



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

A LOS ASISTENTES A LOS CURSOS

Las autoridades de la Facultad de Ingeniería, por conducto del jefe de la División de Educación Continua, otorgan una constancia de asistencia a quienes cumplan con los requisitos establecidos para cada curso.

El control de asistencia se llevará a cabo a través de la persona que le entregó las notas. Las inasistencias serán computadas por las autoridades de la División, con el fin de entregarle constancia solamente a los alumnos que tengan un mínimo de 80% de asistencias.

Pedimos a los asistentes recoger su constancia el día de la clausura. Estas se retendrán por el periodo de un año, pasado este tiempo la DECFI no se hará responsable de este documento.

Se recomienda a los asistentes participar activamente con sus ideas y experiencias, pues los cursos que ofrece la División están planeados para que los profesores expongan una tesis, pero sobre todo para que coordinen las opiniones de todos los interesados, constituyendo verdaderos seminarios.

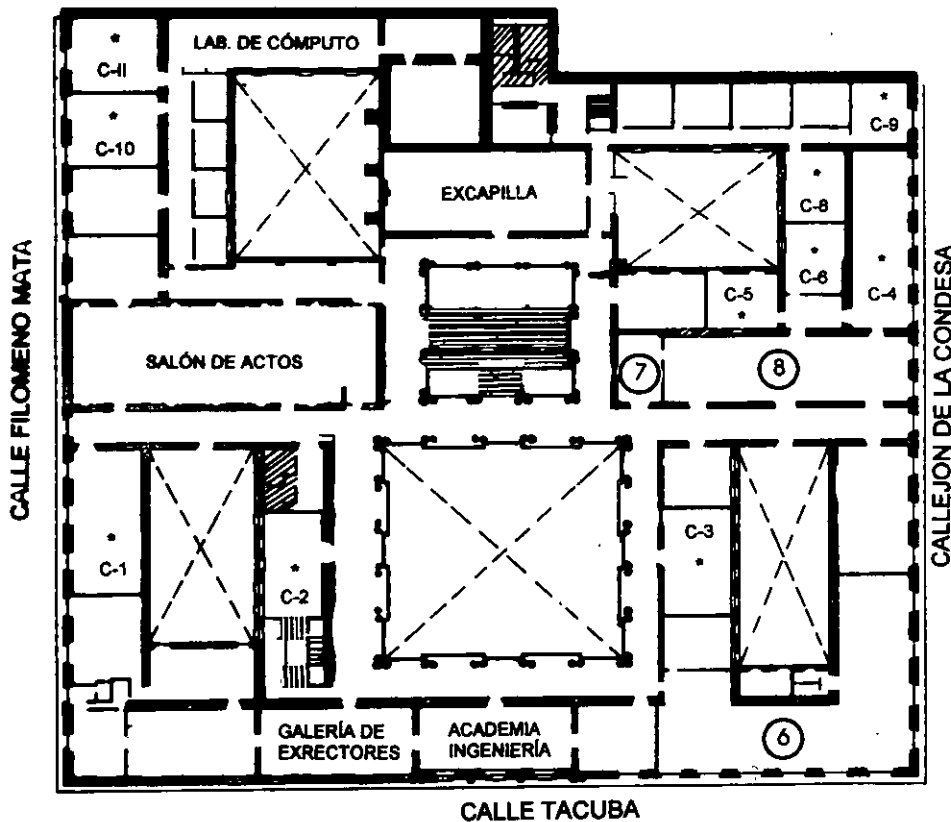
Es muy importante que todos los asistentes llenen y entreguen su hoja de inscripción al inicio del curso, información que servirá para integrar un directorio de asistentes, que se entregará oportunamente.

Con el objeto de mejorar los servicios que la División de Educación Continua ofrece, al final del curso deberán entregar la evaluación a través de un cuestionario diseñado para emitir juicios anónimos.

Se recomienda llenar dicha evaluación conforme los profesores impartan sus clases, a efecto de no llenar en la última sesión las evaluaciones y con esto sean más fehacientes sus apreciaciones.

**Atentamente
División de Educación Continua.**

PALACIO DE MINERÍA



GUÍA DE LOCALIZACIÓN

1. ACCESO
2. BIBLIOTECA HISTÓRICA
3. LIBRERÍA UNAM
4. CENTRO DE INFORMACIÓN Y DOCUMENTACIÓN "ING. BRUNO MASCANZONI"
5. PROGRAMA DE APOYO A LA TITULACIÓN
6. OFICINAS GENERALES
7. ENTREGA DE MATERIAL Y CONTROL DE ASISTENCIA
8. SALA DE DESCANSO

SANITARIOS

* AULAS

1er. PISO

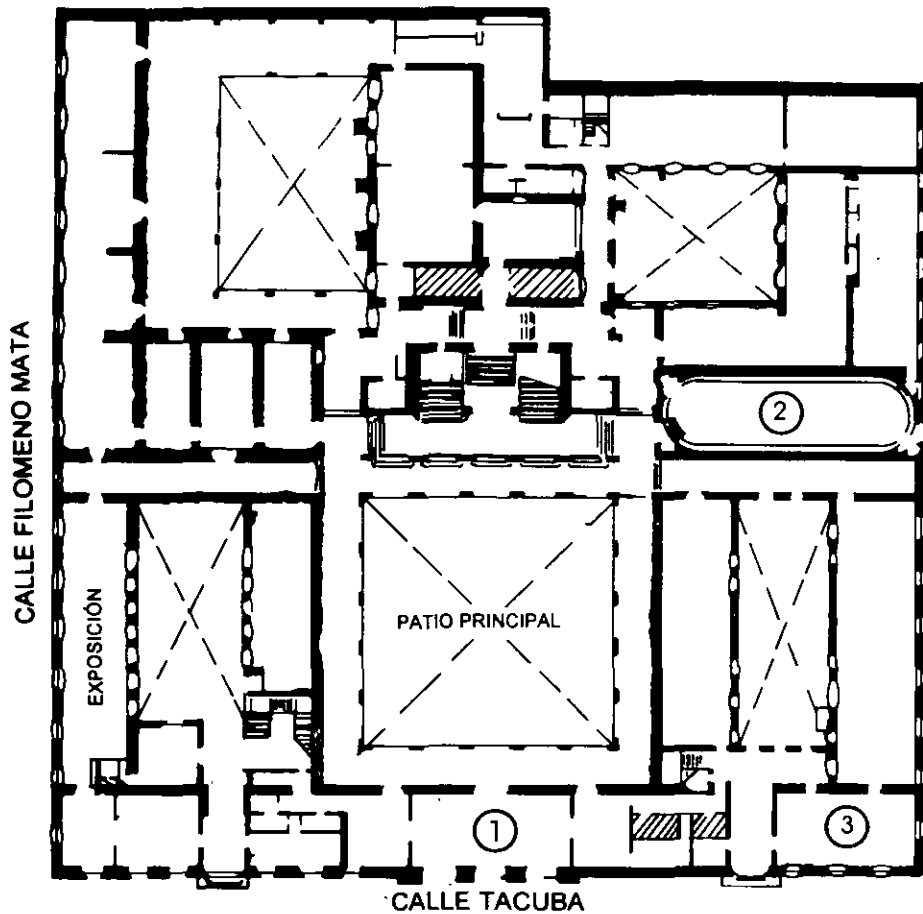


DIVISIÓN DE EDUCACIÓN CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERÍA U.N.A.M.
CURSOS ABIERTOS

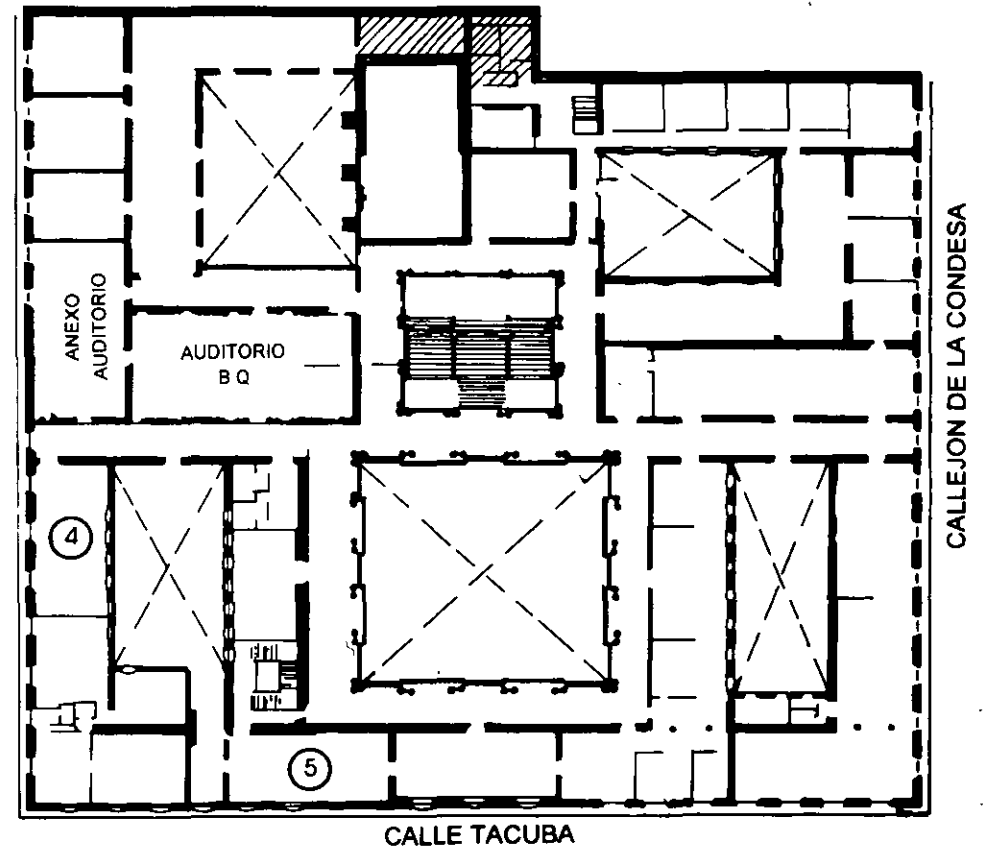
DIVISIÓN DE EDUCACION CONTINUA



PALACIO DE MINERIA



PLANTA BAJA



MEZZANINNE



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

**CURSOS INSTITUCIONALES
PROGRAMA DE CAPACITACIÓN PARA CAMINOS Y PUENTES
FEDERALES 1999**

MATERIALES PÉTREOS

Notas Generales

M. en I. Rafael Pedró Brito Ramírez
Palacio de Minería
1999.

CAPUFE 1999

**DIVISION DE EDUCACION CONTINUA
FACULTAD DE INGENIERIA
UNAM**

MATERIALES PETREOS

**CD. INDUSTRIAL IRAPUATO, GTO.
25 Y 26 DE OCTUBRE DE 1999.**

MATERIALES PETREOS

OBJETIVO DEL CURSO:

