

## Estudio de la Incidencia de las Propiedades Indices en la Calidad de las Mezclas Asfálticas

El comportamiento de las mezclas asfálticas depende fundamentalmente de las características que presenten sus principales componentes: los agregados pétreos.

Dentro de estas características se destacan sus propiedades índices: granulometría, índices de forma y textura superficial, reflejados estos dos últimos en el índice de trituración, aunque no de una manera totalmente aceptable y contundente.

Otras propiedades índices inciden igualmente en la calidad de las mezclas asfálticas pero no son analizadas en el presente escrito.

Se presentan algunas consideraciones referidas a la selección adecuada de la granulometría y a la incorporación del índice de trituración como indicador básico en las evaluaciones preliminares de las fuentes materiales.

Finalmente se presentan algunos resultados de un trabajo realizado sobre el mismo tema, a manera de proyecto de grado en la Universidad Nacional de Colombia.

JORGE TAMAYO TAMAYO

Ing. Civil

Profesor Asociado de la Facultad de Ingeniería,  
Universidad Nacional

Los agregados de las mezclas asfálticas forman un esqueleto mineral, discontinuo, sólido, resistente y suficientemente indeformable. La respuesta del esqueleto mineral frente a las sollicitaciones aplicadas depende de manera fundamental del rozamiento interno y la resistencia intrínseca de las partículas.

Para lograr lo anterior es imprescindible trabajar con agregados de alguna resistencia mecánica, con granulometrías adecuadas y con partículas de formas aceptables y texturas superficiales convenientes; otras características igualmente importantes están relacionadas con la naturaleza mineralógica, la actividad entre ligante y agregado, la compacidad de las partículas y la resistencia frente a la acción continua del medio circundante. Todo lo anterior enmarcado dentro de la permanencia de todas las características y propiedades en relación con el tiempo.

Una vez realizados los estudios previos y efectuada la selección de la fuente de suministros es necesario establecer la **composición granulométrica** de los agregados y establecer la incidencia de la **forma y textura** de los mismos; estas características son dos indicadores del nivel de calidad por lograr o que exhiben las mezclas asfálticas.

### COMPOSICION GRANULOMETRICA

Es preciso referir su estudio a los siguientes aspectos: distribución granulométrica o sea la forma de la curva, regularidad de la granulometría, permanencia de la misma respecto al tiempo, tamaño máximo y porcentaje de finos.

#### Forma de la curva

La forma de la curva condiciona la aptitud de los materiales frente a la compactación de la mezcla y a la regularidad de las propiedades fundamentales de las mezclas asfálticas asociadas con la granulometría de los agregados.

En el intento de definir las curvas granulométricas adecuadas las especificaciones presentan franjas granulométricas surgidas de experiencias propias o ajenas o de análisis teóricos. En la Figura 1a. se muestra una franja granulométrica típica. Se consideran las franjas granulométricas como zonas de seguridad dentro de las cuales las granulometrías pueden considerarse satisfactorias, lo cual no debe ser tomado rigurosamente a menos que se certifi-

