función de ella se puede conocer de antemano qué clase de textura final tendrá la carpeta.

La granulometría de un agregado denota la distribución de tamaño de partículas y está determinada por el paso del material a través de una serie de mallas con aberturas más pequeñas progresivamente, y pesando el material retenido de cada una de ellas para posteriormente graficarlas.

Las mallas de tamaño mas grande, comúnmente empleadas en pulgadas; las mallas de tamaño mas pequeño son designadas por número, el cual denota cuantos hilos por pulgada cuadrada tiene dicha malla.

Las mallas de tamaño mas grande, se designan por el tamaño de la abertura en pulgadas, un ejemplo son las mallas de dos, tres octavos ($2''$, $3/8''$) de pulgada.

Los números que se designan a las mallas más pequeñas, indican el número de hilos por pulgada cuadrada, contenida en la malla.

De los métodos gráficos para determinar las proporciones aproximadas en que deben intervenir los agregados pétreos que integran una mezcla, se aplicarán procedimientos como el siguiente:

Para el caso de dos materiales con granulometrías francamente diferentes pero que tiendan a complementarse, se dibujan las gráficas granulométricas de cada material y se traza sobre cada una de ellas una recta de tal manera que estimativamente el área comprendida entre

la curva granulométrica considerada (ver tabla) y la recta dibujada sea mínima, estas rectas compensadoras representan la gráfica granulométrica respectiva. Hecho lo anterior, se dibuja la curva granulométrica de proyecto (ver fig. II.4) o la especificada para la mezcla y a continuación se unen sucesivamente el extremo superior de una compensadora con el inferior de la siguiente, marcando luego los puntos en que estas líneas de liga cortan a la de especificaciones; proyectando estos puntos sobre el eje de las ordenadas se determinan los porcentajes aproximados en que interviene cada material.

Malla Número	Límite especificado, por ciento que pasa.	Parte media de la zona de especificaciones, por ciento que pasa
25.400 (1")	100	100
19.030 (3/4")	90 - 100	95
9.520 (3/8")	65 - 100	82
4.750 (N.4)	48 - 70	59
2.000 (N.10)	33 - 48	40
0.425 (N.40)	17 - 25	21
0.150 (N.100)	9 - 16	12
0.075 (N.200)	6 - 10	8

Se practicó la granulometría al basalto triturado y a la arena por separado, obteniendo los siguientes resultados:

BASALTO TRITURADO

MALLA	% QUE PASA
1"	--
3/4"	100
1/2"	84
3/8"	70
1/4"	54
No. 4	45
No. 10	27
No. 20	17
No. 40	12
No. 60	9
No. 100	7
No. 200	5

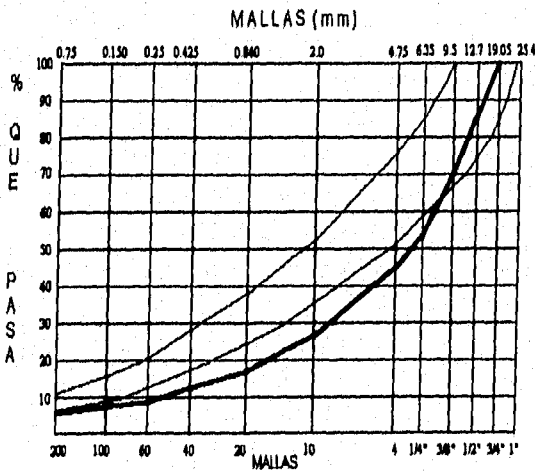


Fig. 8.3 GRÁFICA DE COMPOSICIÓN GRANULOMÉTRICA PARA EL BASALTO

ARENA ANDESITA

MALLA	% QUE PASA
1"	--
3/4"	--
1/2"	--
3/8"	100
1/4"	95
No. 4	88
No. 10	69
No. 20	50
No. 40	36
No. 60	26
No. 100	19
No. 200	12

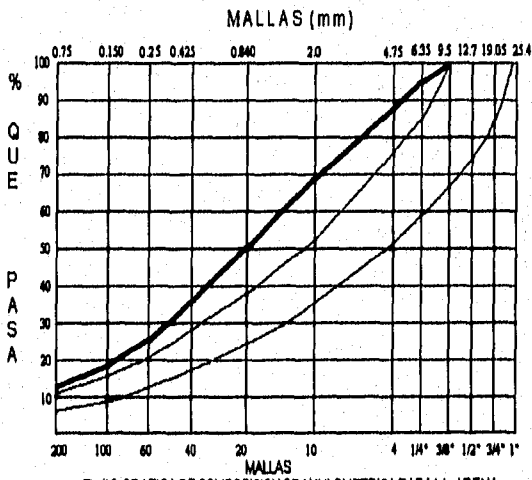


Fig II.2 GRAFICA DE COMPOSICION GRANULOMETRICA PARA LA ARENA

La granulometría juega un papel importante en el uso de materiales para carpetas, por lo que hay ejemplos claros, como el de la planta de asfalto COTEPSA; la cual realiza la mezcla de los materiales pétreos en porcentaje de su peso; es decir equilibra la granulometría con una relación de 70 - 30 de basalto triturado y arena respectivamente para caer así dentro de las granulometrias especificadas en la fig. II.1., la cual queda de la siguiente forma:

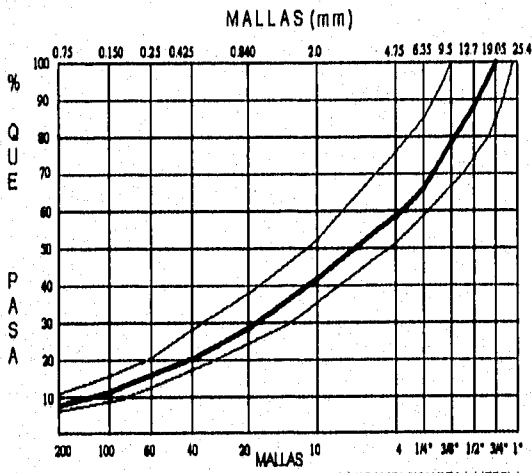


Fig. II.4 COMPOSICION GRANULOMETRICA PARA LA REALIZACION DE LA MEZCLA

3.- **DESGASTE.** Esta prueba tiene por objeto conocer la calidad del material pétreo desde el punto de vista de su desgaste ya sea por el grado de alteración del agregado, por la presencia de planos débiles y aristas de fácil desgaste. Cuando se trata de analizar el desgaste de rocas en trozos se emplea la máquina Deval, pero cuando se trata de los agregados se emplea la máquina de Los Angeles denominándose el resultado Desgaste Los Angeles. La prueba se ejecuta de la siguiente manera:

La muestra a ensayar se lava para eliminar el polvo que tenga adherido y después se seca a peso constante en un horno. La muestra seleccionada se pesa (P1), se coloca junto con las esferas en la máquina, se coloca 5 kg. de material pétreo lavado y cribado por la malla de 3/4" y retenido 1/4".

La muestra se coloca junto a un grupo de 11 esferas metálicas de cuatrocientos cincuenta y cuatro (454) gramos de peso cada una y se hace funcionar la máquina hasta completar quinientas (500) revoluciones a aproximadamente treinta y tres (33) revoluciones por minuto. Se saca la muestra y se criba con la malla No. 12. El porcentaje de desgaste será:

$$\% \text{ desgaste} = \frac{\text{peso final que pasa por la malla No. 12}}{\text{peso inicial del material}} \times 100$$

$$\% \text{ desgaste} = \frac{0,85 \text{ kg.}}{5 \text{ kg.}} \times 100$$

$$\% \text{ desgaste} = 17$$

4.- CONTRACCIÓN LINEAL. La contracción lineal de los finos del material pétreo, nos indica la presencia de mucha o poca actividad de la arcilla que contengan. Si la arcilla se presenta en forma de película delgada adherida al material pétreo, provoca una baja adherencia del asfalto con el agregado pétreo. Si la arcilla se encuentra en grumos o terrones serán puntos débiles y de falla de la carpeta, en presencia del agua. La contracción lineal es la disminución en una dimensión de la masa del suelo expresada como un porcentaje de la dimensión original cuando su contenido de humedad se reduce desde una cantidad (agua) a la humedad del límite líquido del material hasta el límite de contracción del mismo.

El límite de contracción, es el contenido de agua que marca la frontera entre los estados semisólido y sólido. La contracción lineal se determina de la siguiente manera:

El material que pase en la malla número cuarenta (40) se colocará en un molde de dos por dos por diez (2X 2 X 10) centímetros en tres capas. Para lo cual se golpea su base para evitar la presencia de vacíos en su llenado por capas. Se deja reposar de dos (2) a tres (3) horas y después se mete al horno en un período de dieciséis a veinticuatro (16 a 24) horas hasta que se seque. Se mide la longitud interior del molde, correspondiente a la longitud inicial del espécimen húmedo. La contracción lineal se calcula con la siguiente expresión :

$$CL \% = \frac{L_i - L_f}{L_i} \times 100$$

donde:

CL.- Es la contracción lineal, en porcentaje.

L_i.- Longitud inicial, en centímetros.

L_f.- Longitud final, en centímetros.

Los cálculos se realizan de la siguiente manera:

longitud inicial 10 cms.

longitud final 9,85 cms.

$$C.L. = \frac{10 - 9.85}{10} \times 100$$

$$C.L. = 1.5$$

CAPITULO III RESULTADOS DE PASTILLAS MARSHAL

En este capítulo vamos a obtener las características de estabilidad, flujo, peso volumétrico y relación de vacíos; por medio de la prueba Marshall (dinámica a 75 golpes), que ya ha sido descrita en el capítulo I. Como se indica en esta prueba, adoptaremos un proceso tabular para desarrollar el trabajo, como se puede observar en la tabla de registro Marshall.

Los resultados que se obtengan de esta prueba serán de mucha utilidad para poder establecer la relación que existe entre la aplicación de una carga dinámica y una carga estática.

III.1 ELABORACION DE PASTILLAS MARSHALL.

El material utilizado para este estudio fue un basalto triturado, procedente de "El Banco Venta de Cruz", ubicado en el estado de Hidalgo, México, y almacenado en la planta de asfalto COTEPSA (*Controles y Técnicas Profesionales en Urbanizaciones y construcciones S.A. de C.V.*) al cual se le aplicaron las pruebas de laboratorio descritas en el capítulo II. El material fue cribado por las mallas de 3/4", 1/2", 1/4" y No. 40 quedando dentro de las especificaciones de granulometría, ver fig. III.1, por tal motivo no hubo necesidad de hacerle ajustes. El cemento asfáltico utilizado para el estudio fue un cemento del número seis (No. 6), obtenido de la planta de asfalto *Factor S. A.* el cual cumplió con los parámetros necesarios para ser factible en la elaboración de mezclas asfálticas.

Como lo señala la prueba se fabricaron 18 pastillas, 3 por cada contenido de asfalto, basado sobre el contenido mínimo de cemento asfáltico por el método de área superficial, determinado de la siguiente manera:

- Primeramente se determina la composición granulométrica del material pétreo; para nuestro material en estudio fue

-Material pasa malla 3/4" y se retiene en No.4	40%
-Material pasa malla No.4 y se retiene en No. 40	40%
-Material pasa malla No.40 y se retiene en No.200	13%
-Material pasa malla No. 200	<u>07%</u>
	100%

Los cuales fueron obtenidos de la siguiente manera:

De la gráfica de composición granulométrica obtenida en el capítulo II cuando nos referimos a la granulometría del material pétreo en estudio (ver fig II. 4) tenemos que entre el material que pasa la malla de 3/4 " y se retiene en la malla No. 4, llega desde 100 % hasta el 60 %, lo cual nos indica que de 100 % que pasa la malla de 3/4 ", solo queda retenido un 40 % de material en la malla No. 4, así consecutivamente con los demás porcentajes presentados en la relación anteriormente mencionada.

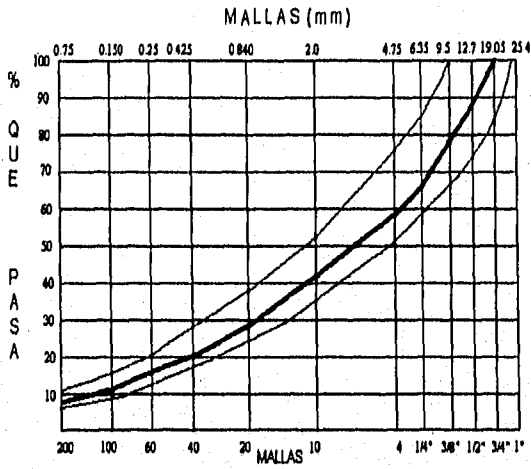


Fig. II.4 COMPOSICION GRANULOMETRICA PARA LA REALIZACION DE LA MEZCLA

Así estos porcentajes (F) se multiplican por su constante de área (K), ver tabla cte área ,

y por consiguiente :

MATERIAL		Área superficial de partículas, K, en m ² /kg.
Pasa malla Núm.	Retiene en malla Núm.	
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

F	K	F x K.
0.40	x 0.41	= 0.164
0.40	x 2.05	= 0.820
0.13	x 15.38	= 2.000
0.07	x 53.39	= <u>3.731</u>
		6.715

La sumatoria anterior se multiplica por el índice asfáltico, proporcionado por la tabla , considerando la absorción y el tipo de material pétreo, tenemos que:

Materiales pétreos de partículas	Índices asfálticos en kg/m ³		
	Absorción 0.0 a 2.5%	Absorción 2.6 a 5.0%	Absorción Mayor de 5.0%
Redondeadas	0.0055	0.0085	0.0075
Sub-angulosas	0.0065	0.0075	0.0085
Angulosas	0.0075	0.0085	0.0100

$$I = 0.0085$$

Aplicando

$$PRA = FK I$$

donde:

PRA= contenido de cemento asfáltico) en kg C.A. por cada kg de material pétreo.

P= porcentaje de material retenido.

K= constante de área.

I = índice de absorción.

obtenemos:

$$\begin{aligned} PRA &= 6.715 \times 0.0085 \\ &= 0.0571 \end{aligned}$$

5,50 % de cemento asfáltico en peso.

Las cantidades de producto asfáltico deberán corresponder a los siguientes contenidos de cemento asfáltico, expresados como porcentajes del peso del material pétreo.

Contenido calculado	-1.0%
Contenido calculado	NETO
Contenido calculado	+0.5%
Contenido calculado	+1.0%
Contenido calculado	+1.5%
Contenido calculado	+2.0%

Para nuestras 18 pastillas, elaboradas con 1100 gr de material pétreo, tenemos lo siguiente:

Prueba No.	No. Pastillas a elaborar	% C.A.	Peso C.A.(gr)
1	3	4.5	49.5
2	3	5.5	60.5
3	3	6.0	66.0
4	3	6.5	71.5
5	3	7.0	77.0
6	3	7.5	82.5

La preparación de las mezclas de prueba para fines de diseño Marshall se llevan a cabo con la cantidad necesaria de materiales pétreos para que el ensayo dé una altura aproximada de

seis punto treinta y cinco (6.35) centímetros con una tolerancia de mas menos tres punto cinco (+ - 3.5) milímetros, ver tabla de registro Marshall columna "q".