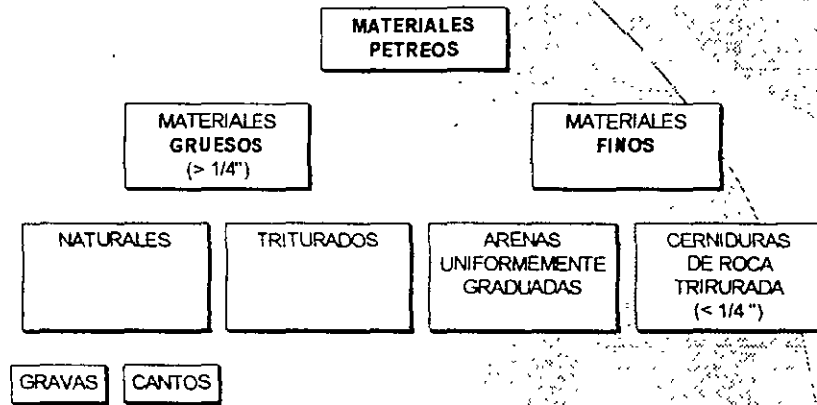
- IDENTIFICAR LOS DIFERENTES TIPOS DE MATERIALES PETREOS QUE SE UTILIZAN EN LA CONSTRUCCION DE CARRETERAS.

MATERIALES PETREOS

DEFINICION:

- SEGUN LA SOCIEDAD AMERICANA DE PRUEBA DE MATERIALES, LOS DEFINE COMO MATERIA INERTE QUE AGLOMERADA POR UNA MATRIZ EN UNA MASA CONGLOMERICA FORMA CONCRETO, MORTERO, ARGAMASA, ETC.

MATERIALES PETREOS



PROPIEDADES MECANICAS DE LOS FRAGMENTOS DE

ROCAS NATURALES

DEPENDEN DE:

- FORMA.
- TAMAÑO.
- TEXTURA SUPERFICIAL.
- CAPA DE REVESTIMIENTO DE LAS PARTICULAS.



FORMA

DEPENDE DE:

- PRESENCIA Y DISTRIBUCION DE LOS PLANOS DE FALLA.

PLANOS DE CRUCERO EN LOS MINERALES.

DIACLASAS EN LAS ROCAS.

SI FALTAN O ESCASEAN, LA PROBABILIDAD DE FRACTURA ES LA MISMA EN TODAS LAS DIRECCIONES Y SE PRODUCEN FRAGMENTOS EQUIDIMENSIONALES.

CUARZO:

TIENE CRUCERO FACIL Y SUS GRANOS DE ARENA (ANGULARES O RODADOS)



SON EQUIDIMENSIONALES.

**GRANITO, MARMOL Y
CUARCITA:**



**ORIGINAN CANTOS RODADOS MAS O
MENOS EQUIDIMENSIONALES.**

**CANTOS RODADOS
TIPICOS**



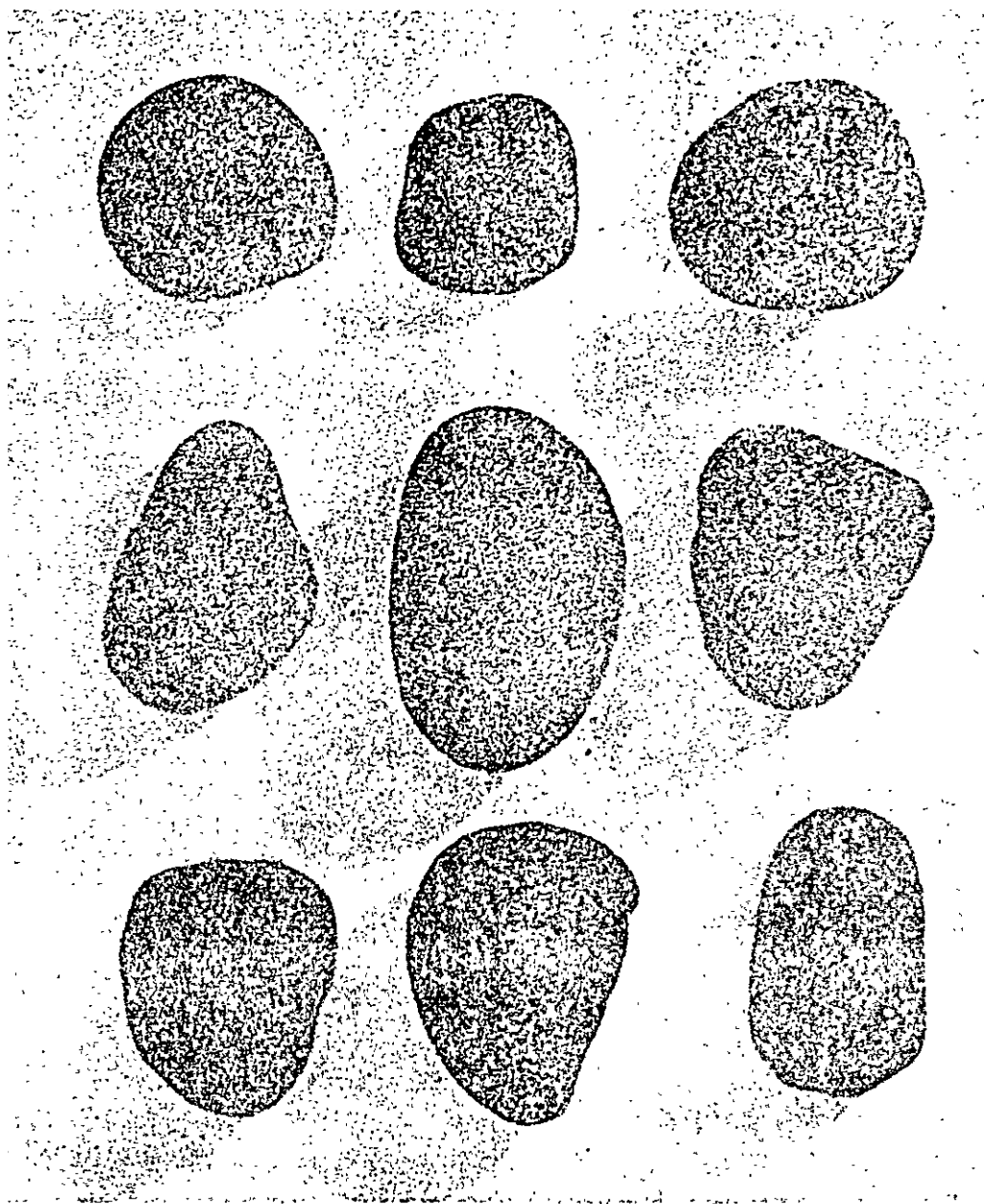


FIG. 8-16. Árido rodado típico, $\times 1$. (Fot. W. Y. Holland.)

FELDESPATOS:

TIENEN DOS PLANOS DE CRUCERO



FRAGMENTOS TABULARES.

ESQUISTOS, PIZARRAS Y ROCAS CON MICA:



LAJAS Y FORMAS PLANAS.

ROCAS MARINAS (SILEX Y CUARCITA):

SON FRAGILES Y DE GRANO FINO. AL SER
TRITURADAS PUEDEN PRODUCIR:



TROZOS ASTILLOSOS.

BASALTOS:



PARTICULAS ANGULOSAS
AFILADAS.