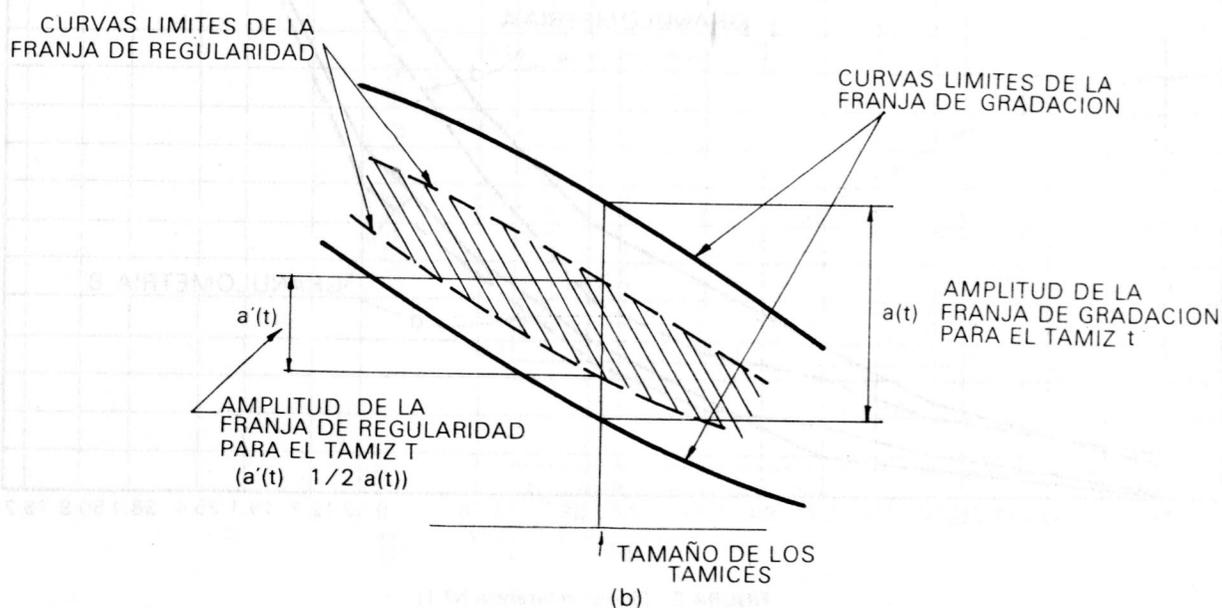
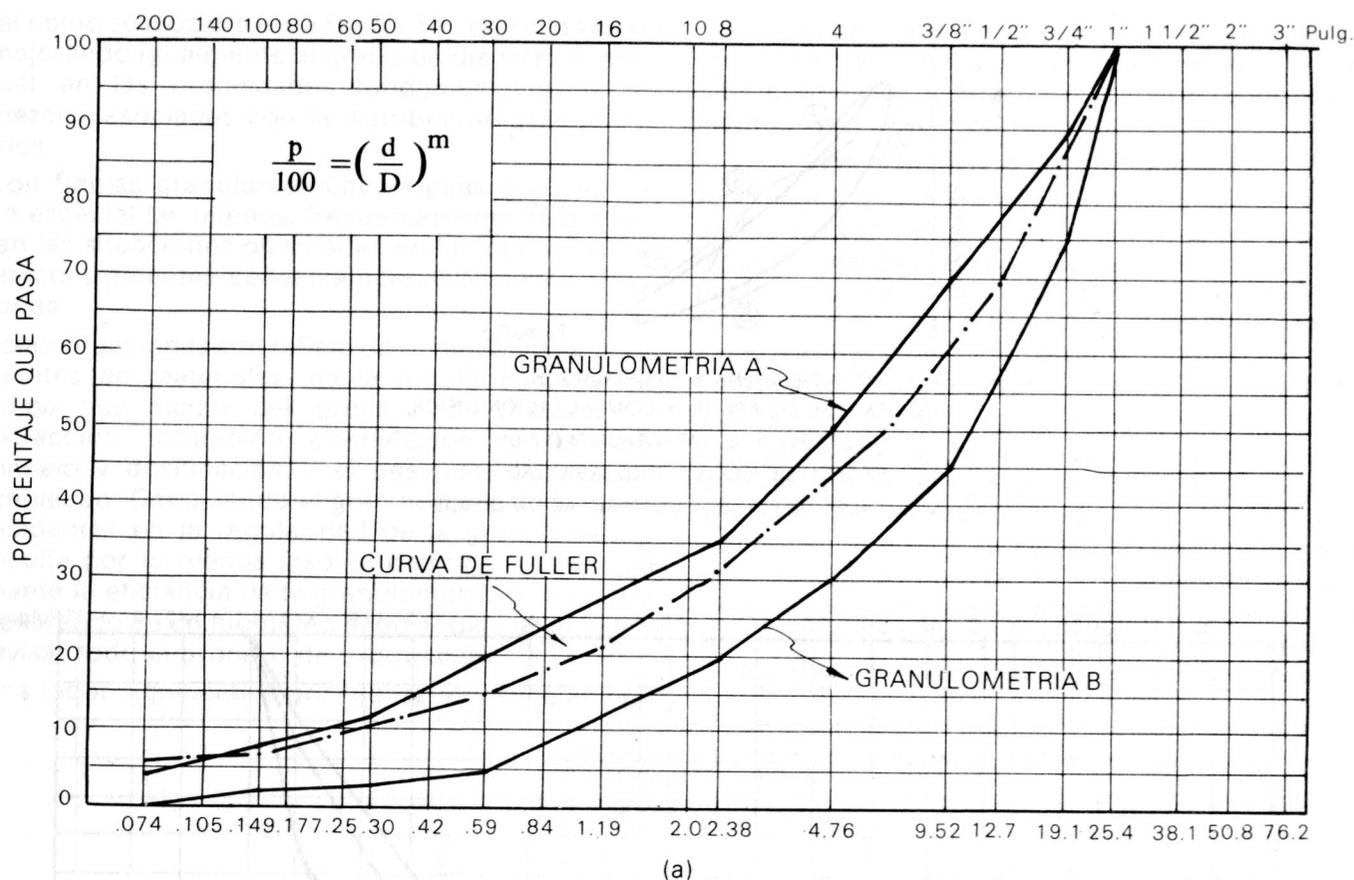