El cemento asfáltico y el agregado pétreo fueron calentados a ciento veinte y ciento sesenta (120°C y 160°C) grados Celsius respectivamente, para lograr una buena temperatura de mezclado. En la formación de los especímenes, la temperatura nunca fue menor de cien (100°C) grados Celsius al momento de llevar a cabo la compactación de las pastillas.

Para llevar a cabo la compactación es necesario colocar dentro del molde un papel filtro para evitar que los materiales pétreos y el cemento asfáltico mezclados queden adheridos a la placa base del molde; el papel filtro es también colocado al terminar de agregar la mezcla al molde para evitar que la mezcla se adhiera al pisón de compactación.

Una vez compactada la pastilla, se coloca bajo la llave del agua para que enfrie el molde y la pastilla y así poder ser extraída sin sufrir deformaciones, ni rupturas. Cuando una pastilla no puede salir directamente con las manos, es necesario colocar el molde (ver figura 1.4) sobre el collarín y aplicar golpes con el pisón de compactación hasta que las tres cuartas partes de la pastilla queden fuera del molde, para poder ser extraída con las manos; es importante aplicar los golpes con cuidado ya que puede ser negativo el resultado de esta operación al tratar de obtener la pastilla intacta.

El estudio de esta mezcla se proyectó para recibir presiones de contacto de las llantas mayores de 7.0 kg/cm², por lo tanto la mezcla asfáltica ya preparada y vaciada en el molde se compactó aplicándole 75 golpes de pisón por cada cara del espécimen.

III.2 DETERMINACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS DE PESO VOLUMÉTRICO, ESTABILIDAD, FLUJO Y RELACION DE VACÍOS MARSHALL.

La búsqueda de estas características se llevará a cabo solamente después de haber esperado que todas las pastillas tomen una temperatura similar, lo cual se logra al dejar enfriar los especímenes a temperatura ambiente durante un periodo de tiempo, que se considera de veinticuatro (24) horas.

El *peso volumétrico* se obtendrá pesando las pastillas bajo condiciones diferentes y realizando las operaciones que se indican en la hoja de registro Marshall, las condiciones son las siguientes:

- Peso en aire.
- Peso en agua.

Para obtener el peso en agua será necesario recubrir las pastillas para evitar que se les introduzca agua y así den un dato diferente al esperado; el objetivo lo lograremos recubriendo los especímenes con un material impermeable, el cual puede ser la cera, la parafina u otro material afín para estos propósitos.

Una vez obtenidos los datos, se procede a realizar las operaciones indicadas en la hoja o tabla de registro hasta alcanzar el dato que nos interesa: el peso volumétrico.

La densidad teórica máxima se obtiene de la manera que a continuación se muestra:
nos auxiliaremos de la siguiente fórmula:

$$D.T.M. = \frac{100}{\frac{\% C.A.}{D.C.A.} + \frac{\% M.P.}{D.M.P.}}$$

donde:

D.T.M. Es la densidad teórica máxima.

D.C.A. Es la densidad del cemento asfáltico.

D.M.P. Es la densidad del material pétreo.

% C.A. Es el porcentaje de cemento asfáltico.

% M.P. Es el porcentaje de material pétreo.

Esta densidad será determinada para cada contenido de cemento asfáltico, por lo que, para 5.50 % de C.A., empleamos el dato del % de C. A. por peso de mezcla indicado en la tabla de registro Marshall, en el inciso b (5.21); y será registrada en la columna k de la misma tabla de registro.

$$D.T.M = \frac{100}{\frac{5.21}{1.040} + \frac{94.79}{2.49}}$$

$$D.T.M. = 2321.376 \text{ kg / m}^3$$

El porcentaje de vacíos es obtenido al igual que el porcentaje de vacíos del material pétreo siguiendo las operaciones indicadas en la tabla de registro Marshall.

Para obtener las características restantes, *estabilidad y flujo* será necesario colocar las pastillas libres del material de recubrimiento impermeable dentro de un tanque de agua con

dispositivo para proporcionar una temperatura constante de sesenta (60) grados Centígrados por un período de más de treinta (30) minutos; es importante mencionar que las pastillas no deberán permanecer dentro del tanque un lapso de tiempo mayor a treinta (30) minutos.

Alcanzado el tiempo de espera en el tanque (20 a 30 min) se sacarán las pastillas para ser sometidas a compresión lateral en un marco de carga Marshall (ver fig. 1.7). Para poder ensayar las pastillas será necesario colocarlas, una a la vez, sobre el cabezal (ver fig. 1.6) y así ser sometidas a una carga constante con una velocidad de cinco (5) centímetros sobre minuto hasta que la falla ocurra, los datos que arroje la prueba serán obtenidos por el anillo de carga equipado con un extensómetro, y un micrómetro adaptado al marco y sobrepuesto en la sección inferior o sección superior del cabezal.

Los datos obtenidos simultáneamente serán registrados, si y solo si, la ruptura o falla de la pastilla ya ha ocurrido.

La carga de ruptura se encontrará con la ecuación de la recta de regresión lineal de X con respecto a Y del marco Marshall para la estabilidad en kg. (ver fig. III.1).

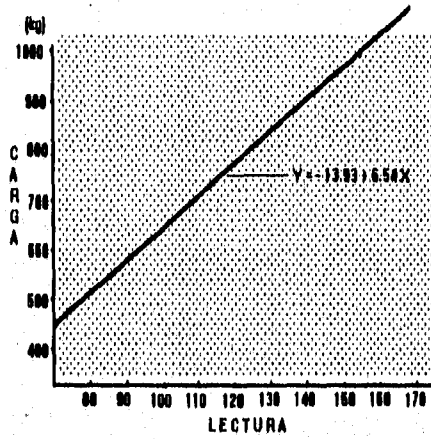


FIG. III-1 RECTA DE REGRESION PARA LA OBTENCION DE ESTABILIDAD DEL MARCO MARSHALL .

La carga de ruptura p en kilogramos, será conocida como la *estabilidad*, la cual se verá afectada por un factor de corrección para obtener la estabilidad corregida. Al multiplicar la estabilidad medida en un espécimen por el factor de corrección, se obtiene la estabilidad corregida para un espécimen de sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros de altura.

Altura aproximada del espécimen, en mm.	Factor de Corrección
50	1.01
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	0.99
65	0.96
66	0.94
67	0.91
68	0.89
69	0.87
70	0.85

**FACTORES DE CORRECCION PARA LOS VALORES
DE ESTABILIDAD MARSHALL.**

El micrómetro arrojará datos en milímetros a los que llamaremos *f_u* el cual anotaremos en la tabla de registro.

Características	Uso de la mezcla asfáltica elaborada con C. A.	Para carreteras Totales diarias ambas sentidos.		Para Acapulco
		Hasta 2000 Volúmenes Pasados. (A)	Más de 2000 Volúmenes Pasados. (A)	
Mín. golpes por cara		50	75	75
Estabilidad mín. kg.	Para carpetas, capas de nivelación.	400	700	700
Flujo en mm.	Bases Asfálticas y Baches.	2-4.5	2-4	2-4
% en la mezcla respecto al Vol. de espécimen (B).	Para carpetas y mezclas de Nivelación.	3-8	3-8	3-8
	Para bases asfálticas	3-8	3-8	3-8
% vacíos en el agreg. (V.A.M.) respecto al vol. de espécimen de mezcla, de acuerdo con el Yom. Mín. del Mat. Píneo mínimo (B)	Para carpetas, capas de nivel., bases asfált. y baches			
	4.76 mm N. 4	18	18	18
	6.35 mm 1/4"	17	17	17
	9.51 mm 3/8"	16	16	16
	12.7 mm 1/2"	15	15	15
19.0 mm 3/4"	14	14	14	
25.4 mm 1"	13	13	13	

**ESPECIFICACIONES PARA MEZCLAS CON CEMENTO ASFÁLTICO
PROCEDIMIENTO MARSHALL.**

se realizarán las gráficas que correspondan a:

- Peso volumétrico vs % C. A.
- Estabilidad vs % C. A.
- Flujo vs % C. A.
- Rel. vacíos vs % C.A.
- V. A. M. vs % C. A.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGON.
 TESIS PROFESIONAL: OBTENCION DE LAS CARACTERISTICAS DE ESTABILIDAD, FLUJO, P.V. Y %DE VACIOS MARSHALL, POR MEDIO DE CARGA ESTATICA

PRUEBA MARSHALL

OPERADOR: _____ MATERIAL: BASALTO TRITURADO. MATERIAL ASFALTICO: NUM. 6 OBSERVACIONES
 FECHA: _____ T.M.A.: 3/4" ADITIVO EMPLEADO: -

ESPELME NUMERO	PROBETA NUMERO	% DE CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE MEZCLA	% CEMENTO ASFALTICO POR PESO DE MEZCLA	P E S O (g m .)				VOLUMEN (c m 3)				PESO VOLUMENICO (kg / m 3)	DENSIDAD TEORICA MAXIMA	VOLUMENES %			ESTABILIDAD EN (kg .)			CARGA ESTATICA	FLUJO EN (0.01")	FLUJO EN (m m .)	CARGA APLICADA	
				ESPECIMEN PARAFINA EN ACE	ESPECIMEN SIN PARAFINA EN ACE	ESPECIMEN PARAFINA EN ACE	PARAFINA	ESPECIMEN PARAFINA	PARAFINA	ESPECIMEN	CEMENTO ASFALTICO			MATERIAL PETREO	VACIOS	% VACIOS MATERIAL PETREO	LECTURA MACROMETRO	ALTURA ESPECIMEN (m m .)	FACTOR DE CORRECCION					ESTABILIDAD CORREGIDA (kg)
				a	b	c	d	e	f	g	h			i	j	k	l	m	n					o
1	4.5	4.30	1155.3	1147.7	638.1	7.6	517.2	8.4	508.8	2255.9	2350	10.32	86.28	3.4	13.71	122	64.3	0.99	776.3		0.0000	5.1		
2	4.5	4.30	1151.1	1145.8	640.3	5.5	510.8	6.1	504.7	2269.9	2350	10.39	86.82	2.8	13.18	144	63.7	1.01	937.1		0.0000	5.5		
3	4.5	4.30	1152.2	1146.6	634.9	5.6	517.3	6.2	511.1	2243.5	2350	10.27	85.81	3.9	14.19	129	64.7	0.99	820.6		0.0000	4.2		
4	5.5	5.21	1151.7	1145.2	640.3	6.5	511.4	7.2	504.2	2271.4	2321	11.38	86.47	3.1	13.53	149	63.4	1.01	969.2		0.0000	6.0		
5	5.5	5.21	1151.0	1145.0	641.8	6.0	509.2	6.7	502.5	2278.4	2321	11.41	86.74	1.8	13.26	132	63.1	1.01	857.0		0.0000	4.5		
6	5.5	5.21	1153.6	1146.3	641.2	7.3	512.4	8.1	504.3	2273.1	2321	11.39	86.56	2.1	13.47	131	63.4	1	841.9		0.0000	6.0		
7	6.0	5.66	1164.3	1156.8	643.1	7.5	521.2	8.3	512.9	2255.6	2308	12.27	85.46	2.3	14.54	128	64.4	0.99	814.1		0.0000	3.7		
8	6.0	5.66	1163.9	1157.0	642.7	6.9	521.2	7.7	513.5	2253.0	2308	12.26	85.36	2.4	14.64	144	64.8	0.99	917.6		0.0000	4.5		
9	6.0	5.66	1176.9	1166.5	648.1	10.0	528.6	11.0	517.3	2255.1	2308	12.27	85.44	2.3	14.56	136	65.2	0.96	839.6		0.0000	2.9		
10	6.5	6.10	1161.2	1152.4	642.2	8.8	519.0	9.8	509.2	2263.0	2295	13.27	85.34	1.4	14.66	132	64.3	0.99	840.0		0.0000	6.5		
11	6.5	6.10	1169.7	1163.0	645.7	6.7	524.0	7.4	516.5	2251.4	2295	13.20	84.90	1.9	15.09	134	64.8	0.99	852.9		0.0000	4.5		
12	6.5	6.10	1164.1	1156.5	641.5	7.6	522.6	8.4	514.1	2249.3	2295	13.20	84.82	2.0	15.18	129	65.0	0.96	795.7		0.0000	3.2		
13	7.0	6.10	1178.9	1173.5	650.4	5.4	528.5	6.0	522.5	2245.9	2295	14.12	84.30	1.6	15.70	112	65.0	0.96	689.1		0.0000	3.0		
14	7.0	6.54	1172.2	1166.6	647.8	5.6	524.4	6.2	518.2	2251.3	2282	14.15	84.50	1.3	15.50	113	64.8	0.99	717.1		0.0000	4.4		
15	7.0	6.54	1171.2	1165.2	648.1	6.0	523.1	6.7	516.4	2256.2	2282	14.19	84.69	1.1	15.31	112	64.1	0.99	710.6		0.0000	4.0		
16	7.5	6.54	1172.2	1167.5	646.8	4.7	525.4	5.2	520.2	2244.4	2282	15.06	83.84	1.1	16.15	115	64.5	0.99	730.0		0.0000	2.8		
17	7.5	6.98	1175.3	1170.0	648.7	5.3	526.6	5.9	520.7	2246.9	2269	15.08	83.93	1.0	15.06	115	64.6	0.99	730.0		0.0000	4.0		
18	7.5	6.98	1180.5	1175.8	648.8	4.7	531.7	5.2	526.5	2233.3	2269	14.99	83.43	1.6	16.57	136	65.5	0.96	839.6		0.0000	4.5		

r = CTE DE ANILLO

$$r = \text{DENSIDAD TEORICA MAXIMA} = \left[\frac{100}{\left(\frac{\% \text{ CA }}{\text{DCA}} \right) + \left(\frac{\% \text{ MP }}{\text{DMP}} \right)} \right]$$

DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (DCA): 1.040 tn/m3.
 DENSIDAD MATERIAL PETREO (DMP): 2.49 tn/m3.
 DENSIDAD PARAFINA (DP): 0.90 gr/cm3.

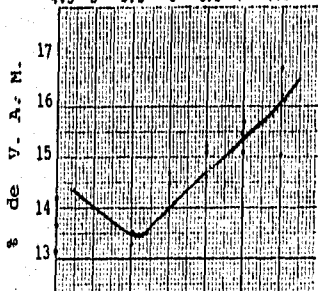
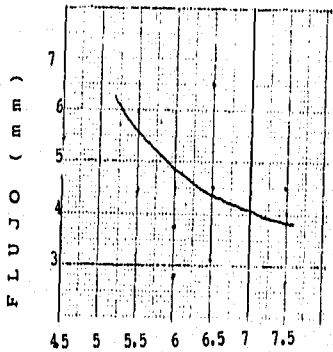
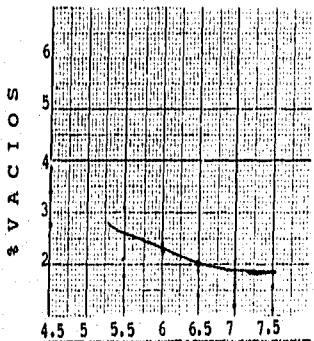
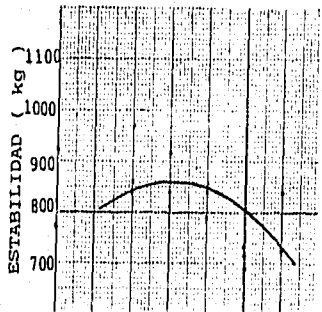
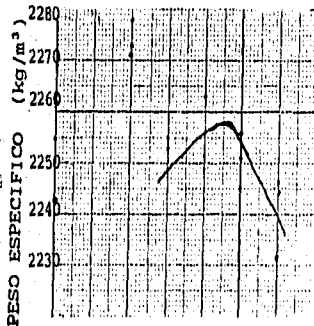
OBSERVACIONES:

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO .
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES . ARAGON .
 PRUEBA MARSHALL



ESTUDIO POR EFECTUAR MARSHAL ILCIA _____
 LOCALIZACION -E.N.E.P. ARAGON-

TIPO DE COMPACTACION DINAMICA ENSAVE No 1



% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO.