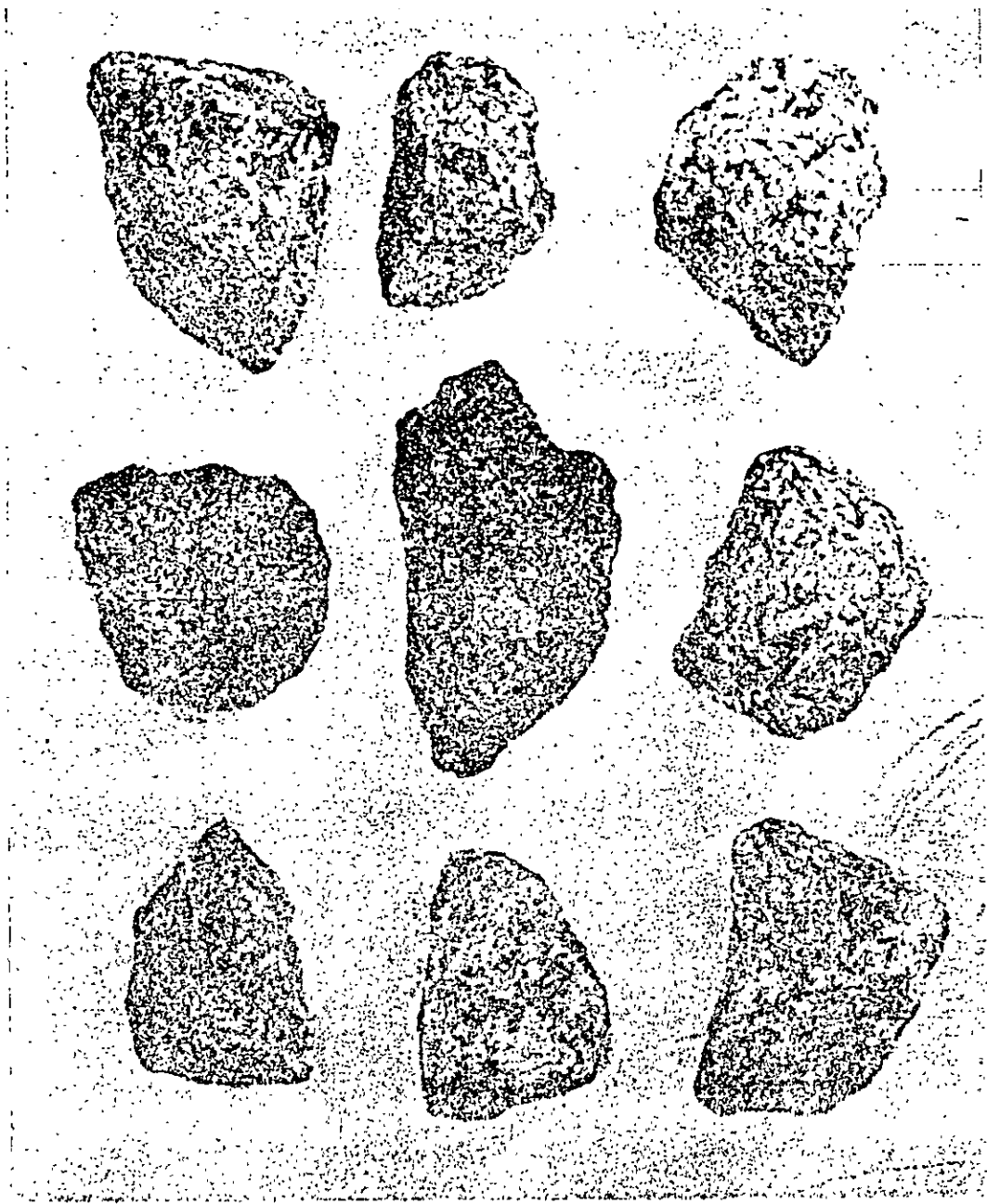


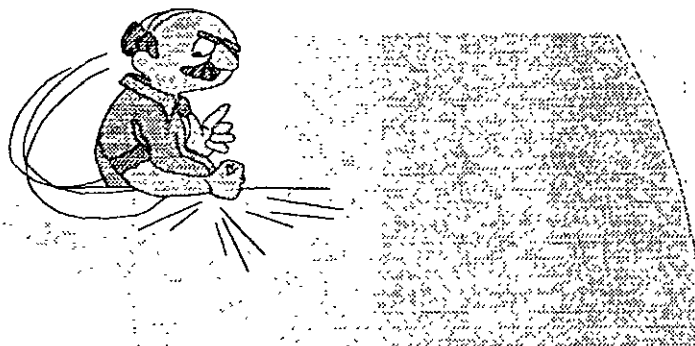
FIG. 8-17. Áridos angulosos típicos, $\times 1$. (Fot. W. Y. Holland.)

AGREGADOS ANGULOSOS TIPICOS

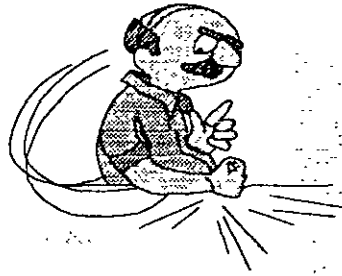
-
-
-

**LOS AGREGADOS PETREOS
CON PARTICULAS PLANAS O
ALARGADAS TIENDEN A
DISMINUIR EL REVENIMIENTO**

(Y REQUIEREN MAYOR CANTIDAD DE CEMENTO, AGUA Y
ARENA PARA TENER UNA MEZCLA MANEJABLE).



LOS AGREGADOS PETREOS CON FRAGMENTOS ANGULARES, AFILADOS, REQUIEREN MAYOR CANTIDAD DE CEMENTO PARA PREPARAR EL CONCRETO.



TAMAÑO Y GRANULOMETRIA

- VARIA DESDE LAS PARTICULAS MAS FINAS HASTA LOS GRANDES BOLOS.

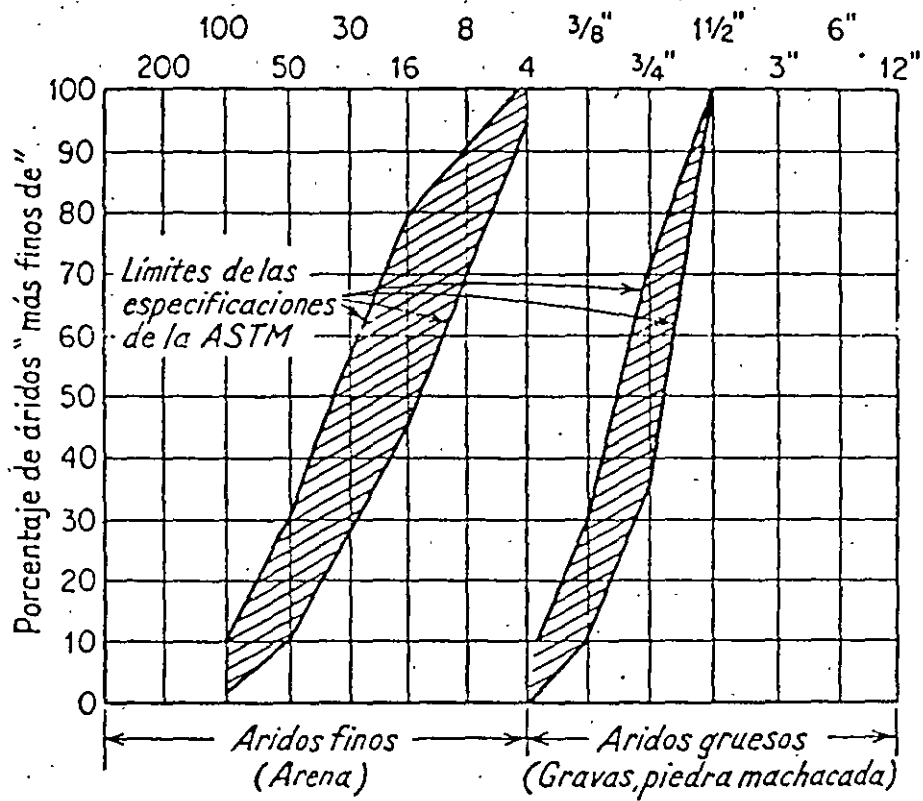
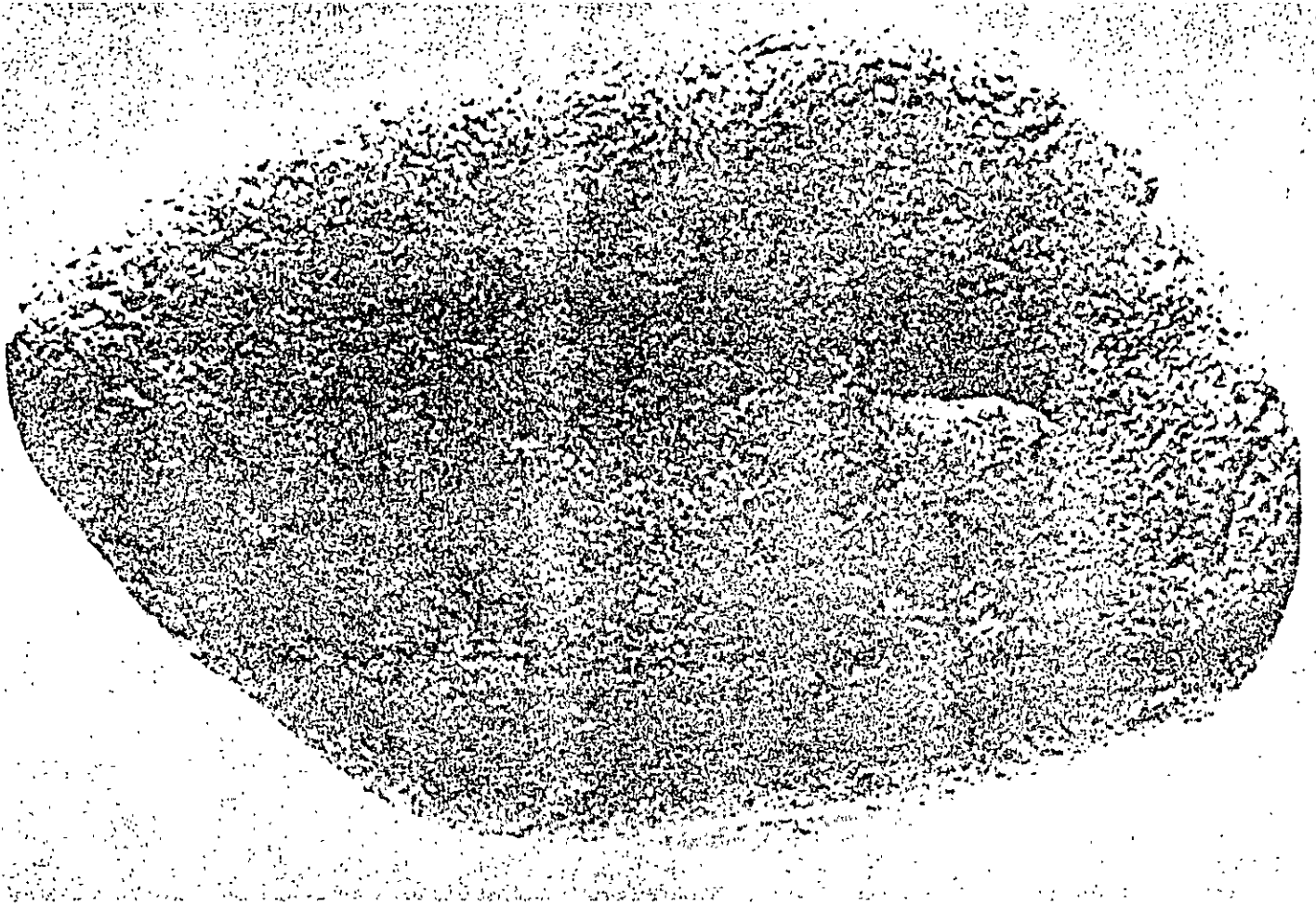


FIG. 8-18. Dosificación de áridos para hormigón.