FIGURA 1.

que con el respaldo de experiencias de campo y laboratorio.

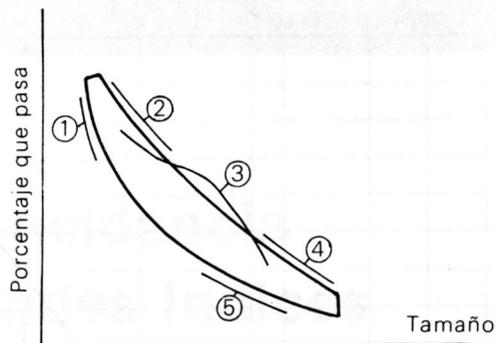
Casi todas las franjas granulométricas surgidas de análisis teóricos parten de la siguiente expresión:

$$\frac{P}{100} = (d/D)^m$$

**D:** tamaño máximo de las partículas, **p** proporción en peso de las partículas inferiores a **d**. Fijado el tamaño máximo la distribución granulométrica queda en función de **m**.

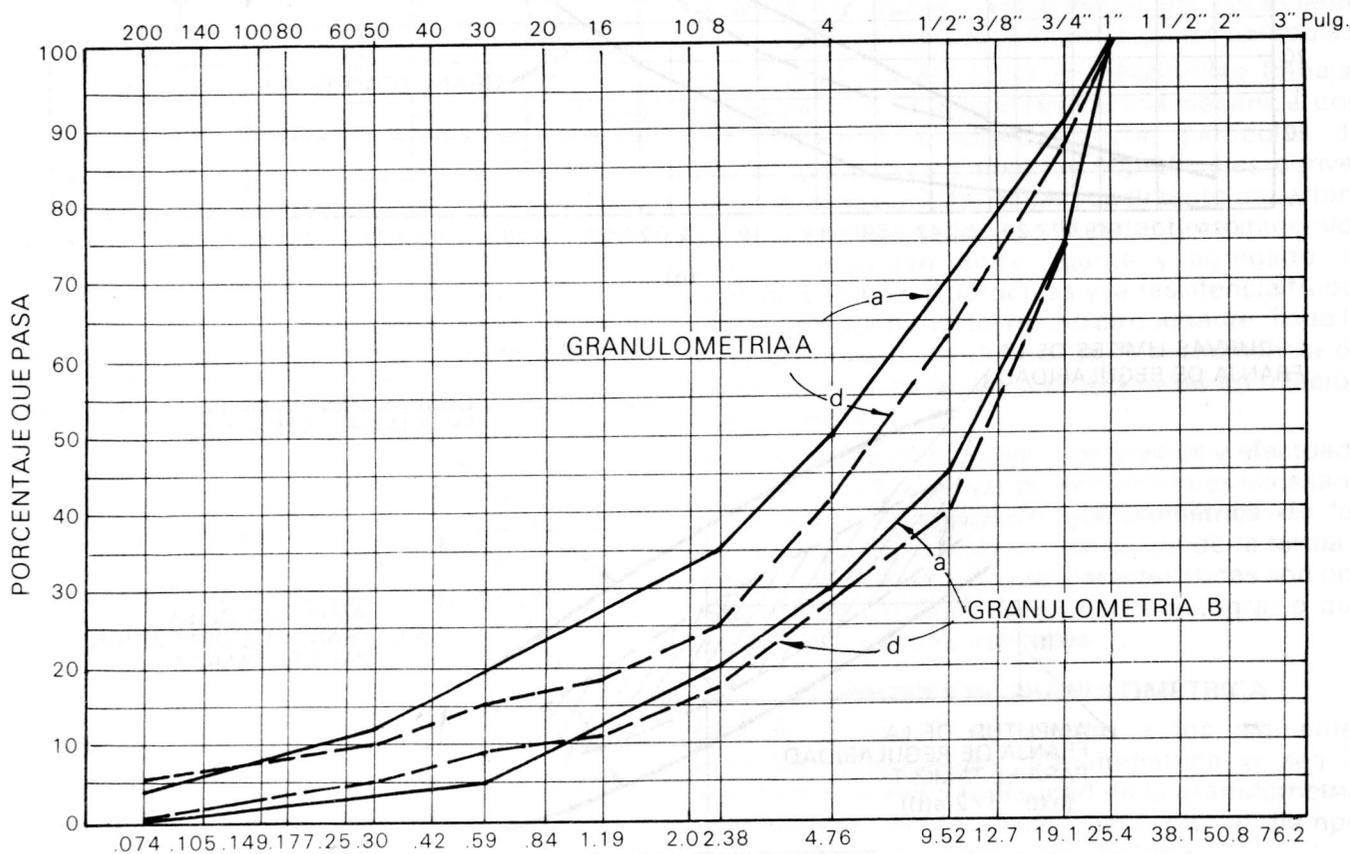
Los valores de **m** dependen de los objetivos que se tengan, así:

- Fluctúa entre 0.4 y 0.5 si se quiere alcanzar la mayor compacidad, presentándose una caída brusca de la misma por encima de 0.6. En la Figura 1a. se presenta una curva teórica empleando la expresión de Fuller, o sea con  $m = 0.5$ .
- Si se quiere una mayor capacidad portante frente a las acciones del tráfico, expresadas en términos de deflexiones bajo cargas repetidas y



- ① FALTA DE ARENA = SEGREGACION
- ② EXCESO DE ARENA = COMPACTACION DIFICIL
- ③ INESTABLE = COMPACTACION DIFICIL
- ④ EXCESO DE FINOS = INESTABILIDAD
- ⑤ FALTA DE FINOS = COMPACTACION DIFICIL

(a)



(b)

FIGURA 2. (Según referencia N° 1)

atricción, los valores de  $m$  están entre 0.7 y 1.2.

- La adopción de  $m$  debe surgir de análisis específicos.

No debe adoptarse ninguna de las curvas disponibles, teóricas o empíricas, con carácter general, en especial cuando se presentan agregados con características no usuales; adoptarse una franja granulométrica con carácter general resulta nocivo, desde el punto de vista técnico y económico, primero porque el que una curva esté dentro de una franja no es condición necesaria ni suficiente para cumplir los requerimientos del proyecto, segundo porque pue-

de dar lugar a rechazar materiales, competentes bajo otras consideraciones.

Las franjas granulométricas son meros instrumentos de trabajo para una primera aproximación a la solución, pero no pueden tener carácter contractual ni restringir los estudios que se hagan para establecer fórmulas adecuadas de trabajo con los materiales disponibles.

**Regularidad de la granulometría**

Con miras a garantizar una mayor confiabilidad en la composición granulométrica de los agregados, resulta conveniente fijar una "franja de regularidad",

tal como se muestra en la Figura 1 b., con ello se está mejorando igualmente el grado de dispersión habitual en las propiedades fundamentales de las mezclas asociadas con la distribución granulométrica.

Con franjas granulométricas amplias o estrechas, en especial las últimas, frecuentemente se presentan las situaciones plasmadas en la Figura 2a. con las consiguientes consecuencias allí mismo analizadas.

Estas situaciones son reflejo de la variabilidad de las fuentes de materiales, de la regularidad que se tenga por medio del proceso de producción: extracción, trituración, clasificación, almacenaje, manejo y dosificación y el desajuste del equipo empleado. Conociendo el gran número de factores incidentes en la regularidad de la granulometría, resulta por lo menos insólito defender obstinadamente la eficiencia de la granulometría que se está generando en un momento dado, lógico es ajustar y revisar todo el proceso de producción.