CARACTERISTICAS	DATOS	ESP.
CONT. OPT. C.A. %	6.65	OPTIMO
PESO ESP. kg/m³	2258	
VACIOS (%)	1.9	3-5
V. A. M. (%)	13.3	14 min
ESTABILIDAD (kg)	820	700 min
FLUJO (mm)	4.3	2-4
ESPECIMEN COMPACTADO CON 75		
GOLPES DE PISON POR CARA, A LA		
TEMPERATURA DE 100 °C		

% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO.

LABORATORISTA

EL JEFE DE LABORATORIO

Vo.Bo.

CAPITULO IV, PASTILLAS COMPACTADAS CON CARGA ESTATICA PARA REPRODUCIR LAS CONDICIONES DEL METODO MARSHALL.

En este capítulo se describe el método Marshall para el proyecto y control de mezclas elaboradas bajo carga estática; la cual, tratara de ser determinada en capítulos subsecuentes para obtener los mejores y más cercanos resultados a los que arroja la prueba convencional Marshall.

Esta investigación sera elaborada para el proyecto y control de mezclas que utilizan materiales pétreos con tamaño máximo de veinticinco punto cuatro (25.4) milímetros y cemento asfáltico en caliente, asfaltos rebajados o emulsiones asfálticas que satisfagan los requisitos establecidos para su utilización; el procedimiento consiste en elaborar especímenes cilindricos a los cuales se les determinara su peso volumétrico y demás características.

El método Marshall se aplica al control de todas o algunas de las características que el mismo involucra, según se establezca en el proyecto. Para el diseño de mezclas asfálticas se elaboraran especímenes con diferentes porcentajes de cemento asfáltico a fin de conocer cuales son los que proporcionan condiciones favorables y de ellos seleccionar el contenido óptimo de asfalto o el más conveniente para el material pétreo estudiado con la granulometría previamente fijada.

IV.1 ELABORACION DE PASTILLAS COMPACTADAS POR CARGA ESTATICA REPRODUCIENDO EL PESO VOLUMETRICO.

El procedimiento sera el siguiente: Se tomara en cuenta la granulometría fijada (ver fig. II.4) para el diseño del método Marshall convencional, la cual se encuentra aproximadamente en la zona media de las especificaciones del por ciento que pasa como se muestra en la tabla siguiente:

Malla Nomero	Límites especificados, por ciento que pasa.	Parte media de la zona de especificaciones, por ciento que pasa
25.400 (1")	100	100
19.050 (3/4")	90-100	95
9.520 (3/8")	65-100	82
4.750 (N.4)	48-70	59
2.000 (N.10)	33-48	40
0.425 (N.40)	17-25	21
0.150 (N.100)	9-16	12
0.075 (N.200)	6-10	8

Para la mezcla de los materiales pétreos y el cemento asfáltico se determinan las temperaturas de mezclado, las cuales serán comprendidas entre los ciento sesenta (160) y ciento veinte (120) grados centígrados respectivamente, la temperatura de compactación de la mezcla

será aquella a la cual el material asfáltico, bajo las condiciones en que se encuentra al terminar el mezclado, es decir, incluyendo solventes y agua si los tiene; la cual no debiera ser menor en ningún caso de ciento cinco (105) grados centígrados.

Como se menciona en capítulos anteriores la preparación de las mezclas 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 sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros que generalmente serán 1100 grs. para lograr dicha altura.

Las proporciones de cemento asfáltico que se deben utilizar para elaborar estas mezclas se definen con base al contenido óptimo aproximado mediante el procedimiento descrito en el capítulo III.

Estas mezclas se realizarán por triplicado, con los contenidos de cemento asfáltico a continuación mencionados:

Contenido calculado - 1.0 %

Contenido calculado Neto

Contenido calculado + 0.5%

Contenido calculado + 1.0 %

Contenido calculado + 1.5%

Contenido calculado + 2.0 %

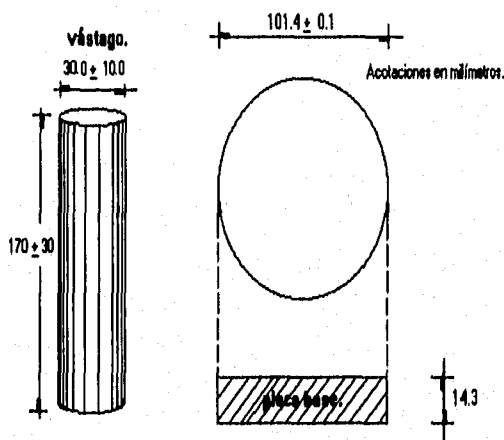
Para nuestras 18 pastillas, elaboradas con 1100 grs. de material pétreo, tenemos lo siguiente:

Prueba No.	No. Pastillas a elaborar	% C.A.	Peso C.A.(grs.)
1	3	4.5	49.5
2	3	5.5	60.5
3	3	6.0	66.0
4	3	6.5	71.5
5	3	7.0	77.0
6	3	7.5	82.5

Una vez terminada la operación de mezclado y con la temperatura de compactación adecuada se procederá a su compactación. Cabe mencionar que el molde de compactación también se calentará previo a la compactación.

Se coloca la mezcla en tres capas de aproximadamente igual altura, dando a cada una un varillado concéntrico para facilitar el acomodo de los materiales; se coloca papel filtro en el fondo del molde como en la superficie de la tercer capa de la mezcla para evitar que la mezcla se adhiera al molde y al pistón de compactación haciendo difícil su extracción. Las paredes del molde serán bien lubricados para facilitar el deslizamiento de la mezcla en ellas.

La carga de compactación será proporcionada por una máquina de compresión simple, en sustitución del pistón de compactación utilizado en la prueba convencional, y la carga será transmitida del cabezal de la máquina de compresión simple a el molde de compactación por medio de un pistón, placa con vástago o algún dispositivo capaz de realizar dicha tarea (ver fig. IV.1)



Tanto la placa base como el vástago, deberán de ser de acero estructural laminado.

Nota: El diámetro de la placa base de compactación deberá ser ligeramente menor que el molde de compactación Marshall.

Fig. IV.1 EQUIPO PARA COMPACTACION MARSHALL-CARGA ESTATICA

La carga de compactación p será mantenida activa en el espécimen durante un minuto (60 seg.) al ser alcanzada la altura requerida para la prueba que es una altura de sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros con una tolerancia de más-menos tres (+- 3) milímetros; este proceso será aplicable a todos y cada uno de los especímenes con sus diferentes contenidos de cemento asfáltico. Al término de la compactación se enfriará el molde con la pastilla bajo el chorro del agua. Para la extracción del espécimen será necesario utilizar la máquina de compresión simple ya que al término de la carga éste queda bien confinado y adherido al molde, haciendo necesario colocar el molde sobre el collarín para aplicarle una carga con el pistón hasta que queden tres cuartas partes del espécimen fuera del molde para después ser extraído con las manos para someterlos a compresión lateral y obtener sus características.

IV.2 DETERMINACION DE LAS CARACTERISTICAS DE PESO VOLUMETRICO, ESTABILIDAD, FLUJO Y RELACION DE VACIOS MARSHALL EN LAS PASTILLAS REALIZADAS BAJO CONDICIONES ESTATICAS.

Al igual que en la prueba convencional la búsqueda de estas características se llevará a cabo solamente después de haber esperado que todas las pastillas tomen una temperatura similar y uniforme, lo cual se logra al dejar enfriar los especímenes a temperatura ambiente durante un período de tiempo, que se considera de veinticuatro (24) horas.

El *peso volumétrico* se obtendrá pesando las pastillas bajo condiciones diferentes y realizando las operaciones que se indican en la hoja de registro Marshall, las condiciones son las siguientes:

- Peso en aire.
- Peso en agua.

Para obtener el peso en agua será necesario recubrir las pastillas para evitar que se les introduzca agua y así den un dato diferente al esperado; el objetivo lo lograremos recubriendo los especímenes con un material impermeable, el cual puede ser la cera, la parafina, estearato de zinc u otro material afín a este propósito.

Una vez obtenidos los datos, se procede a realizar las operaciones indicadas en la hoja o tabla de registro hasta alcanzar el dato que nos interesa: el peso volumétrico.

La densidad teórica máxima se obtiene de la manera que a continuación se muestra, nos auxiliaremos de la siguiente fórmula:

$$D.T.M. = \frac{100}{\frac{\% C.A.}{D.C.A.} + \frac{\% M.P.}{D.M.P.}}$$

donde:

D.T.M. Es la densidad teórica máxima.

D.C.A. Es la densidad del cemento asfáltico.

D.M.P. Es la densidad del material pétreo.

% C.A. Es el porcentaje de cemento asfáltico.

% M.P. Es el porcentaje de material pétreo.

Esta densidad será determinada para cada contenido de cemento asfáltico, por lo que, para 5.5 % de C.A., empleamos el dato del % de C. A. por peso de mezcla indicado en la tabla de registro en el inciso b .

$$D.T.M. = \frac{100}{\frac{5.21}{1.040} + \frac{94.79}{2.49}}$$

$$D.T.M. = 2321.376 \text{ kg/m}^3$$

El porcentaje de vacíos es obtenido al igual que el porcentaje de vacíos del material pétreo en la mezcla (V.A.M.) siguiendo las operaciones indicadas en la tabla de registro Marshall.

Para obtener las características restantes, *estabilidad y flujo* será necesario colocar las pastillas libres del material de recubrimiento impermeable dentro de un tanque de agua equipado con dispositivo para proporcionar una temperatura constante de sesenta (60) grados Centígrados por un período de más de treinta (30) minutos; es importante mencionar que las pastillas no deberán permanecer dentro del tanque un lapso de tiempo mayor a treinta (30) minutos.

Alcanzado el tiempo de espera en el tanque (20 a 30 min) se sacarán las pastillas para ser sometidas a compresión lateral en un marco de carga Marshall (ver fig. I.7). Para poder ensayar las pastillas será necesario colocarlas, una a la vez, sobre el cabezal (ver fig. I.6) y así ser sometidas a una carga constante con una velocidad de cinco (5) centímetros sobre minuto hasta que la falla ocurra, los datos que arroje la prueba serán obtenidos por el anillo de carga equipado con un extensómetro, y un micrómetro adaptado al marco y sobrepuesto en la sección inferior o sección superior del cabezal.

Los datos obtenidos simultáneamente serán registrados, sí y solo sí, la ruptura o falla de la pastilla ya ha ocurrido.

La carga de ruptura p se encontrará con la ecuación de la recta de regresión lineal de X con respecto a Y del marco Marshall para la estabilidad, en kg. (ver fig III.1).

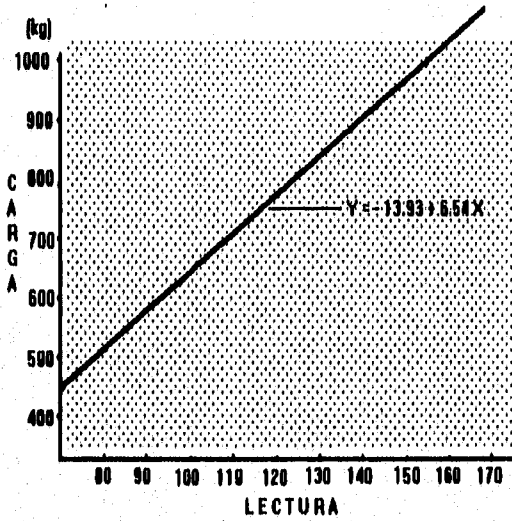


FIG. III.1 RECTA DE REGRESION PARA LA OBTENCION DE ESTABILIDAD DEL MARCO MARSHALL .

La carga de ruptura p en kilogramos, será conocida como la *estabilidad*, la cual se verá afectada por un factor de corrección para obtener la estabilidad corregida. Para este caso en particular el factor de corrección es nulo, por lo que, lo multiplicaremos por la unidad, al tener todos los especímenes la altura de sesenta y tres punto cinco (63.5) milímetros.

El micrómetro arrojará datos en milímetros a los que llamaremos *flujo* el cual anotaremos en la tabla de registro. Se realizarán las gráficas que correspondan a :

- Peso volumétrico vs % C. A.
- Estabilidad vs % C. A.
- Flujo vs % C. A.
- Rel. vacíos vs % C.A.
- V. A. M. vs % C. A.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES CAMPUS ARAGON.
TESIS PROFESIONAL: OBTENCION DE LAS CARACTERISTICAS DE ESTABILIDAD, FLUJO, P.V. Y % DE VACIOS MARSHALL, POR MEDIO DE CARGA ESTATICA

PRUEBA MARSHALL CON CARGA ESTATICA

OPERADOR: _____ MATERIAL: BASALTO TRITURADO. MATERIAL ASFALTICO: NUM. 6 OBSERVACIONES
 FECHA: _____ T.M.A.: 3/4" ADITIVO EMPLEADO: -