IG. 8-19. Buena textura de superficie para áridos para hormigón: basalto, $\times 1 \frac{1}{2}$. (Fot. USBR.)

DOSIFICACION DE AGREGADOS PETREOS PARA CONCRETOS

-
-
-

LOS PRODUCTOS
NATURALES SI SU
GRADACION NO ES BUENA,
HAY QUE PREPARARLOS

- CRIBARLOS
- LAVARLOS
- MEZCLARLOS



**LA GRADACION
DE LOS AGREGADOS
PETREOS TIENE UNA
INFLUENCIA DIRECTA**

**EN LA
MANEJABILIDAD DE
LA MEZCLA DE
CONCRETO.**



GRADACION:

PREDOMINA UN TAMAÑO DE GRAVA O ARENA



HUECOS ENTRE LAS PARTICULAS



**INSUFICIENCIA DE MORTERO PARA LLENAR LOS
HUECOS**



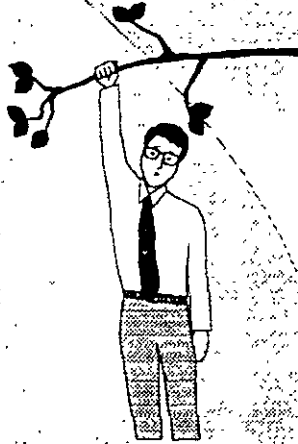
AUMENTO DE CONTENIDO DE AGUA-CEMENTO



CONCRETO CARO O POBRE.

¡ PRECAUCION !

- ROTURA EN LA MANIPULACION.
- DESGASTE EXCESIVO EN LAS CLASIFICADORAS.



TEXTURA SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS PETREOS

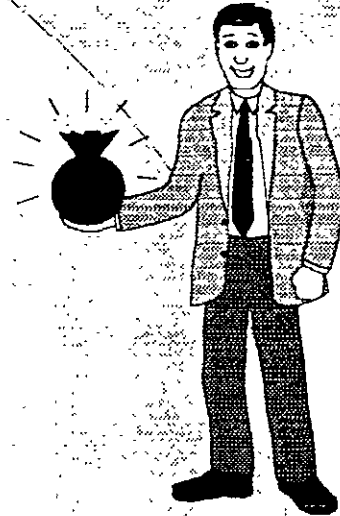
- LA PERIFERIA DE UN CANTO DIFIERE DE SU INTERIOR.
- PUEDE SER BLANDO Y POROSO A CAUSA DE LA LIXIVIACIÓN Y ALTERACION DE SUS MINERALES CONSTITUYENTES ORIGINALES.
- LISA E IMPERMEABLE A LOS LIQUIDOS.

TEXTURA SUPERFICIAL:

TEXTURA RELATIVAMENTE ASPERA



BUENA LIGAZON EN EL CONCRETO



NUMERO DE POROS EN UNA PARTICULA DE LOS MATERIALES PETREOS TIENE INFLUENCIA DIRECTA EN:

- DURABILIDAD DEL CONCRETO CON LA CONGELACION Y DESHIELO.
- RESISTENCIA.
- ELASTICIDAD.
- RESISTENCIA A LA ABRASION (poco poro hace ideal para revestimiento de carreteras).
- PESO ESPECIFICO
- COEFICIENTE DE ALTERACION QUIMICA
- LIGAZON.

SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS PETREOS

- RESITENCIA A LA METEREORIZACION QUIMICA.
- RESITENCIA A LA METEREORIZACION FISICA.

SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS PETREOS

● **DILATACION**

FRACTURA FRAGIL.

SATURACION

POCA CONSISTENCIA.

- ROCAS MICACEAS
- PIZARRAS
- ARENISCAS FRIABLES
- ROCAS ARCILLOSAS

SOLIDEZ DE LOS AGREGADOS PETREOS

POCA FIRMEZA:

- ROCAS CRISTALINAS DE GRANO GRUESO.
- ALGUNOS SILEX.

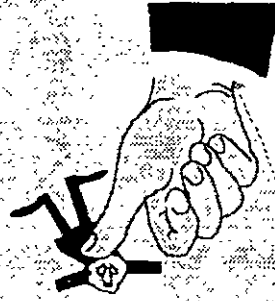




FIG. 8-13. Pedrera — una fuente potencial de piedra machacada.

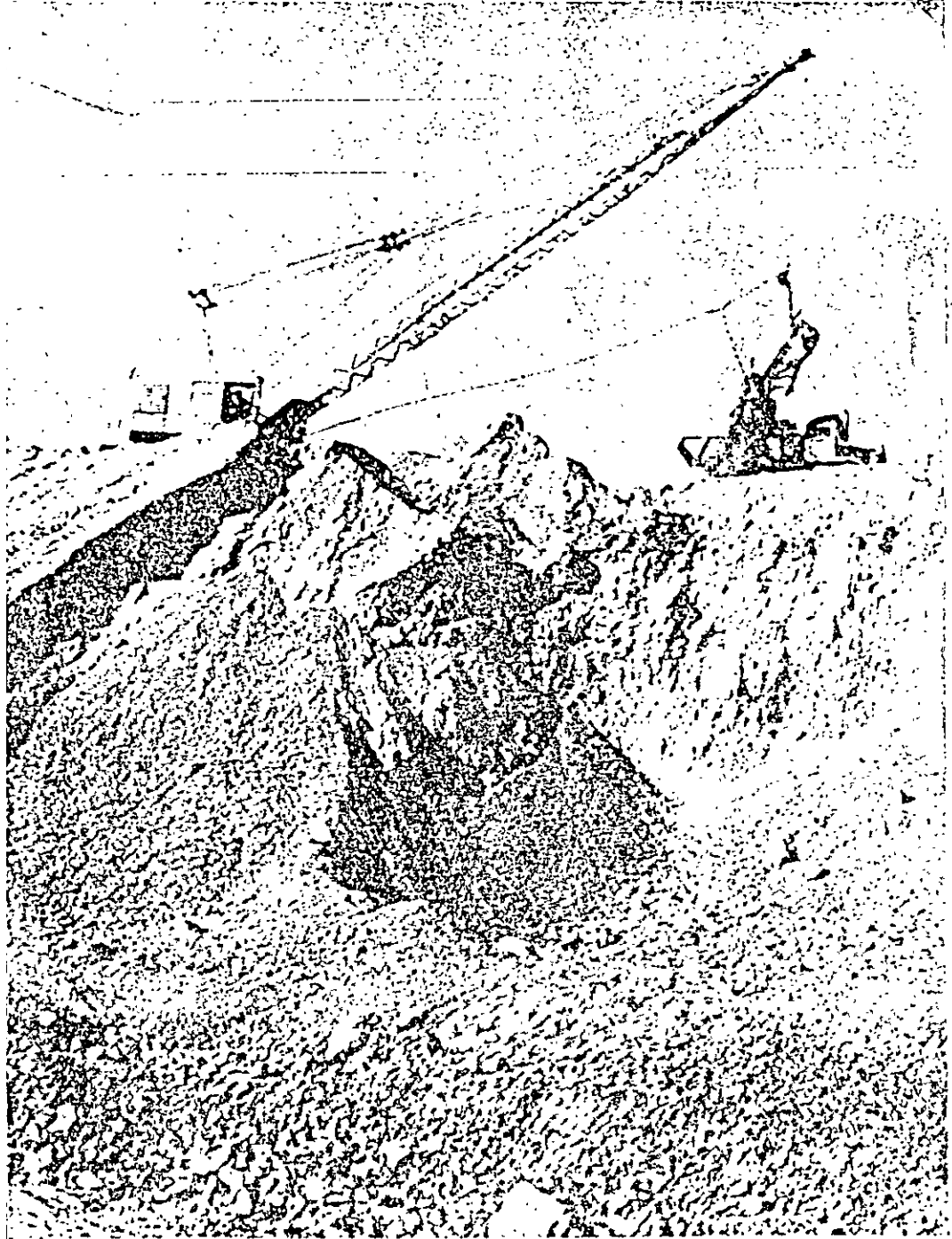


FIG. 8-14. Draga obteniendo arena y grava. (Fot. USBR.)

No deberán permitirse los trabajos de sello, si la temperatura ambiente es inferior a cinco grados centígrados (5° C), si se usan asfaltos rebajados, y de diez grados centígrados (10° C), si se usan emulsiones asfálticas.

5-03.3 MATERIALES

A) Tanto los materiales pétreos, como los asfálticos, deberán ajustarse íntegramente a lo asentado en las Especificaciones. En la siguiente tabla se indican las características que deben reunir los materiales pétreos y asfálticos recomendados para el riego de sello, así como las dosificaciones adecuadas para cada tipo de material.