Una labor significativa por realizar consiste en fijar

los márgenes de fluctuación y las causas que los provocan para llegar a establecer valores promedios confiables, grado de dispersión, control por efectuar y acciones correctivas.

### Permanencia de la granulometría

Adicional a la densificación inducida por la acción de las cargas vehiculares se produce un proceso dinámico de degradación física, irreversible y perjudicial, que se caracteriza por el incremento de las fracciones más finas. En la Figura 2b. se muestran las curvas granulométricas antes y después de la compactación en la prueba Marshall, aplicando 50 golpes por cara sobre un material competente.

Para valorar la permanencia de la granulometría en relación con el tiempo se emplean las pruebas de desgaste en la máquina de los ángeles y de friabilidad en donde se evalúa la resistencia mecánica de los agregados y la incidencia de otros parámetros: forma de las partículas y el proceso de producción. En la prueba de friabilidad se establece la degradación física causada durante la compactación.

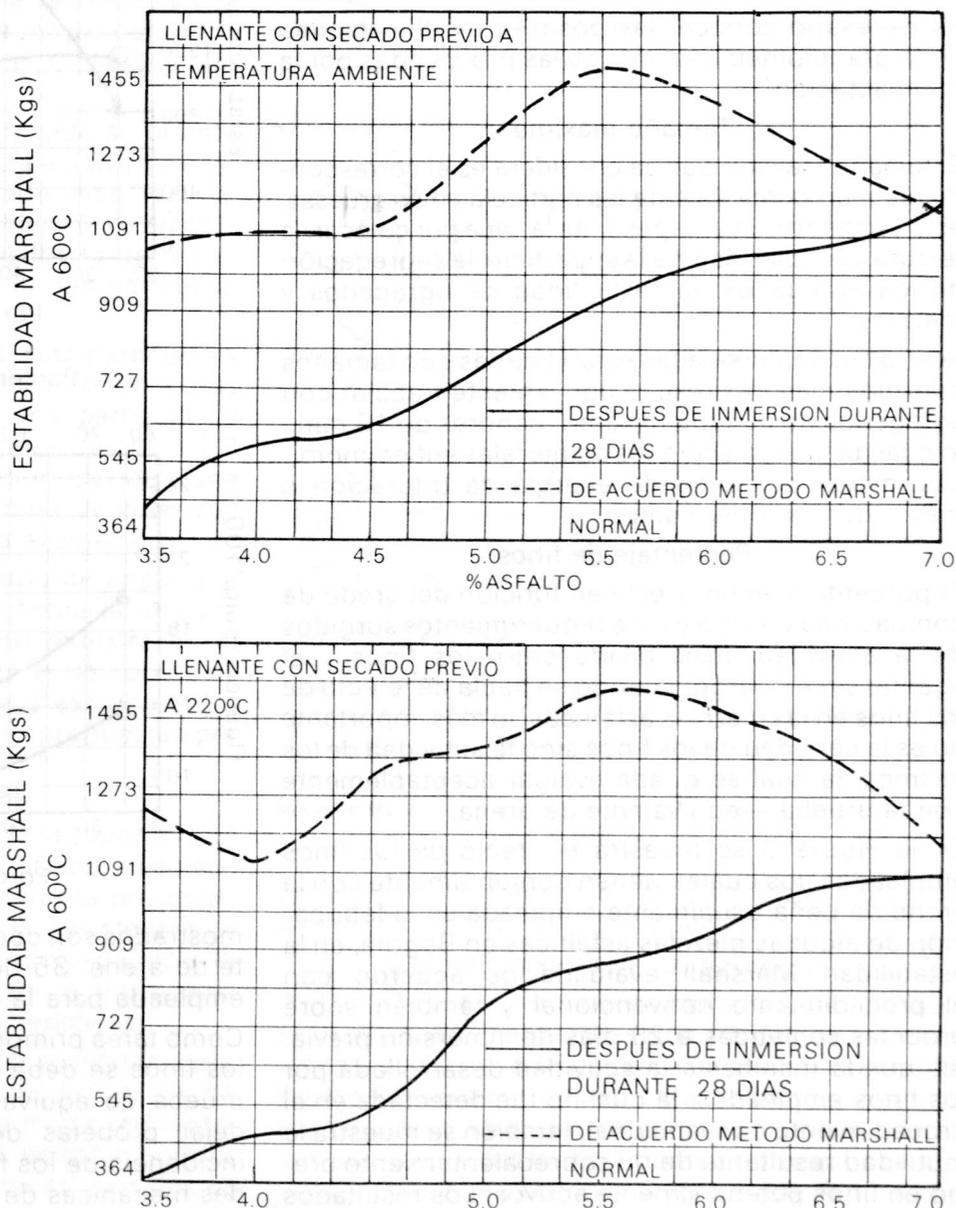


FIGURA 3. (Según referencia N° 3)

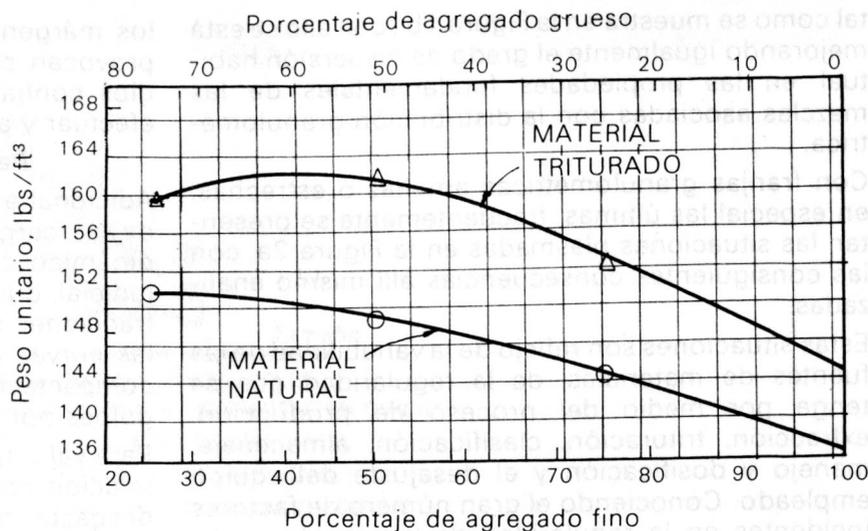


FIGURA 4. (Según Lefevre).

Otro factor que actúa continuamente contra la permanencia de la granulometría es la degradación química, difícil de caracterizar y dependiente de la naturaleza mineralógica de los agregados y del grado de cubrimiento que se alcance con el ligante. Es necesario conocer las posibles modificaciones en la granulometría, al menos las provocadas por la compactación.

**Tamaño máximo**

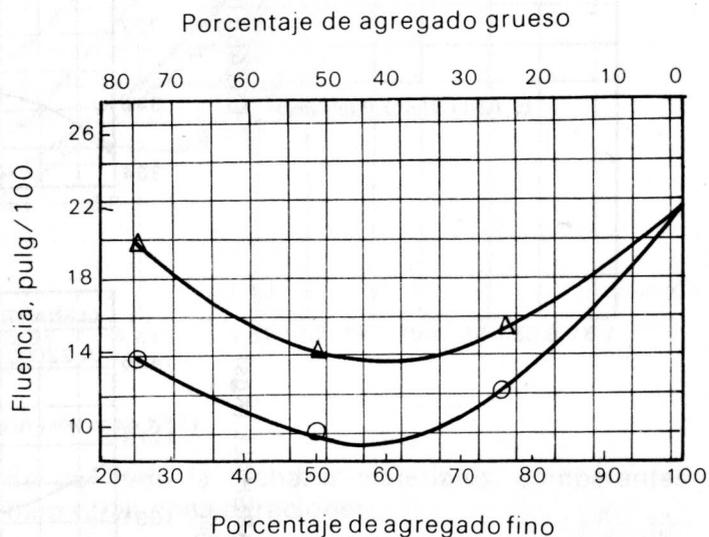
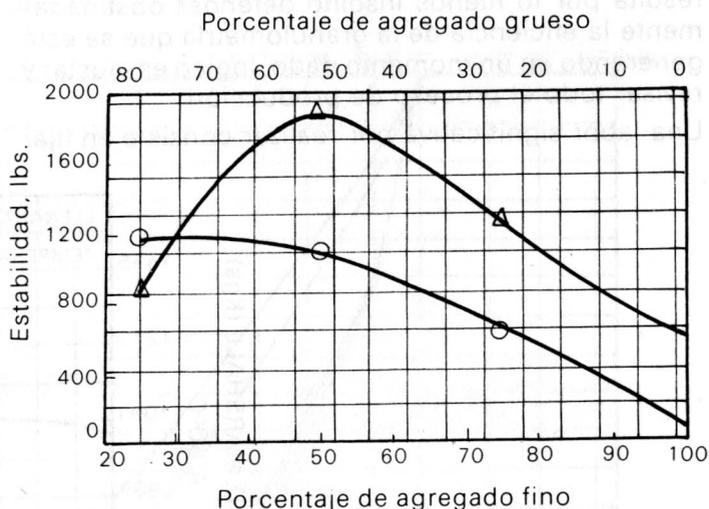
El tamaño máximo que se considera es el correspondiente a un porcentaje de las partículas más gruesas, está asociado con el espesor de la capa por colocar, la textura y regularidad de la superficie, la segregación de los agregados, la factibilidad de agregados y mezclas.