ENSAYE NUMERO	MODELO NUMERO	% DE CEMENTO ASFALTICO POR P.TOS DE AGREGADO	% CEMENTO ASFALTICO POR P.TOS DE MEZCLA	P E S O (g m .)			VOLUMEN (c m 3)				PESO VOLUMENICO (kg / m 3)	DENSIDAD TEORICA MATERIA	VOLUMENES %		TOTAL VACIOS	% VACIOS MATERIAL PETREO	ESTABILIDAD EN (kg .)			CARGA ESTATICA	FLUJO EN (0.01 ")	FLUJO EN (m m .)	CARGA APLICADA
				ESPECIMEN + PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN + PARAFINA EN AIRE	ESPECIMEN + PARAFINA EN AGUA	ESPECIMEN + PARAFINA	ESPECIMEN + PARAFINA	ESPECIMEN	CEMENTO ASFALTICO			MATERIAL PETREO	LECTURA MICROMETRO			ALTURA ESPECIMEN (m m)	FACTOR DE CORRECCION	FORMULADO COEFICIA (%)				
				a	b	c	d	e	f	g			h	i			j	k	l				
1	4.5	4.30	1159.3	1150.4	623.9	8.9	535.4	9.8	525.6	2188.7	2350	10.0	83.7	6.24	16.3	126	63.5	1	809.3	23400	0.0000	4.4	23400
2	4.5	4.30	1158.2	1148.6	624.6	9.6	533.6	10.6	523.0	2196.2	2350	10.1	84.0	5.95	16.0	96	63.5	1	616.3	22400	0.0000	4.3	22400
3	4.5	4.30	1163.0	1153.6	628.8	9.4	534.2	10.4	523.8	2220.3	2350	10.1	84.2	5.67	15.7	144	63.5	1	926.9	21800	0.0000	4.4	21800
4	5.5	5.21	1161.7	1150.7	624.7	11	537.0	12.2	524.8	2192.7	2321	11.0	83.5	5.54	16.5	102	6.35	1	652.5	18600	0.0000	4.3	18600
5	5.5	5.21	1162.4	1153.2	626.0	9.2	536.4	10.2	526.2	2191.6	2321	11.0	83.4	5.58	16.6	117	63.5	1	750.5	18725	0.0000	5.5	18725
6	5.5	5.21	1153.5	1146.2	624.8	7.3	528.7	7.3	528.7	2201.7	2321	11.0	83.8	5.17	16.2	129	63.5	1	828.9	18760	0.0000	5.8	18760
7	6.0	5.66	1174.6	1164.3	635.8	10.3	538.8	11.4	527.4	2207.6	2308	12.0	83.6	4.39	16.4	120	63.5	1	770.1	26050	0.0000	6.2	26050
8	6.0	5.66	1161.7	1151.7	628.3	10	533.4	11.1	522.3	2205.1	2308	12.0	83.5	4.50	16.5	135	6.35	1	688.1	17461	0.0000	4.4	17461
9	6.0	5.66	1170.0	1161.8	637.0	8.2	533.0	9.1	523.9	2217.6	2308	12.1	84.0	3.93	16.0	110	6.35	1	704.8	18000	0.0000	6.1	18000
10	6.0	5.66	1173.3	1165.9	637.6	7.4	535.7	8.2	527.5	2210.2	2308	12.0	83.7	4.27	16.3	154	6.35	1	992.2	18650	0.0000	6.0	18650
11	6.5	6.10	1170.9	1164.0	638.4	6.9	532.5	7.7	524.8	2217.9	2295	13.0	83.6	3.39	16.4	113	6.35	1	724.4	20000	0.0000	4.4	20000
12	6.5	6.10	1164.0	1159.2	633.3	4.8	530.7	5.3	525.4	2206.3	2295	12.9	83.2	3.86	16.8	122	6.35	1	783.2	19000	0.0000	5.7	19000
13	6.5	6.10	1175.4	1167.1	640.1	8.3	535.3	9.2	526.1	2218.4	2295	13.0	83.7	3.29	16.3	118	6.35	1	750.5	17950	0.0000	4.5	17950
14	7.0	6.54	1173.8	1169.2	644.6	4.6	529.2	5.1	524.1	2230.9	2282	14.0	83.7	2.27	16.3	117	6.35	1	750.5	20800	0.0000	3.9	20800
15	7.0	6.54	1171.7	1163.0	635.5	8.7	536.2	9.7	526.5	2208.9	2282	13.9	82.9	3.21	17.1	109	6.35	1	698.2	20900	0.0000	4.0	20900
16	7.0	6.54	1185.7	1169.5	639.9	16.2	545.8	18	527.8	2215.8	2282	13.9	83.2	2.87	16.8	125	6.35	1	802.8	20800	0.0000	4.2	20800
17	7.5	6.98	1182.3	1176.6	649.0	5.7	533.3	6.3	527.0	2232.6	2269	14.9	83.4	1.62	16.6	129	6.35	1	828.9	19800	0.0000	4.8	19800
18	7.5	6.98	1163.3	1155.3	636.7	8	526.6	8.9	517.7	2231.6	2269	14.9	83.4	1.62	16.6	102	6.35	1	652.5	15650	0.0000	4.6	15650
19	7.5	6.98	1184.3	1176.9	649.1	7.4	535.2	8.2	527.0	2233.2	2269	14.9	83.4	1.62	16.6	137	6.35	1	881.2	16300	0.0000	4.6	16300
20	7.5	6.98	1182.6	1175.7	646.7	6.9	535.9	7.7	528.2	2225.9	2269	14.9	83.1	1.96	16.9	112	6.35	1	717.8	17150	0.0000	6.9	17150

r = CTE DE ANILLO

* = DENSIDAD TEORICA MAXIMA = $\left[\frac{100}{\left(\frac{\% CA}{DCA} + \frac{\% MP}{DMP} \right)} \right]$

DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (DCA): 1.040 tn/m3.
 DENSIDAD MATERIAL PETREO (DMP): 2.49 tn/m3.
 DENSIDAD PARAFINA (DP): 0.90 gr/cm3.

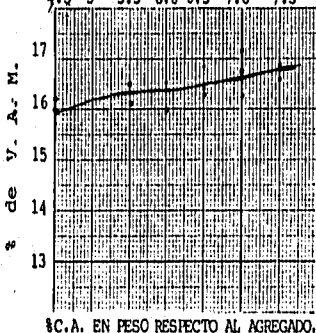
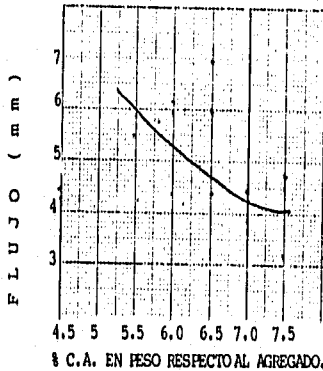
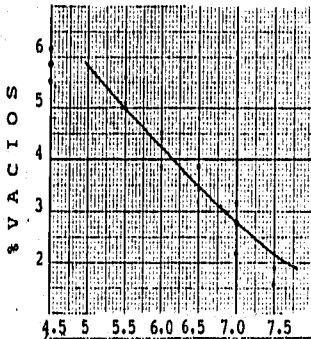
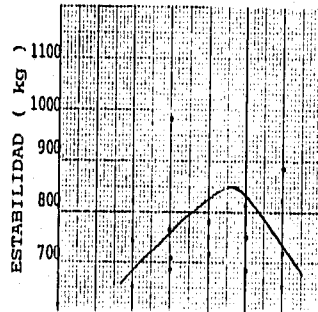
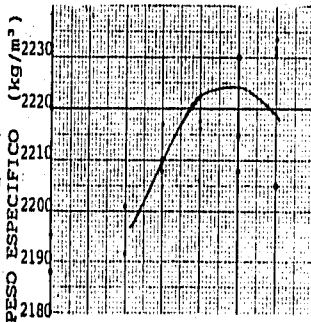
OBSERVACIONES: DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (DCA): 1.040 tn/m3.
 DENSIDAD CEMENTO ASFALTICO (DCA): 1.040 tn/m3.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO .
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES . ARAGON .
 PRUEBA MARSHALL



ESTUDIO POR EFECTUAR MARSHALL POR CARGA ESTATICA. FECHA _____
 LOCALIZACION E.N.E.P. ARAGON, _____

TIPO DE COMPACTACION CON CARGA ESTATICA. ENSAVE No 2



CARACTERISTICAS	DATOS	ESPECIFIC.
CONT. OPT. C.A. %	6.8	Optimo
PESO ESP. kg/m³	2224	
VACIOS (%)	2.9	3 - 5
V. A. M. (%)	16.5	14 MIN.
ESTABILIDAD (kg)	850	700 MIN.
FLUJO (mm)	6.6	2 - 4

ESPECIMEN COMPACTADO CON carga est.
 GOLPES DE PISON POR CARA, A LA
 TEMPERATURA DE 100 ° C

LABORATORISTA

EL JEFE DE LABORATORIO

Vo.Bo.

CAPITULO V. CORRELACION DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS POR AMBOS METODOS DE COMPACTACION (DINAMICO Y ESTATICO),

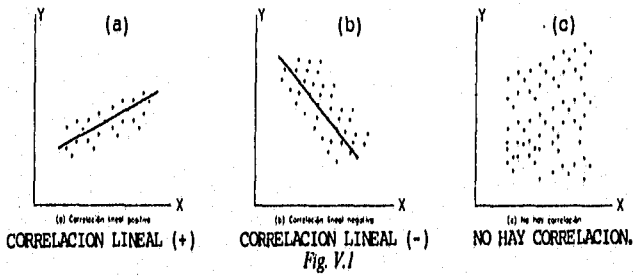
En este capítulo se considerará el problema de correlación, o el grado de relación entre las variables, que se estudia para determinar en qué medida una ecuación lineal o de otro tipo describe o explica de una forma adecuada la relación entre las variables.

Si todos los valores de las variables satisfacen exactamente una ecuación se dice que las variables están correlacionadas perfectamente o que hay una correlación perfecta entre ellas.

Cuando se trata de dos variables solamente, se habla de una correlación simple y de regresión simple. Cuando se trata de más de dos variables se habla de una correlación múltiple y de regresión múltiple.

Si X e Y denotan las dos variables que se consideran, un diagrama de dispersión muestra la localización de los puntos (X, Y) en un sistema de coordenadas rectangulares. Si todos los puntos en este diagrama de dispersión parecen encontrarse cerca de una recta, como en (a) y (b) de la figura V.1, la correlación se dice lineal.

Si Y tiende a incrementarse cuando se incrementa X , como en la fig V.1 (a), la correlación se dice positiva o correlación directa. Si Y tiende a disminuir cuando se incrementa X , como en la figura V.1 (b), la correlación se dice negativa o correlación inversa.



Si todos los puntos parecen estar cerca de alguna curva, la correlación se dice no lineal y una ecuación no lineal es la apropiada para la regresión o estimación. Es evidente que una correlación no lineal puede ser a veces positiva y a veces negativa.

Si no hay ninguna relación entre las variables, como en la figura V.1 (c), se dice que no hay correlación entre ellas, es decir, no están correlacionadas.

Deseamos expresar esta relación mediante una ecuación matemática que ligue las variables. Para evitar el juicio individual en la construcción de rectas, parábolas u otras curvas de aproximación, en su ajuste a colecciones de datos es necesario obtener una definición de la "mejor recta de ajuste", "mejor parábola de ajuste", etc.

De todas las curvas de aproximación a una serie de datos puntuales la curva que tiene la propiedad de que:

$$(D_1)^2 + (D_2)^2 + \dots + (D_N)^2 \text{ es mínimo.}$$

se conoce como la *mejor curva de ajuste*.

Así, una recta con esta propiedad se llama la mejor recta de mínimos cuadrados. Se acostumbra a emplear esta definición cuando X es la variable independiente e Y la variable

dependiente. Si X es la variable dependiente, la definición se modifica, considerando las desviaciones horizontales en lugar de las verticales, lo que equivale a un intercambio de los ejes X e Y .

La recta de aproximación por mínimos cuadrados del conjunto de puntos (X_1, Y_1) , $(X_2, Y_2), \dots, (X_N, Y_N)$ tiene la ecuación:

$$Y = a_0 + a_1 X \quad \dots\dots[1]$$

La cual se denomina: recta de regresión de mínimos cuadrados de Y sobre X .

donde las constantes " a_0 " y " a_1 " se determinan mediante el sistema de ecuaciones:

$$\begin{aligned} \Sigma Y &= a_0 N + a_1 \Sigma X \\ \Sigma XY &= a_0 \Sigma X + a_1 \Sigma X^2 \quad \dots\dots[2] \end{aligned}$$

que son las llamadas ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados.

Las constantes " a_0 " y " a_1 " pueden sacarse de resolver el sistema de ecuaciones, o bien, de $Y = a_0 + a_1 X$, obteniéndose de las fórmulas:

$$a_0 = \frac{(\Sigma Y)(\Sigma X^2) - (\Sigma X)(\Sigma XY)}{(N \Sigma X^2) - (\Sigma X)^2} \quad \dots\dots[3]$$

$$a_1 = \frac{(N \Sigma XY) - (\Sigma X)(\Sigma Y)}{N \Sigma X^2 - (\Sigma X)^2} \quad \dots\dots[4]$$

Para obtener la recta de regresión de mínimos cuadrados de X sobre Y tenemos que:

$$X = b_0 + b_1 Y \quad \dots\dots[5]$$

donde las constantes " b_0 " y " b_1 " se determinan mediante el sistema de ecuaciones :

$$\begin{aligned} \Sigma X &= b_0 N + b_1 \Sigma Y \\ \Sigma XY &= b_0 \Sigma Y + b_1 \Sigma Y^2 \end{aligned} \quad \dots\dots[6]$$

que son las (llamadas ecuaciones normales para la recta de mínimos cuadrados.

Las constantes " b_0 " y " b_1 " pueden sacarse de resolver el sistema de ecuaciones normales; o bien, obteniéndose de las fórmulas:

$$b_0 = \frac{(\Sigma X)(\Sigma Y^2) - (\Sigma Y)(\Sigma XY)}{N(\Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2} \quad \dots\dots[7]$$

$$b_1 = \frac{N(\Sigma XY) - (\Sigma Y)(\Sigma X)}{N(\Sigma Y^2) - (\Sigma Y)^2} \quad \dots\dots[8]$$

El coeficiente de correlación lo obtenemos como a continuación se describe:

$$r = \frac{(\Sigma XY/N) - ((\Sigma X) \Sigma Y / N^2)}{\delta X \quad \delta Y} \quad \dots\dots[9]$$

donde:

$$\delta X = \text{SQR} [((\Sigma X^2)/N) - ((\Sigma X)^2/N^2)] \quad \dots\dots[10]$$

$$\delta Y = \text{SQR} [((\Sigma Y^2)/N) - ((\Sigma Y)^2/N^2)] \quad \dots\dots[11]$$

Aplicando lo anterior, veremos la correlación que hay entre los resultados obtenidos de las pastillas compactadas con carga estática, hechas a setenta y cinco (75) golpes de pisón por cara para recibir presiones de contacto comprendidas entre siete y catorce (7 - 14) kilogramos por centímetro cuadrado ó de cien a doscientas (100 a 200) libras por pulgada cuadrada; contra las compactadas con carga dinámica, hechas bajo carga dinámica aplicada por medio de una máquina de compresión simple.

A los valores obtenidos de la prueba Marshall normal se les asignará la variable "X" ó variable independiente. A los valores de la prueba Marshall realizada bajo carga estática se les designará como la variable "Y" ó variable dependiente.

Determinaremos la correlación que hay entre ambas pruebas para las siguientes propiedades:

- *Peso volumétrico.*
- *Estabilidad.*
- *Flujo.*
- *Relación de vacíos.*

(V.A.M.).