T A B L A I

Relación de materiales y dosificaciones correspondientes en trabajos de riego de sello

C O N C E P T O	DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	
	3 - A	3 - E
I <i>Material pétreo</i>		
1. Granulometría		
A) Que pase por la malla de.....	9.5 mm (3/8")	9.5 mm (3/8")
B) Y se retenga en la malla de.....	Núm. 8	Núm. 4
2. Dosificación en lt/m²...	8 a 10	9 a 11
II <i>Material asfáltico</i>		
1. Cemento asfáltico (Temperatura de aplicación 130°C a 160°C).....	0.7 a 1.0	0.8 a 1.0
2. FR3 (75% de cemento asfáltico) (Temperatura de aplicación 60° C a 80°C).....	0.9 a 1.3	1.0 a 1.3

CONCEPTO	DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	
	3 - A	3 - E
3. FR4 (80% de cemento asfáltico) (Temperatura de aplicación 80°C a 100°C).....	0.9 a 1.3	1.0 a 1.3
4. Emulsión catiónica (60% de cemento asfáltico) (Temperatura de aplicación 5°C a 40°C)..	1.2 a 1.7	1.3 a 1.7
5. Emulsión aniónica (55% de cemento asfáltico) (Temperatura de aplicación 5°C a 40°C)	1.3 a 1.8	1.4 a 1.8

Las tolerancias admitidas en la granulometría del material pétreo son las siguientes:

- A) En el material 3-A, puede aceptarse hasta un cinco por ciento (5%) de material retenido en la malla de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8"); siempre que no sean partículas mayores de doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"); del material que pase por la malla número ocho (8), podrá aceptarse hasta un cinco por ciento (5%), siempre que éste se retenga totalmente en la malla número cuarenta (40).
- B) En el material 3-E, puede aceptarse hasta un cinco por ciento (5%) de material retenido en la malla de nueve punto cinco (9.5) milímetros (3/8"), siempre que no sean partículas mayores de doce punto siete (12.7) milímetros (1/2"); del material que pase por la malla número cuatro (4) podrá aceptarse hasta un cinco por ciento (5%), siempre que éste se retenga totalmente en la malla número ocho (8).

B) Como puede verse en la tabla, existe cierto margen en la dosificación de los materiales. Dentro de esta variación, aceptada por las Especificaciones, deberá fijarse la dosificación precisa que se requiera, dependiendo de las condiciones existentes en la superficie por sellar y de las características del material pétreo a usar, considerando los siguientes lineamientos generales:

- 1) Se efectuarán una serie de tanteos con distintas dosificaciones de materiales asfálticos y pétreos, en áreas de un (1) metro cuadrado.
- 2) La dosificación más adecuada será aquella con la que se logre una carpeta totalmente cubierta con sello, que tenga un

- desprendimiento de material pétreo no mayor del diez por ciento (10%) y que no presente afloramientos de asfalto.
- 3) Cuando, por experiencia anterior en condiciones similares se pueda definir la dosificación probable, se podrá iniciar el trabajo en tramos cortos, de longitud no mayor de trescientos (300) metros, e ir haciendo los ajustes que procedan en los tramos subsecuentes.
 - 4) Deberá verificarse la cantidad de asfalto regada por metro cuadrado, colocando en el tramo por regar un papel de un (1) metro cuadrado y pesando el papel antes y después del riego. Se efectuarán en forma sistemática tres (3) de estas verificaciones por cada mil (1 000) metros lineales de avance.
- C) Cuando, para corregir alguna deficiencia en los materiales pétreos, se requiera usar aditivos, deberán ser del tipo y con la dosificación recomendada por el laboratorio.
- D) Aun cuando ya se ha indicado que los materiales deben cumplir íntegramente lo asentado en las Especificaciones, por su importancia se considera necesario insistir en que el material pétreo, además de tener la granulometría adecuada, satisfaga los siguientes requisitos:
- 1) El desgaste no debe ser mayor del treinta por ciento (30%) de acuerdo con la prueba de Los Angeles.
 - 2) Presentar afinidad con el asfalto. Esta se determina por medio de la prueba de desprendimiento por fricción y no debe ser mayor del veinticinco por ciento (25%).
 - 3) Las partículas que se rompan en forma de laja no deben exceder del treinta y cinco por ciento (35%).

- D) Deberá evitarse que pasen más de cuatro (4) días desde la terminación de la mezcla hasta la iniciación de su tendido.
- E) Siempre que se pretenda construir una sobrecarpeta, deberán efectuarse previamente los trabajos de bacheo, renivelaciones u otros que requiera la carpeta existente.

5-04.4 EQUIPO. Es el mismo que el detallado en la cláusula anterior sobre riegos de sello, con las siguientes diferencias:

- A) En las mezclas, tanto en el lugar como en planta, se usa equipo de compactación de mayor peso que en el caso de riegos. Los rodillos lisos deberán ser de siete (7) a once (11) toneladas y los compactadores de llantas neumáticas de cuatro (4) a siete (7) toneladas.
- B) En el caso de mezclas en el lugar, se usan generalmente motoconformadoras o mezcladoras móviles para revolver los materiales. Para tender la mezcla se usa la primera de ellas.
- C) Las mezclas para concretos asfálticos se elaboran en plantas estacionarias, se transportan cubriéndolas con lona para que la pérdida de calor sea mínima y se colocan en el camino con extendedoras.

5-04.5 MATERIALES. Los materiales para la construcción de carpetas o sobrecarpetas, tanto pétreos como asfálticos, deberán ajustarse íntegramente a las Especificaciones correspondientes.

5-04.6 PROCEDIMIENTO

- A) *Carpeta de un riego.* Se sigue el mismo para las carpetas de un riego que para el riego de sello, descrito en la cláusula 5-03, con la diferencia de que la carpeta de un riego se construye sobre una base impregnada.

B) *Carpeta de dos riegos.* Sobre la base debidamente preparada e impregnada se procederá a dar el primer riego de asfalto, cubriéndolo inmediatamente con el material pétreo número dos. Sobre esta primera capa, además del rastreo para lograr un buen acomodo, se dará una pasada del equipo de compactación.

Al terminar la compactación de la primera capa se deberá dejar pasar un lapso mínimo de seis (6) horas antes de abrir al tránsito, y cuarenta y ocho (48) horas después, como mínimo, y previo barrido del material suelto excedente, se dará el segundo riego de producto asfáltico, que se cubrirá inmediatamente con el material pétreo número tres, procediendo posteriormente a su compactación, rastreo, recompactación y barrido en forma semejante a la descrita para riegos de sello.

Las dosificaciones de materiales pétreos y asfálticos para carpetas de dos riegos serán las siguientes:

CONCEPTO	DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO	
	1er. Riego Nº 2	2o. Riego Nº 3 - B
I <i>Material pétreo</i>		
1) Granulometría		
A) Que pase por la malla de.....	12.7 mm ($\frac{1}{2}$ ")	6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ")
B) Que quede retenido en la malla de....	6.3 mm ($\frac{1}{4}$ ")	Nº 8
2) Dosificaciones lt/m ²	8-12	6-8
II <i>Material asfáltico</i>		
1) Cemento asfáltico.....	0.6-1.1	0.8-1.1
2) FR-3.....	0.8-1.5	1.1-1.5
3) FR-4.....	0.8-1.4	1.0-1.4
4) Emulsión catiónica o aniónica.....	0.8-1.0	1.0-1.5

Las tolerancias admitidas en la granulometría del material pétreo son las siguientes:

TOLERANCIAS

Todo el material N° 2 debe pasar por la malla de diecinueve punto uno (19.1) milímetros ($\frac{3}{4}$ "); el noventa y cinco por ciento (95%) como mínimo, debe pasar por la malla de doce punto siete (12.7) milímetros ($\frac{1}{2}$ "); en la de seis punto tres (6.3) milímetros ($\frac{1}{4}$ ") debe retenerse, como mínimo el noventa y cinco por ciento (95%), y en la número ocho (8), el cien por ciento (100%).

En el material 3-B puede aceptarse hasta un cinco por ciento (5%) de material retenido en la malla de seis punto tres (6.3) milímetros ($\frac{1}{4}$ "), siempre que no sean partículas mayores de nueve punto cinco (9.5) milímetros ($\frac{3}{8}$ "); del material que pase por la malla número ocho (8) podrá aceptarse hasta un diez por ciento (10%), siempre que éste se retenga totalmente en la malla número cuarenta (40).

- C) *Carpeta de tres riegos.* Sobre la base impregnada y limpia se procederá a aplicar el primer riego de producto asfáltico, e inmediatamente después se procederá a cubrirlo con material pétreo N° 1. Sobre esta primera capa, además del rastreo para lograr un buen acomodo, se dará una pasada del equipo de compactación. Al terminar la compactación de la primera capa se procederá a dar el segundo riego de producto asfáltico, e inmediatamente después se cubrirá con material pétreo N° 2, procediendo a su rastreo y compactación, dando dos pasadas completas de todo el equipo. Unas seis horas después de terminada esa compactación podrá abrirse el tramo al tránsito por un lapso no mayor de dos semanas. Transcurrido ese tiempo deberá barrerse la carpeta para eliminar el material pétreo que no se haya adherido; a continuación se dará el tercer riego de producto asfáltico cubriéndolo inmediatamente con el material pétreo N° 3-B y procediendo a su compactación, rastreo, recompactación y barrido en forma semejante a la descrita para riegos de sello.