Pese a conseguirse altas estabilidades con tamaños máximos mayores resulta conveniente trabajar con agregados de tamaño máximo menores de 19 mm., lo cual da lugar a acciones colaterales antieconómicas: mayor consumo de energía de trituración o mayor descarte de material.

**Porcentaje de finos**

El porcentaje de finos está en función del grado de compacidad exigido y a los requerimientos surgidos de la actividad desarrollada entre los finos y el ligante; sin embargo, cuando se habla del efecto de los finos en las mezclas asfálticas, lo más importante no es la cantidad de los finos sino la actividad de los mismos, la cual se puede evaluar aceptablemente con la prueba —equivalente de arena.

En la Figura 3 se muestra el efecto de los finos empleados, los cuales vienen conjuntamente con la arena de peña usualmente empleada en la fabricación de algunas mezclas asfálticas en Bogotá, en la estabilidad Marshall evaluada de acuerdo con el procedimiento convencional y también sobre probetas sometidas a 28 días de inmersión previa. Allí queda manifiesta la actividad desarrollada por los finos empleados, la cual no fue detectada en el procedimiento convencional, también se muestra la inutilidad resultante de un sobrecalentamiento previo en finos potencialmente activos. Los resultados



mostrados son consecuentes con el bajo equivalente de arena: 35 de una arena de peña de Bogotá, empleada para la investigación.

Como tarea primordial para caracterizar el efecto de los finos se debe ejecutar en forma sistemática la prueba de equivalente de arena y eventualmente dejar probetas de inmersión para establecer la incidencia de los finos empleados en las propiedades mecánicas de las mezclas asfálticas.

**Dosificación de los agregados**

Por ser un tema de sobra conocido y tratado, solo resta mencionar la bondad de evaluar las propiedades fundamentales de las mezclas asfálticas para varias composiciones aun por fuera de lo contemplado en las especificaciones o pliegos de cargo, de esta manera se alcanza una completa caracterización tal como se muestra en la Figura N° 4.

**INDICES DE FORMA Y TEXTURA SUPERFICIAL**

Los índices de forma y textura superficial de los agregados, como resultado de procesos naturales o artificiales, inciden en forma significativa sobre propiedades de orden estructural, de comportamiento, de funcionamiento y sobre la expeditividad constructiva.

**Indices de forma**

El agregado natural o el producto de trituración presentan una amplia variedad de formas: cúbicas, poliédricas, alargadas, planares y todas las combinaciones posibles entre los estados límites descritos.

Se acepta plenamente la forma poliédrica como la adecuada para lograr optimizar la resistencia y la deformabilidad; esto se debe a la mayor compacidad alcanzada y por consiguiente al mayor rozamiento interno.

La evaluación de la forma del agregado se orienta preferencialmente a determinar la relación existente entre las tres dimensiones, siendo más fácil la detección de las formas nocivas: planares y alargadas; actualmente se caracteriza la forma del agregado con base en la presencia de las partículas planas y alargadas.