Para la correlación de pesos volumétricos tenemos:

No. pastilla	% C. A.	Resultados Marshall normal " X "	Resultados Marshall carga estática " Y "
1	4.5	2255.9	2188.7
2	4.5	2269.9	2196.2
3	4.5	2243.5	2220.2
4	5.5	2271.4	2192.7
5	5.5	2278.4	2191.6
6	5.5	2273.1	2201.7
7	6.0	2255.6	2207.6
8	6.0	2253.0	2217.6
9	6.0	2255.1	2210.2
10	6.5	2263.0	2217.9
11	6.5	2251.4	2206.3
12	6.5	2249.3	2218.4
13	7.0	2245.9	2230.9
14	7.0	2251.3	2208.9
15	7.0	2256.2	2215.8
16	7.5	2244.4	2232.6
17	7.5	2246.9	2231.6
18	7.5	2233.3	2233.2

Número de Pastilla	"X"	"Y"	"X Y"	"X ² "	"Y ² "
1	2255.9	2188.7	4937488.3	5089084.8	4790407.6
2	2269.9	2196.2	4985154.3	5152446.0	4823294.4
3	2243.5	2220.3	4981243.0	5033292.2	4929732.0
4	2271.4	2192.7	4980498.7	5159257.9	4807933.2
5	2278.4	2191.6	4993341.4	5191106.5	4803110.5
6	2273.1	2201.7	5004684.2	5166983.6	4847482.8
7	2255.6	2207.6	4979462.5	5087731.3	4873497.7
8	2253.0	2217.6	4996252.8	5076009.0	4917749.7
9	2255.1	2210.2	4984222.0	5085476.0	4884989.0
10	2263.0	2217.9	5019107.7	5121169.0	4919080.4
11	2251.4	2206.3	4967263.8	5068801.9	4867759.6
12	2249.3	2218.4	4989847.1	5059350.4	4921298.5
13	2245.9	2230.9	5010378.3	5044066.8	4976914.8
14	2251.3	2208.9	4972896.6	5068351.6	4879239.2
15	2256.2	2215.8	4999287.9	5090438.4	4909769.6
16	2244.4	2232.6	5010847.4	5037331.3	4984502.7
17	2246.9	2231.6	5014182.0	5048559.6	4980058.5
18	2233.3	2233.2	4987405.6	4987628.8	4987182.2
Σ	40597.6	39822.2	89813339.8	91567085.8	88103534.3

De la fórmula [10] tenemos que:

$$\delta x = \text{SQR} [(91567085.8 / 18) - (40597.6)^2]$$

$$\delta x = 11.44$$

De la fórmula [11] tenemos que:

$$\delta y = \text{SQR} [(88103978.4 / 18) - (39822.2)^2]$$

$$\delta y = 14.05$$

De la fórmula [9] tenemos que:

$$r = \frac{(89813339.8 / 18) - ((40597.6)(39822.2) / 18^2)}{(11.44) (14.05)}$$

$$r = -0.79$$

Para obtener una ecuación de la línea recta de regresión tenemos la fórmula [1]:

$$Y = a_0 + a_1 X$$

donde a_1 la obtenemos de la fórmula [4]

$$a_1 = \frac{(18)(89813339.8) - (40597.6)(39822.2)}{(18)(91567085.8) - (40597.6)^2}$$

$$a_1 = -0.9799$$

y a₀ la obtenemos de la fórmula [3]

$$a_0 = \frac{(39822.2)(91567085.8) - (40597.6)(89813339.8)}{(18)(91567085.8) - (40597.6)^2}$$

$$a_0 = 4422.648$$

Por lo que la ecuación de la recta de regresión de "Y" con respecto a "X", para pesos volumétricos queda de la siguiente manera:

de [1]

$$Y = 4422.648 - 0.9799 X$$

Para la obtención de la ecuación de la línea recta de regresión por mínimos cuadrados de "Y" con respecto a "X":

$$X = b_0 + b_1 Y$$

donde "b₀" y "b₁" los obtenemos de la siguiente manera:

de la fórmula [7] obtenemos

$$b_0 = \frac{(40597.6)(88103534.3) - (39822.2)(89813339.8)}{18(88103534.3) - (39822.2)^2}$$

$$b_0 = 4057.95$$

de la fórmula [8] obtenemos:

$$b_1 = \frac{18(89813339.8) - (39822.2)(40597.6)}{18(88103534.3) - (39822.2)^2}$$

$$b_1 = -0.8147$$

Por lo que la ecuación de la recta de regresión de "X" con respecto a "Y" para pesos volumétricos queda de la siguiente manera:

$$X = 4057.95 - 0.8147 Y$$

A demás de los datos anteriores, también obtuvimos:

- La media de "X": 2255.42
- La media de "Y": 2212.33

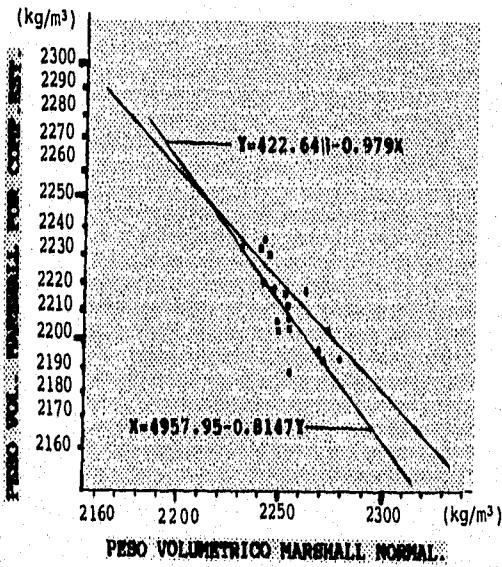


FIG. V.2 GRAFICA DE CORRELACION DE LOS PESOS VOLUMETRICOS MARSHALL ENTRE AMBOS METODOS.

Correlación que existe entre los dos métodos de compactación para la estabilidad:

Número de Pastilla	% C.A.	Resultados Marshall normal "X"	Resultados Marshall carga estática "Y"
1	4.5	776.3	809.3
2	4.5	937.1	613.3
3	4.5	820.6	926.9
4	5.5	969.3	652.5
5	5.5	857.0	750.5
6	5.5	841.9	828.9
7	6.0	814.1	770.1
8	6.0	917.6	704.8
9	6.0	839.6	992.2
10	6.5	840.0	724.4
11	6.5	852.9	783.2
12	6.5	795.7	757.0
13	7.0	689.1	750.5
14	7.0	717.1	698.2
15	7.0	710.6	802.8
16	7.5	730.0	828.9
17	7.5	730.0	652.5
18	7.5	839.6	881.2

Aplicando las fórmulas como en el análisis hecho para los pesos volumétricos, tenemos que la correlación que existe entre los resultados de estabilidad obtenidos en los dos diferentes procesos de compactación es el siguiente:

$$\Sigma X = 14678.5$$

$$\Sigma Y = 13927.2$$

$$\Sigma XY = 11332236.9699$$

$$\Sigma X^2 = 12077594.9$$

$$\Sigma Y^2 = 10936359.4$$

$$N = 18$$

$$r = -0.19$$

$$a_1 = -0.23$$

$$a_0 = 963.11$$

$$b_1 = -0.1558$$

$$b_0 = 936.08$$

$$\text{La media de } X = 815.47$$

$$\text{La media de } Y = 773.73$$

Por lo que obtenemos la ecuación de la recta de regresión para la estabilidad de "Y" con respecto a "X" es:

$$Y = 936.11 - 0.23 X$$

y la ecuación de la recta de regresión para la estabilidad de "X" con respecto a "Y" es:

$$X = 936.08 - 0.1558 Y$$

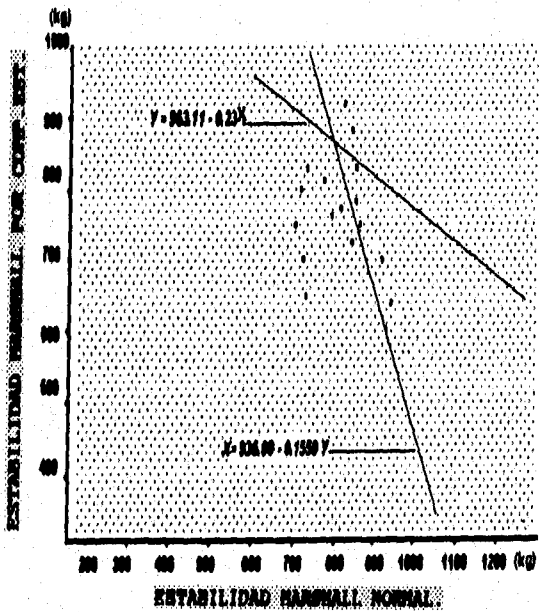


FIG. V.3 GRAFICA DE CORRELACION DE LA ESTABILIDAD MARSHALL ENTRE AMBOS METODOS.

Analizaremos al igual que en los casos anteriores la correlación que existe entre los resultados obtenidos en ambos procesos de compactación para el flujo.

Correlación para el flujo.

No. pastilla	% C. A.	Resultados Marshall normal "X"	Resultados Marshall carga estática "Y"
1	4.5	5.1	4.4
2	4.5	5.5	4.3
3	4.5	4.2	4.4
4	5.5	6.0	4.3
5	5.5	4.5	5.5
6	5.5	6.0	5.8
7	6.0	3.7	6.2
8	6.0	4.5	6.1
9	6.0	2.9	6.0
10	6.5	6.5	4.4
11	6.5	4.5	5.7
12	6.5	3.2	4.5
13	7.0	3.0	3.9
14	7.0	4.4	4.0
15	7.0	4.0	4.2
16	7.5	2.8	4.8
17	7.5	4.0	4.6
18	7.5	4.5	6.9

$$\Sigma X = 79.3$$

$$\Sigma Y = 90.1$$

$$\Sigma XY = 395.95$$

$$\Sigma X^2 = 369.69$$

$$\Sigma Y^2 = 464.87$$

$$N = 18$$

$$r = -0.0589$$

$$a_1 = -0.048$$

$$a_0 = 5.22$$

$$b_1 = -0.07$$

$$b_0 = 4.76$$

La media de $X = 4.40$

La media de $Y = 5.0$

Por lo que la recta de regresión para el flujo de "Y" con respecto a "X" será:

$$Y = 5.22 - 0.048 X$$

y la ecuación de la recta de regresión para el flujo de "X" con respecto a "Y" será:

$$X = 4.76 - 0.07 Y$$

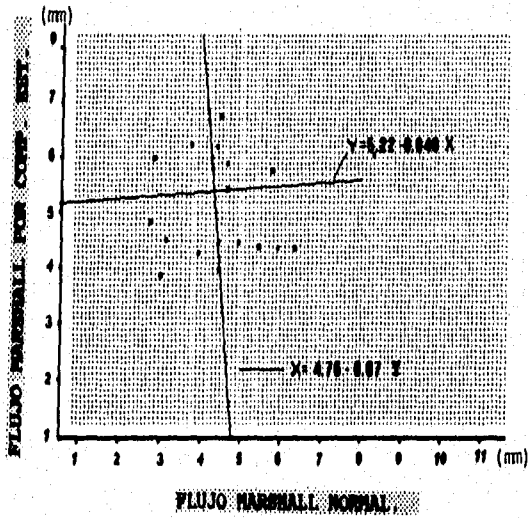


FIG. V.4 GRAFICA DE CORRELACION DEL FLUJO MARSHALL ENTRE AMBOS METODOS.

Analizaremos al igual que en los casos anteriores la correlación que existe entre los resultados obtenidos en ambos procesos de compactación para el porcentaje de vacíos del material pétreo de las pastillas:

Correlación que existe entre los dos métodos de compactación para el V.A.M.

No. pastilla	% C. A.	Resultados Marshall normal "X"	Resultados Marshall carga estática "Y"
1	4,5	13,7	16,3
2	4,5	13,2	16,0
3	4,5	14,2	15,7
4	5,5	13,5	16,5
5	5,5	13,3	16,6
6	5,5	13,5	16,2
7	6,0	14,5	16,4
8	6,0	14,6	16,0
9	6,0	14,6	16,3
10	6,5	14,7	16,4
11	6,5	15,1	16,8
12	6,5	15,2	16,3
13	7,0	15,7	16,3
14	7,0	15,5	17,1
15	7,0	15,3	16,8
16	7,5	16,1	16,6
17	7,5	16,7	16,6
18	7,5	16,6	16,6

$$\Sigma X = 266$$

$$\Sigma Y = 295,5$$

$$\Sigma XY = 4369,6$$

$$\Sigma X^2 = 3951,16$$

$$\Sigma Y^2 = 4853,0$$

$$N = 18$$

$$r = 0,45$$

$$a_1 = 0,14$$

$$a_0 = 14,39$$

$$b_1 = 1,4755$$

$$b_0 = -9,4459$$

La media de X = 14,8

La media de Y = 16,4

Por lo que la recta de regresión para el porcentaje de vacíos del material pétreo de "Y" con respecto a "X" será:

$$Y = 14,39 + 0,14 X$$

y la ecuación de la recta de regresión para el volumen de agregado mineral de "X" con respecto a "Y" será:

$$X = -9,44 + 1,47 Y$$

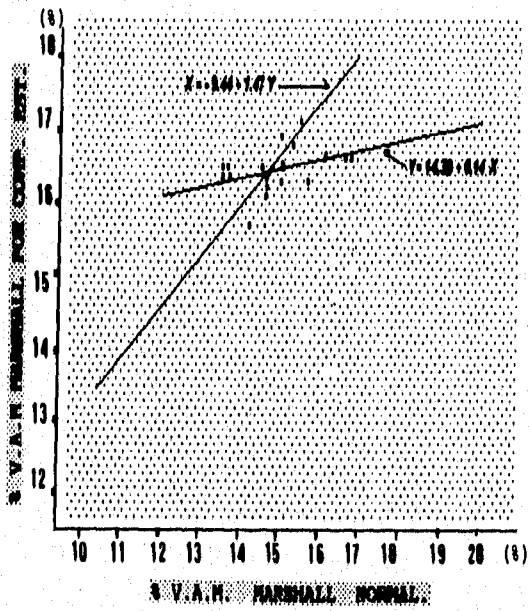


FIG. V.5 GRÁFICA DE CORRELACION DEL V.A.M. MARSHALL ENTRE AMBOS METODOS.

Para conocer la correlación del porcentaje de vacíos que hay entre los dos diferentes métodos de compactación tenemos:

Número de Pastilla	% C. A.	Resultados Marshall normal "X"	Resultados Marshall carga estática "Y"
1	4.5	3.4	6.2
2	4.5	2.8	6.0
3	4.5	3.9	5.7
4	5.5	2.1	5.5
5	5.5	1.8	5.6
6	5.5	2.1	5.2
7	6.0	2.3	4.4
8	6.0	2.4	3.9
9	6.0	2.3	4.3
10	6.5	1.4	3.4
11	6.5	1.9	3.9
12	6.5	2.0	3.3
13	7.0	1.6	2.3
14	7.0	1.3	3.2
15	7.0	1.1	2.9
16	7.0	1.1	1.6
17	7.5	1.0	1.6
18	7.5	1.6	1.6

$$\Sigma X = 36.1$$

$$\Sigma Y = 70.6$$

$$\Sigma XY = 157.8$$

$$\Sigma X^2 = 82.8$$

$$\Sigma Y^2 = 317.9$$

$$N = 18$$

$$r = 0.78$$

$$a_1 = 1.55$$

$$a_0 = 0.81$$

$$b_1 = 0.3952$$

$$b_0 = 0.4554$$

La media de $X = 2.0$

La media de $Y = 3.92$

Por lo que la recta de regresión para la relación de valores de "Y" con respecto a "X" será:

$$Y = 0.81 + 1.55 X$$

y la ecuación de la recta de regresión para la relación de valores de "X" con respecto a "Y" será:

$$X = 0.4554 + 0.3952 Y$$

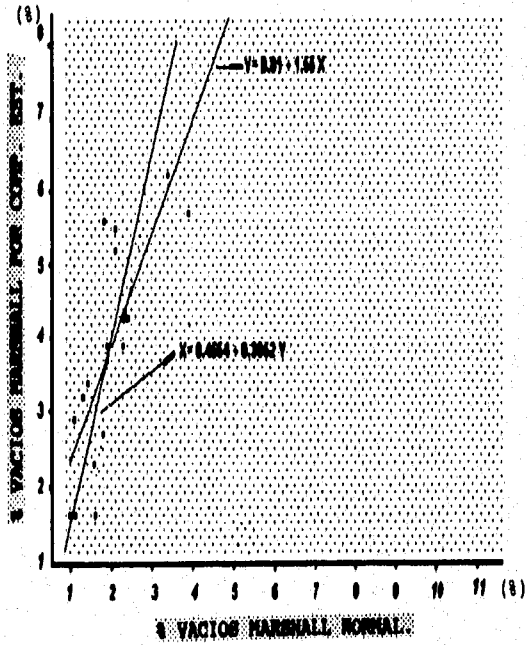


FIG. V.6 GRAFICA DE CORRELACION DEL % DE VACIOS MARSHALL ENTRE AMBOS METODOS.