Las dosificaciones de materiales pétreos y asfálticos para carpetas de tres riegos serán las siguientes:

CONCEPTO	DENOMINACION DEL MATERIAL PETREO		
	1er. Riego Nº 1	2o. Riego Nº 2	3er. Riego 3 - B
I Material pétreo			
1) Granulometría			
A) Que pase por la malla de.....	25.4 mm (1")	12.7 mm (½")	6.3 mm (¼")
B) Que quede retenido en la malla de ..	12.7 mm (½")	6.3 mm (¼")	Nº 5
2) Dosificación.....	20 a 25	8 a 12	0 a 5
II Material asfáltico			
1) Cemento asfáltico.....	0.6-1.1	1.0-1.4	0.7-1.0
2) FR-3.....	0.8-1.5	1.3-1.9	0.9-1.3
3) FR-4.....	0.8-1.4	1.2-1.8	0.9-1.2
4) Emulsión catiónica o aniónica.....	0.8-1.0	1.0-1.5	1.0-1.5

D) *Carpeta asfáltica de mezcla en el lugar.* El procedimiento de ejecución deberá ser el siguiente:

- 1) Cuando se trate de construir una carpeta nueva, deberá colocarse sobre una base elaborada de acuerdo con lo establecido en las Especificaciones y debidamente impregnada.
- 2) Cuando se trate de construir una sobrecarpeta, deberán efectuarse previamente todos los trabajos que se requieran, tales como relleno de grietas, baches, renivelaciones u otros en la carpeta existente.
- 3) La aceptación de los materiales pétreos, su producción, acarreo y forma de almacenarlo deberá sujetarse a los siguientes lineamientos:
 - a) Deberá recurrirse al laboratorio para verificar que los materiales pétreos y asfálticos cumplan con lo indicado en las Especificaciones. Cuando un solo material pétreo no llene las características granulométricas requeridas, se

- emplearán dos o más materiales, que se mezclarán entre sí, en seco.
- b) El material pétreo suelto se colocará sobre los acotamientos y deberá acamellonarse dentro de las veinticuatro (24) horas siguientes a su colocación en el camino.
 - c) El material suelto colocado en la carretera nunca deberá ser obstáculo para el libre tránsito por la misma, por lo que, si los acotamientos son angostos deberá acamellonarse el material a medida que se va avanzando en el tiro. Se dejará como mínimo un ancho libre de circulación de cinco punto cincuenta (5.50) metros.
 - d) En las curvas, el material deberá acamellonarse en la parte inferior de la corona.
 - e) En tramos urbanos, sinuosos con poca visibilidad, o con volumen de tránsito superior a mil quinientos (1500) vehículos por día, el material pétreo deberá quedar a más de cincuenta (50) centímetros fuera de la carpeta asfáltica. Si no puede conseguirse esta condición, se elaborará la mezcla en plataforma de trabajo, fuera de la corona del camino.
 - f) Deberán colocarse las señales necesarias, de acuerdo con lo indicado en el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito", para prevenir a los usuarios de la existencia de material sobre el camino. Además, sobre los montones o sobre el camellón se colocarán piedras encaladas cada diez (10) metros.
- 4) Para la mezcla deberán usarse asfalto de fraguado rápido o emulsiones de fraguado medio o lento. El laboratorio indicará en cada caso la dosificación que se requiera,

de acuerdo con los materiales pétreos y asfálticos disponibles.

- 5) El asfalto debe incorporarse por etapas al material pétreo, para facilitar y hacer más uniforme el mezclado y el desfluxado, así como para evitar pérdidas de asfalto por escurrimiento.
- 6) El asfalto deberá calentarse hasta la temperatura especificada para su aplicación, como se indica en la tabla I (pág. 69).
- 7) El material pétreo deberá estar de preferencia seco en el momento de la aplicación del asfalto. Si contiene cierto grado de humedad pero menor a la de absorción y no se considera económico eliminarla, podrá usarse mediante el empleo de un aditivo que se incorpore al asfalto. El máximo de humedad permisible, así como el tipo y porcentaje del aditivo, serán los que recomienda en cada caso el laboratorio.
- 8) Sobre la base impregnada, o sobre la carpeta existente, debidamente limpia de polvo y materia extraña, se dará un riego de liga en toda la superficie que quedará cubierta por la carpeta, con petrolizadora, utilizando un producto asfáltico de fraguado rápido y a la temperatura especificada. Para condiciones normales se usará una dosificación de cero punto cinco (0.5) a cero punto setenta y cinco (0.75) litros de asfalto por metro cuadrado. Esta dosificación podrá aumentarse, cuando se trate de riego de liga sobre carpeta de textura muy abierta y/o agrietada, o bien disminuirse si se trata de carpeta con exceso de asfalto y/o textura muy cerrada.
- 9) Cuando el asfalto del riego de liga haya adquirido la viscosidad adecuada, se iniciará el tendido de la mezcla con el mínimo de pasadas de la motoconformadora, para evitar que el material pétreo se clasifique por tamaños.

- 10) Inmediatamente después de tendida la mezcla se procederá a su compactación, utilizando un rodillo liso tipo tándem, de siete (7) a once (11) toneladas, continuándola con un compactador neumático con peso de cuatro (4) a siete (7) toneladas, hasta alcanzar una compactación del noventa y cinco por ciento (95%) como mínimo; después se volverá a usar el rodillo liso tipo tándem para borrar las huellas que deje el compactador neumático. Para obtener un mejor acomodo de las partículas que forman la carpeta se procurará realizar el planchado a las horas en que la temperatura ambiente o la acción de los rayos solares favorezcan esta operación.

La compactación se hará paralela al eje, iniciándola en las tangentes de las orillas hacia el centro y en las curvas del lado interior hacia el exterior.

Cuando haya desviación y se considere necesario, se hará la compactación diagonalmente al eje del camino, para disminuir o eliminar huellas o juntas y mejorar la compacidad de la mezcla.

- 11) Cuando la carpeta quede compactada se procederá a efectuar un recorte con talud de cuarenta y cinco grados (45°) aproximadamente en las orillas de la misma, con objeto de ajustar el ancho y alineamiento conforme al proyecto, teniendo cuidado de que al efectuarlo no se dañe la base. El material producto del recorte se retirará de la corona, taludes y/o cunetas de la carretera.
- 12) Para dar por terminada la construcción de la carpeta, se verificará que el alineamiento, el perfil, el espesor, ancho y acabado, se hayan construido de acuerdo con el proyecto y dentro de las tolerancias que

se indican en las Especificaciones Generales de Construcción.

13) Deberán ejecutarse las diversas etapas de la construcción de la carpeta en forma tal que ocasionen las menores molestias al tránsito. Ello se logra tanto al reducir en lo posible los tiempos destinados a cada etapa, como, principalmente, al disminuir los lapsos intermedios entre la ejecución de etapas sucesivas. Lo ideal es, por ello, que tan pronto se complete el tiro de material pétreo de un tramo se inicie la incorporación de asfalto, y tan pronto se termine la elaboración de la mezcla se inicie su tendido.

E) *Carpeta de concreto asfáltico.* Se construye mediante el tendido y compactación de mezclas asfálticas elaboradas en una planta estacionaria, utilizando materiales pétreos clasificados y dosificados y cemento asfáltico.

El procedimiento de construcción que se seguirá, las características del equipo que deberá emplearse, así como las tolerancias que se permiten en espesores y anchos, están descritas en el Capítulo LVII de la Parte Cuarta de las Especificaciones.

F) *Defectos que se observan frecuentemente.* Las fallas de las carpetas, en cualquiera de sus tipos, comúnmente pueden ser ocasionadas por defectos de diseño o construcción. Algunos de los que se observan con frecuencia y que deben ser evitados, son:

1) La carpeta existente tiene defectos que no pueden remediarse con la construcción de una sobrecarpeta, y al hacerla falla en un lapso breve. Dichos defectos pueden ser por:

a) Mala calidad y/o mala compactación de las terracerías, sub-rasante, sub-base y base.

- b) Carpeta existente inestable, especialmente por exceso o escasez de asfalto o clasificación del material pétreo.
 - c) Exceso de humedad en las capas subyacentes por defectos o falta de sub-drenaje, excesiva permeabilidad de las capas superiores o filtraciones laterales desde las cunetas.
- 2) El material pétreo no cumple lo asentado en las Especificaciones. Es frecuente encontrar defectos en granulometría, así como en la afinidad entre el material pétreo y el asfalto. En este caso, es necesario recalcar la necesidad de muestrear y analizar el material con la suficiente frecuencia para detectar cualquier cambio en sus características.
 - 3) El material pétreo se deja mucho tiempo acamellonado antes de iniciar la elaboración de la mezcla y sufre contaminaciones, o bien se pierde parte del material y se altera su granulometría.

Esto con frecuencia no se corrige al elaborar la mezcla, e incluso muchas veces se incorpora el mismo volumen de asfalto que requería el volumen del material original, ocasionando, además de espesores menores que los de proyecto, excesos de asfalto en la mezcla.

- 4) El asfalto con que se cuenta no es el de proyecto, ya sea por no haberse surtido el asfalto solicitado o por haber sufrido alteraciones durante su transporte y/o almacenamiento. Es por ello indispensable que el laboratorio verifique el tipo y calidad de los asfaltos y en caso necesario indique las variaciones en dosificación y/o en procedimientos.
- 5) Es frecuente construir carpetas bajo condiciones climáticas inadecuadas, tales co-

mo lluvia o temperatura ambiente inferior a la conveniente.

- 6) El asfalto no se usa a la temperatura especificada. Es frecuente que, por descompostura o falta de petrolizadora, se continúen trabajos regando asfalto con pipas o nodrizas que no cuentan con equipo de calentamiento ni con bomba para regar a presión.
- 7) No se desfluxa adecuadamente la mezcla antes de extenderla, principalmente cuando se adiciona todo el asfalto en un solo riego.
- 8) No se compacta adecuadamente la mezcla, ya sea por utilizar equipo de menor peso que el especificado, por no dar las pasadas necesarias, o por baja temperatura en la mezcla.

5-05 SUB-BASES Y BASES

5-05.1 GENERALIDADES. Las obras de reconstrucción de caminos que requieren sub-base o base son de dos tipos generales:

- A) Refuerzo de un pavimento existente.
- B) Ampliación del ancho de corona.

En el primer caso, mediante el auxilio del laboratorio, se deberá verificar que ésa es la solución adecuada al problema.

En el segundo caso, se recurrirá asimismo al auxilio del laboratorio para el diseño de espesores, pero éstos deberán ser como mínimo iguales a los del pavimento existente.

5-05.2 MATERIALES PETREOS. Los materiales pétreos usados en sub-bases deberán cumplir íntegramente lo asentado en las Especificaciones, y en especial en cuanto a granulometría, plasticidad, dureza y cementación.

Los materiales para base, además de ser de mejor calidad que los de sub-base, ya que reciben más directamente los impactos de las cargas del tránsito,

deberán tener afinidad con el asfalto del riego de impregnación para evitar que el agua los desaloje.

Cuando un material, tal como se extrae de un banco, no llena las Especificaciones en cuanto a granulometría, es en general posible lograr que las cumpla sometiéndolo a alguno de los siguientes procesos:

Disgregado

Cribado

Trituración parcial y cribado

Trituración total y cribado.

Asimismo, en ocasiones, es necesario utilizar algún material que en sus condiciones originales no cumpla con las Especificaciones, generalmente en lo que se refiere a plasticidad o cementación; en esos casos se recurre a la mezcla de dos o más materiales o a estabilizaciones con asfalto, cal o cemento para obtener las características requeridas.

Se considera responsabilidad conjunta del Jefe de la obra y del Jefe del laboratorio el efectuar un estudio exhaustivo de localización de bancos para lograr que los materiales que se empleen sean los más adecuados, tanto en calidad como en costos de producción y acarreo.

5-05.3 EQUIPO. El equipo más usual para construcciones de sub-bases y bases es el siguiente:

A) *De producción de material pétreo.* Varía con el proceso requerido por el material y podrá consistir en alguna o algunas de las unidades que a continuación se citan:

Equipo de barrenación.

Equipo de trituración. Quebradora primaria y/o secundaria.

Cribas. Rotatoria, vibratoria o fija.

B) *Carga y acarreo.* Camiones de volteo o vagonetas, auxiliadas por cargadores frontales o pala mecánica.

C) *Construcción.* Para el mezclado y tendido de los materiales pétreos se usan motoconformadoras o mezcladoras móviles. Para la adición del agua se usan pipas.

Para las bases estabilizadas con asfaltos, además del equipo antes descrito, se requieren petrolizadoras para la adición del asfalto.

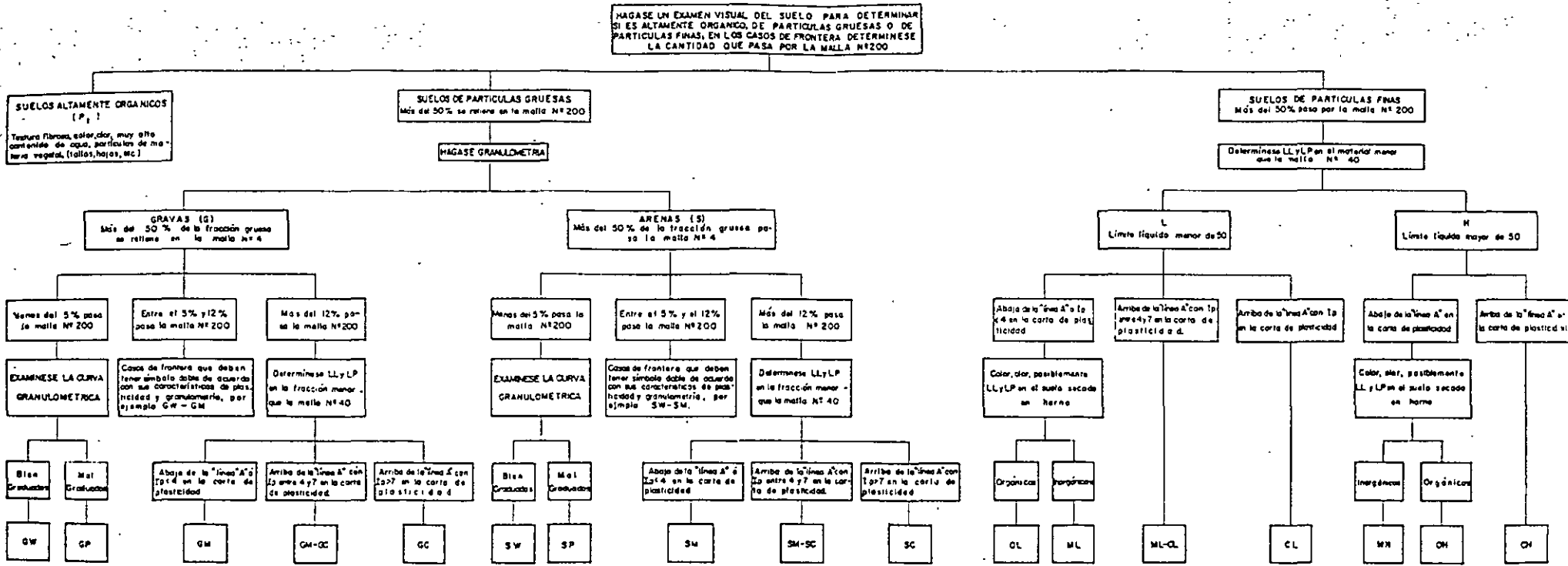
Para las bases estabilizadas con cal o cemento, se puede usar equipo especial para la dosificación, adición y revoltura del agente estabilizador, o bien incorporarlo, debidamente cubicado, sobre el camellón de material pétreo y revolverlo mediante motoconformadoras o mezcladoras móviles.

5-05.4 PROCEDIMIENTO

- A) La construcción de la sub-base o la base se iniciará cuando las terracerías o la sub-base, según sea el caso, estén terminadas dentro de las tolerancias fijadas en las Especificaciones.
- B) La descarga de los materiales que se utilicen en la construcción de sub-bases o bases deberá hacerse sobre la sub-rasante o la sub-base, según sea el caso, controlando que los volúmenes depositados por estación de veinte (20) metros, estén en función de los de proyecto.
- C) El espesor de proyecto para cada capa de sub-base o base, será determinado por el laboratorio, pero no deberá ser inferior a doce (12) centímetros compactos.
- D) El material pétreo suelto se colocará en una orilla del camino, en las curvas, en la parte exterior, y deberá acamellonarse a la brevedad posible.
- E) Deberán colocarse las señales necesarias de acuerdo con lo indicado en el "Manual de Dispositivos para el Control del Tránsito", a efecto de anunciar debidamente la existencia de material sobre el camino. Asimismo, deberán colocarse sobre el camellón piedras encajadas a distancias de diez (10) metros.
- F) Con objeto de evitar pérdidas de material y disminuir en lo posible las molestias al tránsito, nunca deberá existir un camellón con-

- tinuo de más de cinco (5) kilómetros de material pétreo, ni deberá transcurrir un lapso superior a quince (15) días entre el acameillonado y el tendido.
- G) Cuando se empleen dos (2) o más materiales, siempre deberán colocarse los de menor volumen sobre los de mayor volumen, ya que es inevitable que haya una pequeña pérdida del material que se encuentra abajo y es preferible que la misma corresponda al material de mayor volumen. Estos materiales deberán revolverse entre sí en seco, y acameillonarse nuevamente.
 - H) Si se van a construir varias capas de sub-base o base, no deberá acameillonarse el volumen total, sino únicamente el parcial de cada capa y acarrear el siguiente cuando esté tendida y compactada la capa inferior.
 - I) Cuando se empleen motoconformadoras para el mezclado, se extenderá el material y se procederá a incorporarle agua por medio de riegos y mezclados sucesivos, hasta alcanzar la humedad que haya sido fijada y obtener homogeneidad en la misma, evitando la clasificación del material. A continuación se extenderá en capas sucesivas de materiales sueltos, cuyo espesor no deberá ser mayor de quince (15) centímetros.
 - J) Cuando se emplee otro equipo para el mezclado, se deberán estudiar las características del mismo, para que se obtenga una mezcla homogénea con el grado de humedad óptimo.
 - K) Cada capa se compactará hasta alcanzar el grado mínimo especificado, sobreponiéndolas hasta obtener el espesor y sección fijados en el proyecto.
 - L) En las tangentes, la compactación se hará desde las orillas hacia el centro y en las curvas, desde la parte interior de la curva hacia la parte exterior.
 - M) Se tendrá cuidado de evitar que se produzca el defecto llamado "encarpetamiento", que se

ANEXO VII-b
PROCEDIMIENTO AUXILIAR PARA IDENTIFICACION DE SUELOS
EN EL LABORATORIO
S.U.C.S.