CAPITULO VI DETERMINACION DE UNA CARGA ESTATICA QUE REPRODUZCA SATISFACTORIAMENTE LAS CONDICIONES MARSHALL.

El empleo de una carga estática en la prueba Marshall implica el manejo de equipo sofisticado y de precisión (Máquina de compresión simple), para el cual es necesario auxiliarse de parámetros que contribuyan a un desarrollo rápido, eficaz y confiable de la prueba, uno de ellos es la carga de aplicación sobre la prueba, así como la rapidez y el tiempo que se mantenga la carga al llegar al límite marcado; otros parámetros importantes son los que se han venido mencionando con mucho énfasis: temperatura de mezclado , temperatura de compactación y tamaño de agregados pétreos.

La búsqueda de una carga que nos reproduzca condiciones similares a las que nos proporciona la prueba Marshall convencional (a 75 golpes de pisón por cara, para soportar cargas mayores de 7 kg/ cm² , como lo indica el capítulo I) comienza al compactar especímenes bajo el efecto de una carga uniforme y constante para reproducir en éstos la altura indicada para la prueba Marshall convencional que es de seis punto treinta y cinco (6.35) centímetros con una tolerancia de más-menos tres punto cero (+-3) milímetros, aplicada con una máquina de compresión simple o máquina universal como también es llamada.

La aplicación de la carga se llevará a cabo sobre especímenes que contengan los contenidos de cemento asfáltico indicados en los capítulos I,III,IV, para la prueba Marshall.

El resultado de la compactación a través de una carga estática arrojó como resultados los siguientes datos:

NUMERO PASTILLA	%C.A.	CARGA (kg.)	ALTURA (mm)
1	4.5	23400	6.35
2	4.5	22400	6.35
3	4.5	21800	6.35
4	5.5	18600	6.35
5	5.5	18725	6.35
6	5.5	18760	6.35
7	6.0	26050	6.35
8	6.0	17461	6.35
9	6.0	18000	6.35
10	6.0	18650	6.35
11	6.5	20000	6.35
12	6.5	19000	6.35
13	6.5	17950	6.35
14	7.0	20800	6.35
15	7.0	20900	6.35
16	7.0	20800	6.35
17	7.5	19800	6.35
18	7.5	15650	6.35
19	7.5	16300	6.35
20	7.5	17150	6.35

Obtenidos estos resultados se promedian las cantidades para cada contenido de cemento asfáltico, obteniendo:

% C. A.	Carga promedio (kg.)
4.5	22533
5.5	18695
6.0	18037
6.5	18983
7.0	20833
7.5	16367

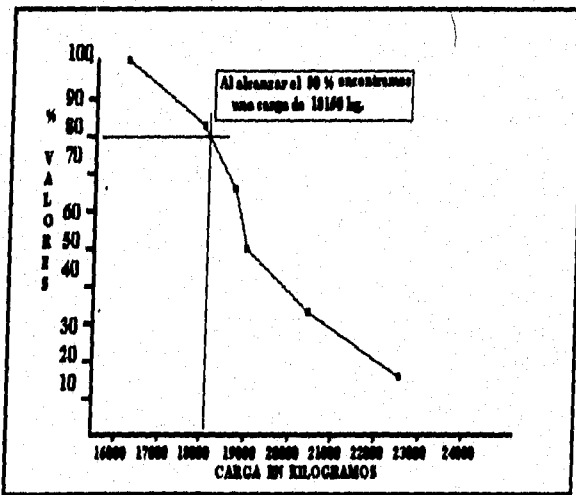
La carga que pueda reproducir las condiciones Marshall podemos obtenerla de la media de las cargas promedio obtenidas anteriormente, lo cual nos daría una carga de 16440 kg. aproximadamente, con un gran inconveniente: El porcentaje de confiabilidad, pues este sería tan solo del 50 %, el cual no es representativo totalmente y nos da una carga que tal vez nos haga repetir la prueba de confirmación de resultados que se tiene que realizar; en su defecto se opta por el método del ochenta percentil, el cual nos acerca más al 100 % que sería el ideal para el estudio.

El proceso es el siguiente:

- En una columna se colocan los datos de las cargas promedio para cada porcentaje de cemento asfáltico en orden ascendente.
- En una siguiente columna se colocan el número de valores mayores o iguales al dato en cuestión.
- En una siguiente columna se coloca el porcentaje de los valores mayores o iguales al dato en cuestión.
- Se hace una gráfica de porcentajes vs cargas promedio.

- Se localiza en la gráfica a la altura del 80 % el dato de la carga.

Carga promedio (kg)	No. Val.	% Val.
16300	> ó = 6	> ó = 100
18000	5	83
18700	4	66
19000	3	50
20500	2	33
22500	1	16



OBTENCIÓN DEL 80 PERCENTIL.

Una vez obtenida la carga aplicable para la obtención similar de resultados Marshall, con una confiabilidad del 80%, se opta por realizar una prueba de comprobación. Esta será realizada bajo los contenidos de asfalto como lo indica la prueba Marshall convencional, que son los siguientes :

Número de Ensayos.	% C. A.	Carga Aplicable (kg)
3	4.5	18150
3	5.5	18150
3	6.0	18150
3	6.5	18150
3	7.0	18150
3	7.5	18150

Cabe mencionar que el tiempo de aplicación de la carga no deberá exceder los dos (2) minutos de tiempo, y al alcanzar la carga de 18150 kg., ésta deberá mantenerse por un espacio de tiempo no menor de un minuto (60 seg.), ni mayor de minuto y medio (90 seg.). Es importante cuidar al igual que en la prueba Marshall como en otras pruebas hechas con asfalto, las temperaturas empleadas en la prueba tal como la temperatura de mezclado y aún más importante la temperatura de compactación, poniendo énfasis en ésta última, la cual no deberá nunca ser menor de cien (100 °C) grados Celcius.

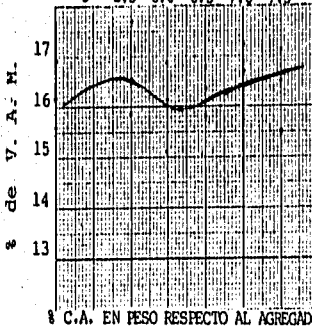
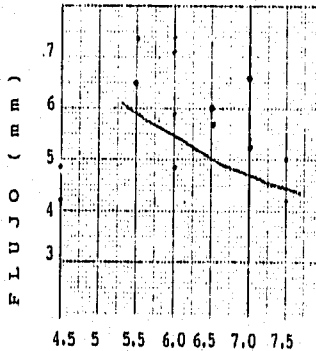
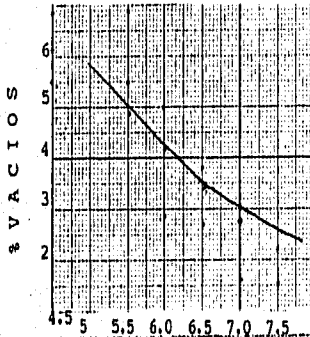
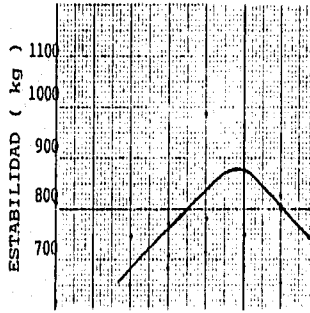
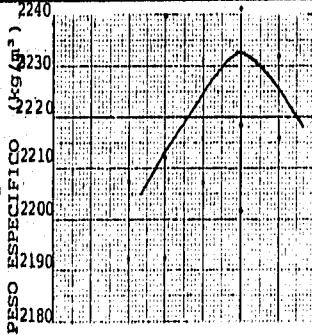
La aplicación de la carga será transmitida por un pistón, placa con vástago, o algún dispositivo similar que pueda transmitir correctamente la carga de la máquina de compresión simple al molde de compactación Marshall.

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO .
 ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS PROFESIONALES . ARAGON .
 PRUEBA MARSHALL.



ESTUDIO POR EFECTUAR MARSHALL CON CARGA DE 18150 kg. T/C/M
 LOCALIZACION E.N.E.P. ARAGON.

TIPO DE COMPACTACION CON 18150 kg. DE CARGA ENSAYE No 3



% C.A. EN PESO RESPECTO AL AGREGADO.

CARACTERISTICAS	DATOS	ESPECIFICOS
CONT. OPT. C.A. %	7.0	OPTIMO
PESO ESP. kg/m³	2233	
VACIOS (%)	3.0	3 - 5
V. A. M. (%)	16.5	14 MIN.
ESTABILIDAD (kg)	880	700 MIN.
FLUJO (mm)	4.7	2 - 4

ESPECIMEN COMPACTADO CON carga est.
 GOLPES DE PISON POR CARA, A LA
 TEMPERATURA DE 100°C

LABORATORISTA

EL JEFE DE LABORATORIO

Vo.Bo.

CAPITULO VII. ANALISIS DE LAS VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA UNO DE LOS PROCEDIMIENTOS EFECTUADOS.

La organización de la planeación dentro de las empresas es de vital importancia, cada una realiza sus planes y proyectos para el período solicitado y da congruencia al programa global tomando en cuenta las limitaciones presupuestales así como la viabilidad y utilidad de los proyectos.

Existe la planeación a corto plazo, para efectos de presentación del programa y presupuesto anual, y la de mediano y largo plazo.

Para fines de justificación de las inversiones requeridas para el mejoramiento de las obras, las empresas formulan metodologías de análisis para determinar la rentabilidad económica de las obras.

Para seleccionar la alternativa más eficiente deben fijarse los criterios de evaluación que permitan distinguir las ventajas comparativas de cada una de ellas. Por ejemplo, pueden evaluarse conforme a la cantidad de recursos que consumirán, el número de empleos generados, los costos totales de operación, etc. o utilizar una ponderación de estos mismos.

VII.1 VARIABILIDAD DE RESULTADOS.

La implantación de una carga de 18150 kg. aplicada al procedimiento Marshall por medio de una máquina de compresión simple o máquina universal (ver fig. VII.1) es sin duda un gran avance en el terreno de la investigación de las vías terrestres, mostrando una gran congruencia en los resultados obtenidos en las pruebas Marshall normales o convencionales. La similitud de los resultados arrojados por los dos métodos de compactación (con carga de 18150 kg. - convencional a 75 golpes de pisón por cara) en lo que respecta a las características hacen posible aplicar un nuevo proceso en la elaboración de pastillas para la prueba.

Las características más importantes como lo mencionamos antes son:

- Peso volumétrico.
- estabilidad.
- flujo.
- porcentaje de vacíos.
- porcentaje de vacíos del material pétreo.

destacando la característica del peso volumétrico, que fue un parámetro para el estudio muy importante, debido a que las características restantes están supeditadas a otros factores como en el caso de la estabilidad y el flujo; dichas características se ven afectadas fuertemente por la temperatura (mayor o menor de sesenta grados centígrados 60°C) del tanque de inmersión de las pastillas, así como del tiempo que éstas pasen dentro del tanque.

Así tenemos que para la característica de los pesos volumétricos los resultados por el método de compactación convencional (a 75 golpes de pisón por cara para soportar presiones mayores de 7 kg./cm^2) y los datos obtenidos por la aplicación de una carga constante de 18150 kg. de carga por medio de una máquina de compresión simple o máquina universal son los siguientes:

No. pastilla	% C. A.	Resultados Marshall normal	Resultados Marshall carga estática 18150 kg.
1	4.5	2255.9	2172.3
2	4.5	2269.9	2190.9
3	4.5	2243.5	2205.7
4	5.5	2271.4	2207.0
5	5.5	2278.4	2160.0
6	5.5	2273.1	2193.3
7	6.0	2255.6	2212.5
8	6.0	2253.0	2193.5
9	6.0	2255.1	2240.5
10	6.5	2263.0	2207.8
11	6.5	2251.4	2216.6
12	6.5	2249.3	2231.8
13	7.0	2245.9	2219.3
14	7.0	2251.3	2202.5
15	7.0	2256.2	2243.4
16	7.5	2244.4	2216.3
17	7.5	2246.9	2233.7
18	7.5	2233.3	2260.8

Para la estabilidad los resultados son los siguientes:

No. pastilla	% C.A.	Resultados Marshall normal	Resultados Marshall carga estática 18150 kg.
1	4.5	776.3	570.9
2	4.5	937.1	540.2
3	4.5	820.6	534.0
4	5.5	969.3	700.0
5	5.5	857.0	700.0
6	5.5	841.9	638.5
7	6.0	814.1	546.3
8	6.0	917.6	761.5
9	6.0	839.6	700.0
10	6.5	840.0	601.6
11	6.5	852.9	644.7
12	6.5	795.7	1585.3
13	7.0	689.1	687.7
14	7.0	717.1	792.2
15	7.0	710.6	1892.6
16	7.5	730.0	601.6
17	7.5	730.0	708.5
18	7.5	839.6	1400.8

Para el flujo los resultados son los siguientes.

No. pastilla	% C.A.	Resultados Marshall normal	Resultados Marshall carga estática 18150 kg.
1	4.5	5.1	4.6
2	4.5	5.5	4.2
3	4.5	4.2	4.8
4	5.5	6.0	5.8
5	5.5	4.5	7.4
6	5.5	6.0	6.5
7	6.0	3.7	6.0
8	6.0	4.5	7.1
9	6.0	2.9	4.8
10	6.5	6.5	5.3
11	6.5	4.5	6.0
12	6.5	3.2	5.7
13	7.0	3.0	5.3
14	7.0	4.4	6.6
15	7.0	4.0	4.4
16	7.5	2.8	4.2
17	7.5	4.0	5.0
18	7.5	4.5	4.2

Para el V. A. M. tenemos :

No. pastilla	% C. A.	Resultados Marshall normal	Resultados Marshall carga estática 18150 kg.
1	4.5	13.7	16.9
2	4.5	13.2	16.2
3	4.5	14.2	15.6
4	5.5	13.5	15.9
5	5.5	13.3	17.7
6	5.5	13.5	16.5
7	6.0	14.5	16.1
8	6.0	14.6	16.9
9	6.0	14.6	15.1
10	6.5	14.7	16.7
11	6.5	15.1	16.4
12	6.5	15.2	15.8
13	7.0	15.7	16.7
14	7.0	15.5	17.3
15	7.0	15.3	15.7
16	7.5	16.1	17.2
17	7.5	16.7	16.5
18	7.5	16.6	15.5

para el porcentaje de vacíos obtuvimos:

No. pastilla	% C. A.	Resultados Marshall normal	Resultados Marshall carga estática 18150 kg.
1	4.5	3.4	6.9
2	4.5	2.8	6.2
3	4.5	3.9	5.5
4	5.5	2.1	4.9
5	5.5	1.8	6.9
6	5.5	2.1	5.5
7	6.0	2.3	4.1
8	6.0	2.4	5.0
9	6.0	2.3	2.9
10	6.5	1.4	3.8
11	6.5	1.9	3.4
12	6.5	2.0	2.7
13	7.0	1.6	2.7
14	7.0	1.3	3.5
15	7.0	1.1	1.6
16	7.0	1.1	2.3
17	7.5	1.0	1.5
18	7.5	1.6	0.4

Los resultados obtenidos con la aplicación de la carga de 18150 kg. arroja los siguientes datos:

Contenido óptimo de cemento asfáltico	7.0
Peso específico (kg/m ³)	2233
vacios (%)	3.0
V.A.M. (%)	16.5
estabilidad (kg.)	880
flujo (mm)	4.7

Los resultados obtenidos con el procedimiento convencional que es a través de 75 golpes de pisón por cara sobre el espécimen son los siguientes:

Contenido óptimo de cemento asfáltico	6.65
Peso específico (kg/m ³)	2258
vacios (%)	1.9
V.A.M. (%)	15.1
estabilidad (kg.)	820
flujo (mm)	4.2

Por lo anterior podemos observar que la variabilidad de los resultados es factible, tomando en cuenta que la aproximación de la obtención de la carga fue de un ochenta (80%) por ciento.

Lo anterior puede reducirse en gran medida con la ayuda de los operadores capacitados y con el equipo adecuado para la correcta elaboración de los especímenes, únicamente con la aplicación de este tipo de prueba en las obras es como se podrá lograr una mejor eficiencia.

VII. 2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL PROCEDIMIENTO MARSHALL A TRAVES DE UNA CARGA ESTÁTICA.

Los puntos que podemos cuestionar para tomar una decisión son los siguientes:

- *Economía.*
- *Seguridad.*
- *Rapidez.*
- *Versatilidad.*

llegar a cumplir los cuatro puntos es una meta ideal y por lo mismo es difícil para cualquier proyecto y el nuestro no es la excepción, aún así los puntos son muy generales debiendo entonces buscar metas más concretas que nos sean útiles para conocer lo que nos ofrece este método de compactación.

En lo que se refiere a la economía las metas que podemos pedirle al proyecto podemos enunciarlas a continuación:

1. Que utilizara mano de obra calificada disponible.
2. Que fuera susceptible de tener producción a gran escala.
3. Que pudiera mantenerse un costo de operación y mantenimiento del equipo mínimo.
4. No interrumpir el proceso de producción de las pastillas por mantenimiento o reparación del equipo.
5. Que el traslado del equipo de compactación no incurra en la utilización de transporte especial, complicado y caro.

En lo que respecta a seguridad :

1. Uniformidad de resultados.
2. Duración del equipo.

En lo que a rapidez toca:

1. Elevar la productividad y calidad del trabajo.
2. Fabricación en serie.
3. Colocación transportación del equipo.
4. Instalación eficaz del equipo.

En la versatilidad:

1. Elaboración en campo o laboratorio.
2. Elaboración parte en taller y parte en obra.
3. Sustitución de alguno de los elementos de la prueba.

Observando lo anterior podemos decir :

En lo que a la economía se refiere es necesario tener personal y técnicos de operación altamente entrenados y calificados para lograr obtener buenos resultados, lo cual resulta un costo adicional. Para la selección del equipo se deberán valorar los diversos factores que intervienen en la realización de una obra como son :

- Volumen de obra a ejecutar.
- Programa de obra.

- Disponibilidad de equipo y refacciones.
- Personal de asistencia para reparaciones.
- Costo del equipo.

Lo anterior genera una desventaja importante, la inversión a corto o largo plazo en el equipo, la cual es generalmente de dimensiones mayores; en cuanto a crédito externo, al requerirlo las instituciones crediticias solicitan información específica y detallada sobre la aplicación de los préstamos y el avance en los proyectos, generando mecanismos de control y seguimiento adicionales. A demás el proceso que va desde la gestión hasta el ejercicio mismo de los créditos impone la participación de un complicado aparato administrativo. En su defecto habrá de considerar contratar un laboratorio con instalaciones y equipo suficientes para controlar y ejecutar la prueba con las dificultades técnicas que esto implica.

El transporte y colocación del equipo requiere de personal calificado y especializado, lo que aunado a lo anterior genera una gran derrama económica en comparación al empleo de poco personal y equipo que requiere el elaborar la misma prueba por los métodos convencionales.

Por lo que a seguridad respecta podemos ver que este método arroja resultados siempre uniformes al prescindir del personal que se fatiga o cansa por la aplicación de los golpes de pison; aunque no precisa una gran seguridad en la duración del equipo de compactación y el molde Marshall.

Pudimos observar en primera instancia que la aplicación de la carga sobre el molde, le ocasiona a este daño por la compresión que sufren dentro la mezcla asfáltica con las paredes del molde, lo cual produce un rayado en las paredes aunque sean de acero laminado; por otra parte el equipo de compresión no esta seguro de su buen funcionamiento, si no se encuentra bajo las manos de un operador con capacidad técnica calificada para su uso.

La productividad es una ventaja marcada, al utilizar este método podemos realizar una cantidad mayor de especímenes con las características más uniformes puesto que no influyen factores humanos en la compactación de la mezcla asfáltica.

La versatilidad de este método de compactación tiene sus limitantes ya que es difícil acudir al campo con un equipo tan sofisticado y de características físicas voluptuosas y frágiles, por lo que en el campo prevalecerá por mucho tiempo la prueba convencional, hasta que la tecnología logre encontrar equipos similares (maquina universal) que puedan dar resultado como los del equipo anterior y que puedan ser trasladados a diferentes lugares sin sufrir daño o descalibraciones por causa de su traslado.

La utilización de este método en lugares cercanos a la planta de asfalto o inclusive dentro de la misma planta puede ser una buena propuesta para el uso de este método.

Podemos concluir que las ventajas y desventajas de este método son los siguientes:

VENTAJAS:

- Facilidad de elaboración de la prueba.
- Utilización en planta de asfalto estacionaria.
- Uniformidad en la obtención de las características Marshall.
- Gran producción de especímenes.

DESVENTAJAS:

- La necesidad de personal capacitado y entrenado para la prueba.
- La realización de la prueba será necesariamente cerca del equipo de compresión simple.
- El costo de la producción de la prueba por reparación o recalibración del equipo.
- Mantenimiento elevado del equipo de compresión simple.
- El transporte del equipo a la obra.
- El desgaste del molde Marshall.

VII.3 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DEL METODO MARSHALL CONVENCIONAL.

Las ventajas que podemos mencionar para esta prueba son en primer lugar el conocimiento y utilización de la prueba convencional, lo cual hace de este uno de los de mayor demanda por las empresas; seguida de la utilización de personal no necesariamente tan capacitado técnicamente dando como resultados bajos costos de equipo y mano de obra, ya que al tener que manejar un pisón en lugar de una máquina de compresión simple los costos son menores por concepto de mantenimiento y reparación del equipo. La credibilidad y confianza de este método sobre otro novedoso también es una ventaja, ya que el arraigo del método convencional hace difícil la introducción del método por carga estática.

Las desventajas de este método son primordialmente técnicas, aunque se han encontrado solución a la mayoría de ellas, pero una de las que son de importancia son el cansancio y la pérdida del conteo en el número de golpes por cada cara en el espécimen.

VENTAJAS:

- Conocimiento del comportamiento de la prueba.
- El mantenimiento del equipo es bajo.
- La utilización del equipo no necesita personal muy capacitado.
- Puede realizarse pruebas en campo y en laboratorio.
- La corrección a casi todas las fallas técnicas.

DESVENTAJAS:

- Pérdida del conteo de golpes en el proceso de elaboración.
- Cansancio del operador.

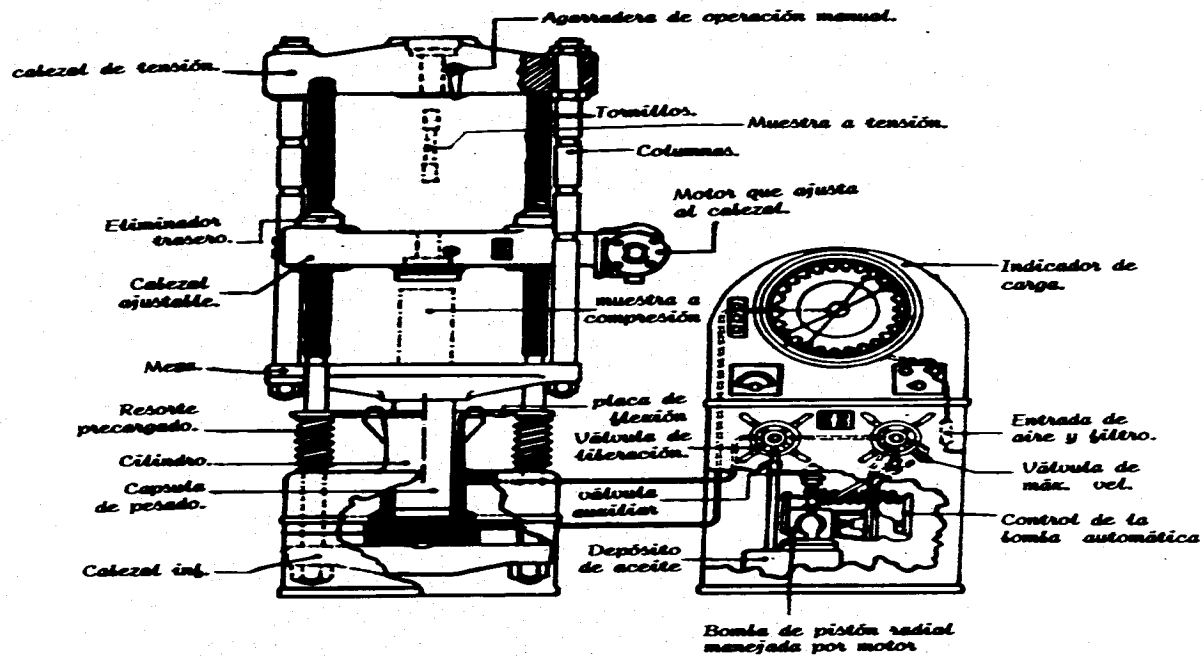


FIG. VII.1 MAQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS BALDWIN-TATE-EMERY.

CONCLUSIONES.

- El método de diseño y evaluación del procedimiento por compactación estática de 18150 kg. de carga, parece ser una tecnología apropiada para evaluar las características Marshall y el buen comportamiento de las carpetas construidas bajo este proceso.
- En los estudios comparativos de evaluación de las características de Peso volumétrico, estabilidad, flujo y relación de vacíos Marshall no se observaron gran variabilidad de resultados, con lo que podemos concluir que el uso de la prueba por compactación estática es factible.
- En el proceso de elaboración de las pastillas bajo condiciones de carga estática será necesario el empleo de personal capacitado y calificado que este familiarizado con el equipo y con el comportamiento de la prueba.
- Alcanzar un grado de compactación con una carga mayor a la especificada en este tipo de prueba (condición estática) puede presentar problemas de confiabilidad en cuanto a resultados se refiere debido a que el material pétreo es susceptible a la energía de compactación, pudiendo sufrir fracturas antes de alcanzar mayor carga afectando las características Marshall finales.
- El empleo de un equipo diferente al utilizado para la realización de esta prueba en particular no deberá ser factor para el cambio de la carga obtenida.
- Esta carga podrá ser utilizada en cualquier equipo que sea capaz de aplicarla, aun cuando sea diferente a una máquina de compresión simple en su funcionamiento o en sus componentes; debiendo corroborar los resultados de las características Marshall, lo anterior podrá ampliar el campo de acción para el uso de este método.
- En la perspectiva económica el empleo de este método resulta inadecuado para efecto de corto plazo, aun cuando represente una posibilidad para aumentar la calidad y la producción de los especímenes.

- Será necesario proponer su uso en las empresas involucradas con la prueba Marshall como las empresas asfalteras, así como a las diferentes dependencias de los estados como las juntas locales de caminos, dirección general de obras, etc. para dar continuidad al estudio y más aun, credibilidad a este procedimiento Marshall por medio de carga estática, pudiendo surgir de lo anterior la perfección paulatina de la prueba.

A N E X O I I
C R O N I C A F O T O G R A F I C A D E L A P R U E B A
M A R S H A L L P O R C O N D I C I O N E S D E C A R G A
E S T A T I C A D E 1 8 1 5 0 k g .

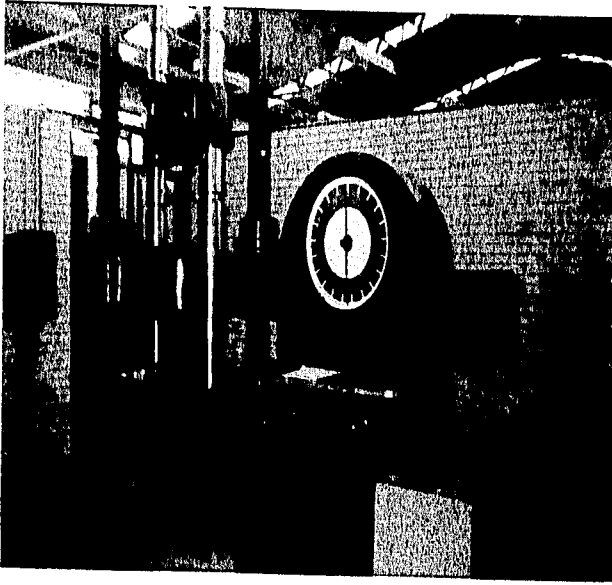


FIG. 1. EQUIPO PARA LA APLICACION DE LA CARGA DE 18150 kg.

FIG. 2. OBTENIDA LA MUESTRA PARA DISEÑO CON EL PESO Y LA GRANULOMETRIA ESPECIFICADA, SE CALENTARAN LOS MATERIALES HASTA UNA TEMP. DE 160 °C. EL ASFALTO SE CALENTARA HASTA LOS 120 °C.



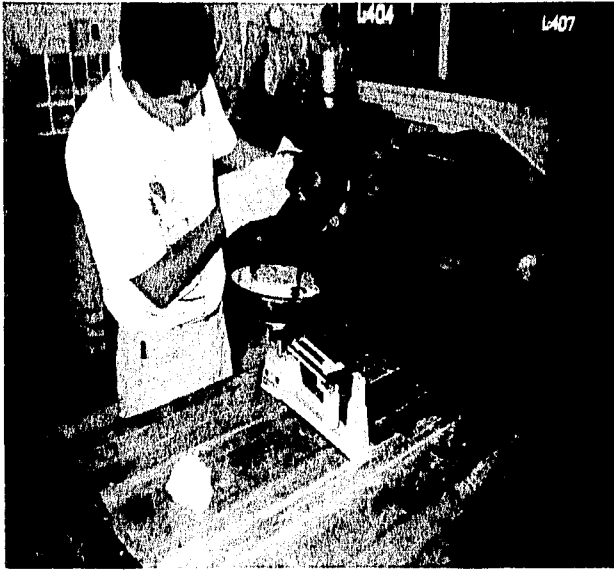


FIG. 3. ALCANZADAS LAS TEMPERATURAS PARA EL CEM, ASFALTICO Y LOS MATERIALES PETREOS, SE INTEGRAN, PARA LOS DIFERENTES -
CONTENIDOS DE CEM, ASFALTICO REQUERIDOS.