NOTA - Los tamaños de las mallas son de la U.S. Estándar

ANEXO VII - A
SISTEMA UNIFICADO DE CLASIFICACION DE SUELOS
 INCLUYENDO IDENTIFICACION Y DESCRIPCION

PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN EL CAMPO (Excluyendo las partículas mayores de 7.6 cm (3") y basando las fracciones en pesos estimados)		SÍMBOLOS DEL GRUPO (a)	NOMBRES TÍPICOS	INFORMACION NECESARIA PARA LA DESCRIPCION DE LOS SUELOS	CRITERIO DE CLASIFICACION EN EL LABORATORIO
SUELOS DE PARTÍCULAS GROSAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (10). Más de la mitad del material es grueso (más de 0.075 mm) y son aproximadamente los mismos tamaños (ver tabla N° 200 (10)). (Para clasificación véase el método N° 4)	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa es arena (más de 0.075 mm) y son aproximadamente los mismos tamaños (ver tabla N° 200 (10)). (Para clasificación véase el método N° 4)	GW	Gravas bien graduadas, mezclas de grava y arena, con poca o nada de finas	Para los suelos inalterados agregarse información sobre estructura, consistencia, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje. EJEMPLO Arena limosa con grava como un 20% de grava de partículas gruesas, angulosas y de 15 cm de tamaño máximo; arena gruesa clara de partículas redondeadas o subangulosas, resistencia en estado seco, compacta y húmeda en el lugar, arena aluvial (15M)	Coeficiente de uniformidad (U_c) = $\frac{C_{60}}{C_{10}}$, Coeficiente de Curvatura (C_c) = $\frac{C_{40} - C_{20} - C_{10}}{C_{60} - C_{40} - C_{20}}$, entre 1 y 3 No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW Límites de plasticidad abajo de la "línea A" e I_p menor que 4 Límites de plasticidad arriba de la "línea A" con I_p mayor que 7 $C_u > \frac{D_{60}}{D_{10}}$, mayor de 6, $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$, entre 1 y 3 No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW Límites de plasticidad abajo de la "línea A" e I_p menor que 4 Límites de plasticidad arriba de la "línea A" con I_p mayor que 7
		GP	Gravas mal graduadas, mezclas de grava y arena, con poca o nada de finas		
		GM	Gravas limosas, mezclas de grava, arena y limo		
		GC	Gravas arcillosas, mezclas de grava, arena y arcilla		
ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa es arena (más de 0.075 mm) y son aproximadamente los mismos tamaños (ver tabla N° 200 (10)). (Para clasificación véase el método N° 4)	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa es arena (más de 0.075 mm) y son aproximadamente los mismos tamaños (ver tabla N° 200 (10)). (Para clasificación véase el método N° 4)	SW	Arenas bien graduadas, arenas con grava, con poca o nada de finas	Para los suelos inalterados agregarse información sobre estructura, consistencia, cementación, condiciones de humedad y características de drenaje. EJEMPLO Arena limosa con grava como un 20% de grava de partículas gruesas, angulosas y de 15 cm de tamaño máximo; arena gruesa clara de partículas redondeadas o subangulosas, resistencia en estado seco, compacta y húmeda en el lugar, arena aluvial (15M)	Coeficiente de uniformidad (U_c) = $\frac{C_{60}}{C_{10}}$, Coeficiente de Curvatura (C_c) = $\frac{C_{40} - C_{20} - C_{10}}{C_{60} - C_{40} - C_{20}}$, entre 1 y 3 No satisfacen todos los requisitos de graduación para GW Límites de plasticidad abajo de la "línea A" e I_p menor que 4 Límites de plasticidad arriba de la "línea A" con I_p mayor que 7 $C_u > \frac{D_{60}}{D_{10}}$, mayor de 6, $C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$, entre 1 y 3 No satisfacen todos los requisitos de graduación para SW Límites de plasticidad abajo de la "línea A" e I_p menor que 4 Límites de plasticidad arriba de la "línea A" con I_p mayor que 7
		SP	Arenas mal graduadas, arenas con grava, con poca o nada de finas		
		SM	Arenas limosas, mezclas de arena y limo		
		SC	Arenas arcillosas, mezclas de arena y arcilla		
PROCEDIMIENTO DE IDENTIFICACION EN LA FRACCION QUE PASA LA MALLA N° 200		RESISTENCIA EN ESTADO SECO (Consistencia al remojarse)	DILATANCIA (Reacción al estado)	TENACIDAD (Consistencia cerca del límite plástico)	EQUIVALENCIA DE SIMBOLOS G-Grava M-Limo O-Suelos orgánicos W-Bien graduado L-Bast. compresibilidad S-Arena C-Arcilla R-Turba P-Mal graduado N-Alta compresibilidad
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (10). Más de la mitad del material es fino (menor de 0.075 mm) y son aproximadamente los mismos tamaños (ver tabla N° 200 (10)). (Para clasificación véase el método N° 4)	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa es arena (más de 0.075 mm) y son aproximadamente los mismos tamaños (ver tabla N° 200 (10)). (Para clasificación véase el método N° 4)	ML	Limas margánicas, polvo de roca, limas arenosas o arcillosas ligeramente plásticas	Para los suelos inalterados agregarse información sobre estructura, consistencia, cementación, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limo arcilloso, color, heterogeneidad plástica, porcentaje reducido de arena fina, numerosas agujas verticales de raíces, firme y seca en el lugar, (15M)	COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO
		CL	Arcillas margánicas de baja a media plasticidad, arcillas con grava arcillosas arenosas arcillas limosas arcillas arenosas		
		OL	Limas margánicas y arenas limosas orgánicas de baja plasticidad		
SUELOS DE PARTÍCULAS FINAS Más de la mitad del material pasa la malla N° 200 (10). Más de la mitad del material es fino (menor de 0.075 mm) y son aproximadamente los mismos tamaños (ver tabla N° 200 (10)). (Para clasificación véase el método N° 4)	ARENAS Más de la mitad de la fracción gruesa es arena (más de 0.075 mm) y son aproximadamente los mismos tamaños (ver tabla N° 200 (10)). (Para clasificación véase el método N° 4)	MH	Limas margánicas, limas medeceras o distameceras, limas plásticas	Para los suelos inalterados agregarse información sobre estructura, consistencia, cementación, condiciones de humedad y drenaje. EJEMPLO Limo arcilloso, color, heterogeneidad plástica, porcentaje reducido de arena fina, numerosas agujas verticales de raíces, firme y seca en el lugar, (15M)	COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO
		CH	Arcillas margánicas de alta plasticidad, arcillas francas		
		OH	Arcillas orgánicas de media a alta plasticidad, limas orgánicas de media plasticidad		
SUELOS ALTAMENTE ORGANICOS		Fácilmente identificables por su color, olor, tenacidad esponjosa y frecuentemente por su textura fibrosa	P ₁	Turba y otros suelos altamente orgánicos	COMPARANDO SUELOS A IGUAL LIMITE LIQUIDO LA TENACIDAD Y LA RESISTENCIA EN ESTADO SECO AUMENTAN CON EL INDICE PLASTICO

PROCEDIMIENTOS DE IDENTIFICACION PARA SUELOS FINOS O FRACCIONES FINAS DE SUELO EN EL CAMPO

Este procedimiento se realiza con la fracción que pasa la malla No. 40 (menos mediana de 0.5 mm).

Para fines de clasificación en el campo si no se usa la malla simplemente se quitan a mano las partículas gruesas que se adhieren a las manos.

DILATANCIA
(Reacción al estado)

Después de quitar las partículas mayores que la malla No. 40, prepare una pastilla de suelo húmeda aproximadamente igual a 18 cm³, si es necesario añada suficiente agua para dar al suelo suave pero no pegajoso.

Coloque la pastilla en la palma de la mano y apriete lentamente, golpeando o golpeando contra la otra mano varias veces. Una reacción positiva consiste en la liberación de agua en la superficie de la pastilla, la cual también adquiere una consistencia de fregado y se vuelve firme. Cuando la pastilla se aprieta entre las dedos el agua y el aire desaparecen de la pastilla o, la pastilla se vuelve firme y finalmente se aprieta o se desmorona. La reacción de la expulsión del agua durante el apriete y de su desaparición durante el apriete sirve para identificar el carácter de las finas en un suelo.

Las arenas limosas muy finas dan la reacción más rápida y dilatante, mientras que las arcillas plásticas no tienen reacción. Las limas margánicas, tales como el tipo de polvo de maiz, dan una reacción rápida moderada.

RESISTENCIA EN ESTADO SECO
(Consistencia al remojarse)

Después de eliminar las partículas mayores que la malla No. 40, moldee una pastilla de suelo húmedo algunas veces consistente de media cucharada de agua si es necesario. De una vez la pastilla se aprieta en un hueso, al tal o al otro produce un resaca o resaca débil y desmoronándose entre los dedos. Este resaca es una medida del carácter y cantidad de la fracción coloidal que contiene el suelo. La resaca en un estado seco muestra con la plasticidad.

Una alta resaca en un caso es característica de las arcillas del grupo CH. Un tipo margánico tipo polvo solamente muy ligero resaca. Las arenas finas limosas y las limas francas aproximadamente la misma ligera resaca, pero pueden distinguirse por el hecho de producir el tipo más débil. La arena fina es clara granular, muestra que al limitarse de la reacción suave de la palma.

TENACIDAD
(Consistencia cerca del límite plástico)

Después de eliminar las partículas mayores que la malla No. 40, moldee un espécimen de aproximadamente 10 cm³ base al poner la consistencia de media. Si el suelo está muy seco debe agregarse agua, para el uso prepare datos consistentes al especimen formando una masa de pasta que cubra una superficie lisa a una profundidad de 2 cm. De a demás aproximadamente 10, se amasa y se vuelve a hacer varias veces. Durante estas operaciones el contenido de humedad se reduce gradualmente y el espécimen llega a ponerse firme, puede finalmente se plastificar y se desmorona cuando se alcanza el límite plástico. Después de que el suelo se ha desmoronado, los pedruzcos se ven pegados formando el espécimen ligeramente entre las manos hasta que la mano se desmorona nuevamente.

La plasticidad de la fracción coloidal arcillosa de un suelo se identifica por la mayor o menor cantidad del resaca al alcanzar el límite plástico y por la rigidez de la muestra al remojarse firmemente entre las manos. La cantidad del resaca en el límite plástico y el grado de rigidez de la muestra al alcanzar el límite plástico, indican la presencia de arcillas margánicas de baja plasticidad o de arcillas orgánicas como arcilla del tipo coloidal y arcillas orgánicas que como parte de la "línea A". Las arcillas altamente orgánicas se suenan muy débiles y especímenes de resaca en el límite plástico.

(a) Límites de frontera - Los suelos que están en las características de dos grupos se designan con la combinación de los dos símbolos. Por ejemplo GW-GC, mezcla de grava y arena bien graduada con contenido arcilloso.
 (b) Todos los tamaños de las mallas en este carta son las U.S. Standard