FIG. 4. SE MEZCLAN PERFECTAMENTE HASTA CUBRIR EL TOTAL DEL MATERIAL.

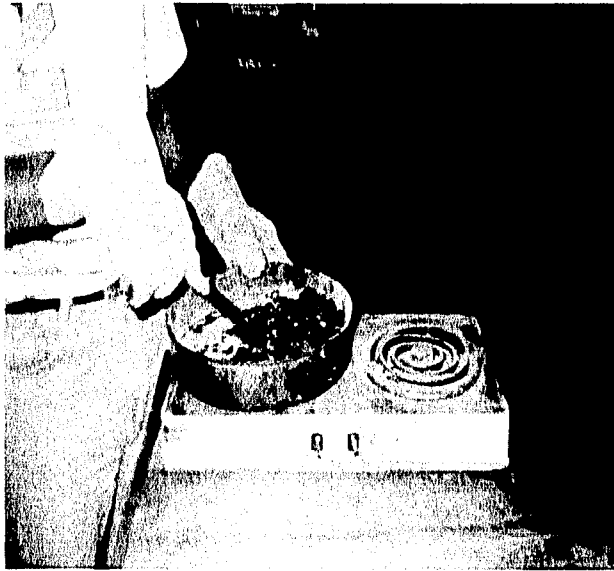
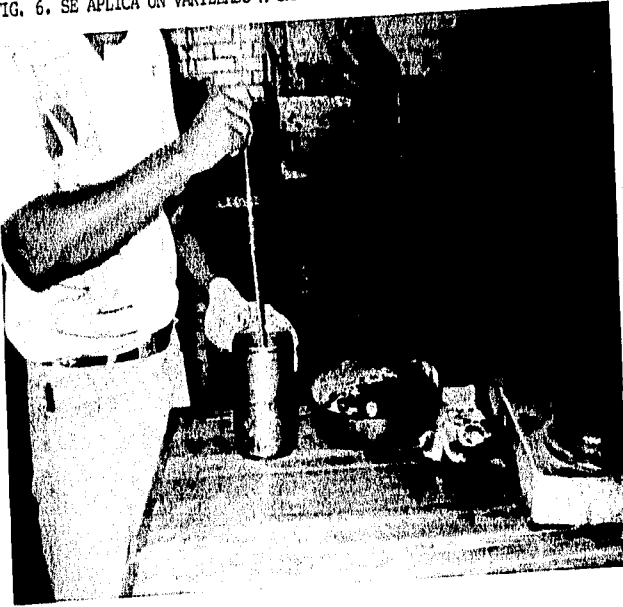




FIG. 5. MEZCLADOS LOS PETREOS CON EL CEM. ASFALTICO, SE INTRODUCEN EN EL MOLDE MARSHALL PARA SU COMPACTACION. (EN 3 CAPAS)

FIG. 6. SE APLICA UN VARILLADO A CADA CAPA DE LA MEZCLA.



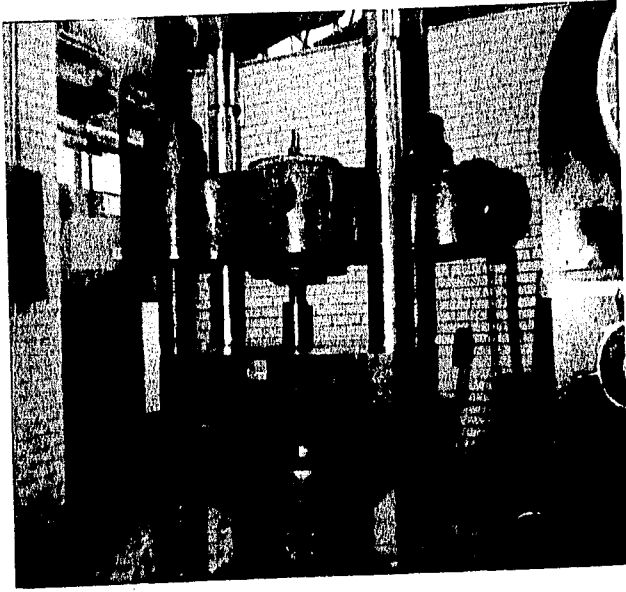
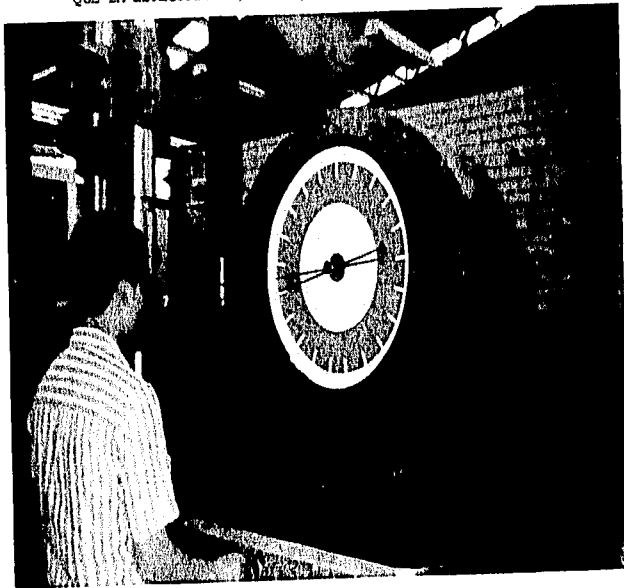


FIG. 7. COLOCAMOS EL MOLDE EN LA MESA DE LA MAQUINA PARA LA APLICACION DE LA CARGA.

FIG. 8. APLICACION DE LA CARGA. (SE DEBE CUIDAR LA TEMPERATURA DE COMPACTACION QUE, NO DEBERA SER EN NINGUN CASO MENOR QUE LA ESPECIFICADA, 100°C)



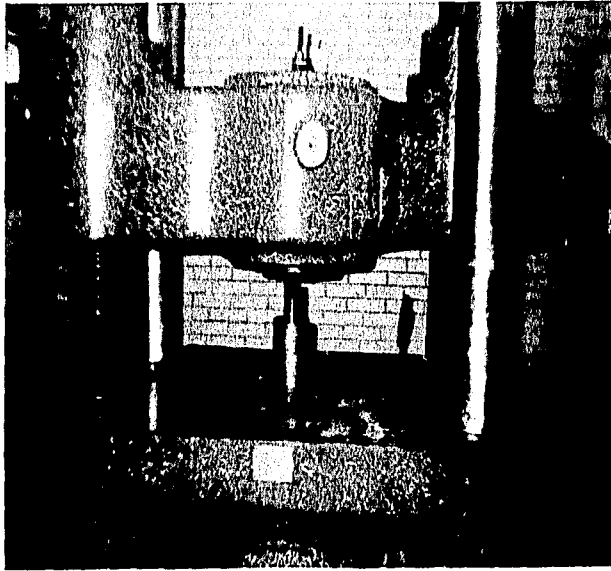


FIG. 9. ALCANZADA LA CAR-
CARGA SE MANTIENE POR UN
MINUTO

FIG. 10. SE RETIRA LA CAR-
GA Y SE SACA LA PASTILLA
DEL MOLDE MARSHALL; CON
UNA CARGA EN EL MOLDE -
QUE SE SOBREPONDRÁ EN EL
COLLARIN.

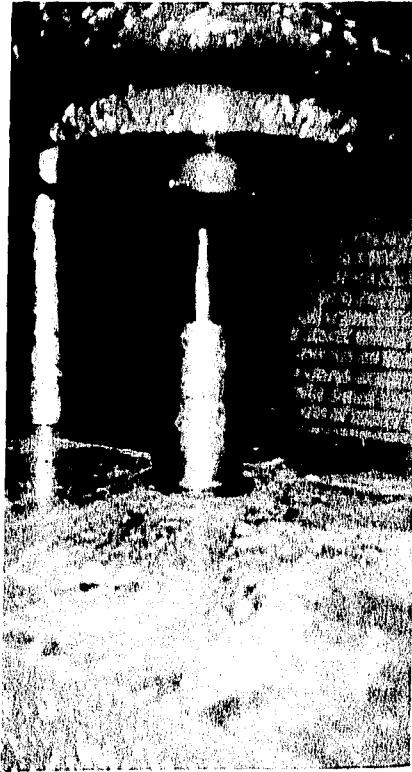
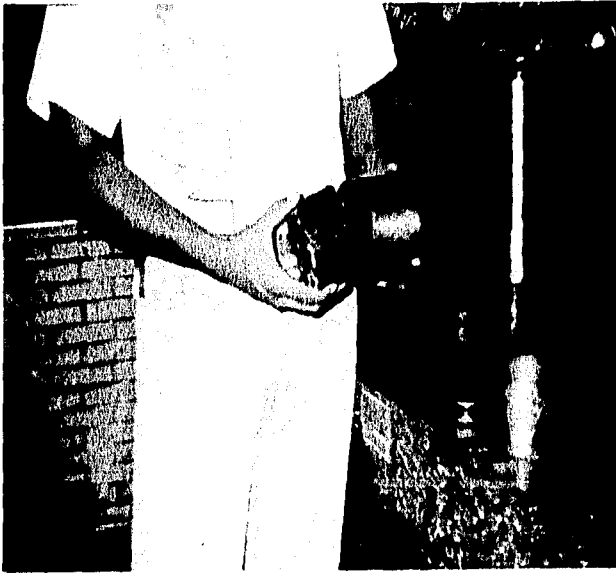




FIG. 11. LA CARGA SE APLICA HASTA QUE 3/4 PARTES DE LA PASTILLA
ASOMEN DEL MOLDE.

FIG. 12. EL ESPECIMEN SE EXTRA DEL MOLDE.



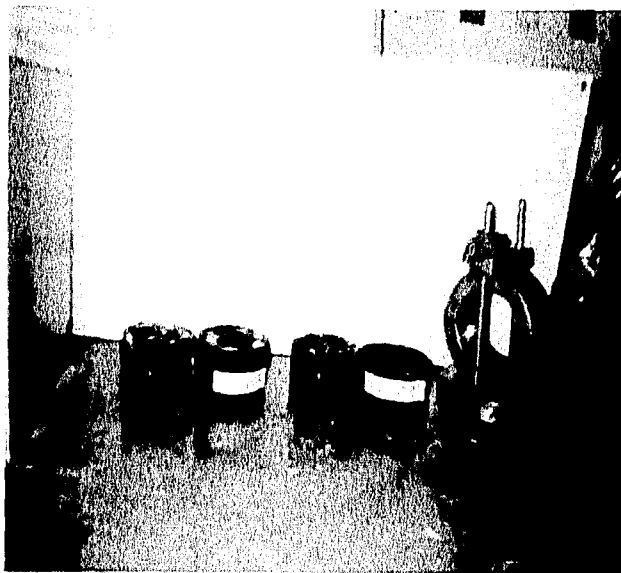


FIG. 13. SE MARCAN LAS PASTILLAS DE CADA CONTENIDO DE C. ASFALTICO.

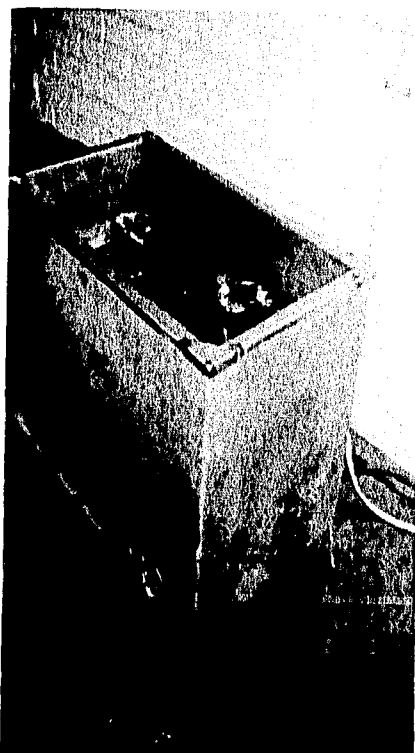


FIG. 14. SE SUMERGEN EN EL DEPOSITO DE AGUA A TEMPERATURA CTE. DE 60°C

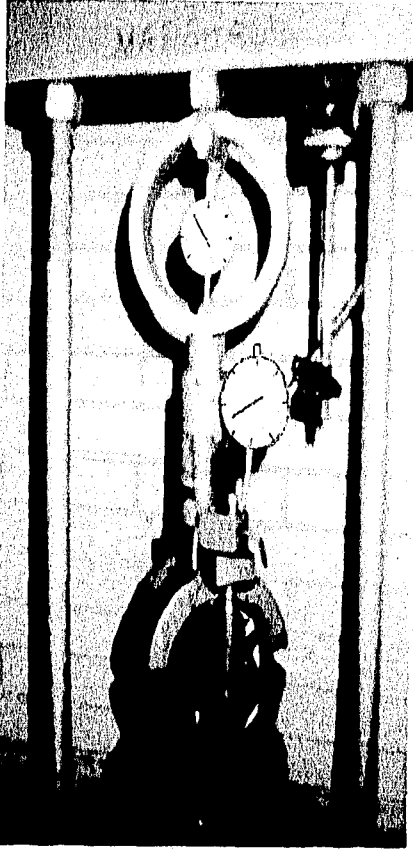


FIG. 15. SE SOMETE A COMPRESION LATERAL A CADA UNA DE LAS PASTILLAS PARA OBTENER SUS CARACTERISTICAS DE ESTABILIDAD Y FLUJO. (EL ANILLO DEL MARCO MARSHALL NOS DA LA ESTABILIDAD Y EL MICROMETRO NOS DA EL FLUJO)

La descripción de la prueba, así como la obtención de todas las características Marshall están descritas en el capítulo IV por lo que se omiten ciertos pasos en este anexo fotográfico.

BIBLIOGRAFIA.

- Normas para muestreo y pruebas de los materiales equipos y sistemas,
parte 6.01 titulo 6.01.03 tomo II.
S.C.T. 1991
- Desarrollo tecnológico en las vías terrestres.
VII reunión nacional de ingeniería de vías terrestres.
Asociación mexicana de ingeniería de vías terrestres a. c. 1986
- Modernización de la infraestructura para el transporte,
VIII reunión nacional de ingeniería de vías terrestres.
Asociación mexicana de ingeniería de vías terrestres a. c. 1988
- Vías de comunicación.
Carlos Crespo Villalaz,
Ed. LIMUSA
- Estructuras de vías terrestres,
Fernando Olivera Bustamante,
Ed. CECSA
- Estadística,
Murray R. Spiegel
Serie Schaum-Mc Graw Hill
- Manual de practicas de estructuras de pavimentos,
Ing. Celia Martínez.
Ing. José P. Mejorada.
E.N.E.P. Aragón. U.N.A.M.
- Ingeniería de carreteras.
Wright
Ed. LIMUSA

- La ingeniería de suelos en vías terrestres,
Rico y del Castillo
Ed. LIMUSA

- Manual de pavimentos,
Jesus Moncayo
Ed, CECSA

- Manual de laboratorio de suelos en ingeniería,
Joseph E. Bowles
Ed, Mc Graw Hill

- Normas para muestreo y pruebas de los materiales equipos y sistemas,
parte 6,01 titulo 6.01.03 tomo I.
S.C.T. 1991

- Normas para construcción de instalaciones carreteras y aeropistas,
Pavimentos. titulo 3.01.03
S.C.T. 1991