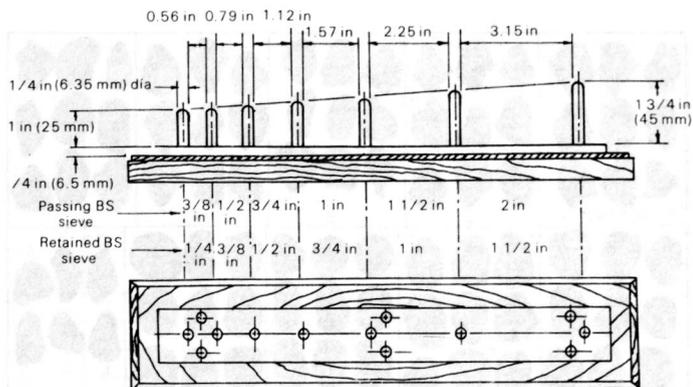
De acuerdo con la norma inglesa, una partícula es plana si su menor dimensión es inferior a tres quintos la dimensión media, y una partícula es alargada si su mayor dimensión es superior a 1,8 veces la dimensión media; lo anterior referido a una fracción en particular. En la Figura 5a. se muestran las plantillas empleadas para esta evaluación.

Otra clasificación se basa en el tipo de arista que presenta la partícula, la cual va desde la angular hasta la redondeada, tal como se muestra en la Figura 5b. Para calificar las formas de las partículas desde el punto de vista arista se presentan en la Figura 6, las cartas de clasificación propuestas por Krumbein en 1941.

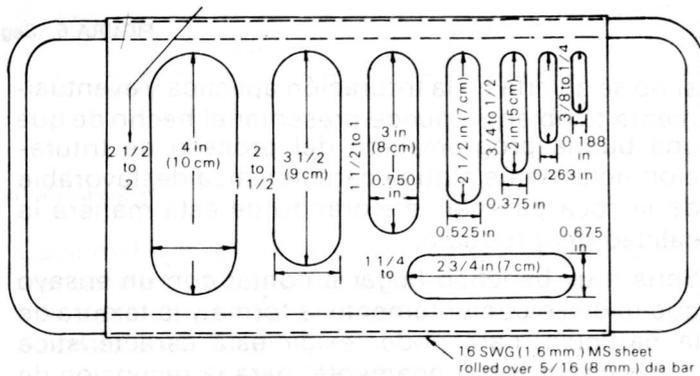
**Textura superficial**

Se refiere al aspecto geométrico de la superficie de la partícula; puede ser: lisa, rugosa, áspera, alveolar o desigual. Su incidencia se ve manifiesta principalmente en la estabilidad y en la resistencia al deslizamiento; igualmente está asociada con la adherencia agregado-ligante y con la trabajabilidad, estas como principales características.

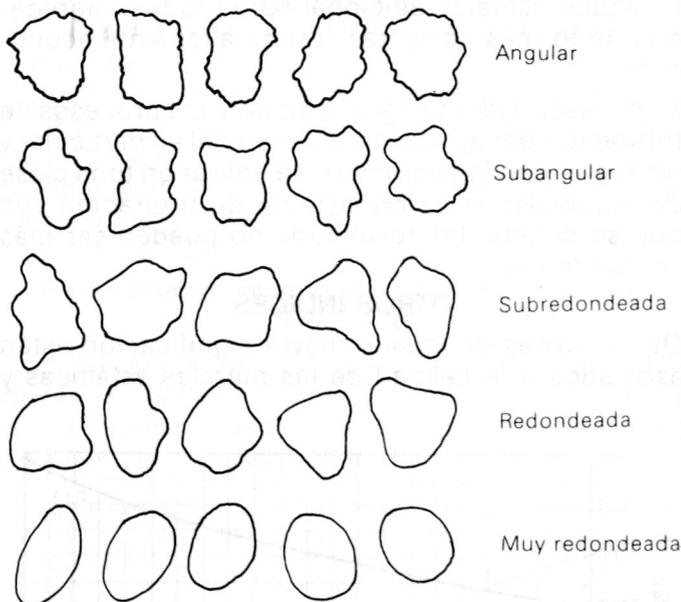
Su evaluación se hace en términos cualitativos por la dificultad que representa su medición. Se ha intentado formular métodos para medir indirectamente la textura de los agregados, estableciéndose la velocidad con que fluyen a través de orificios



(a) Índice de alargamiento



(a) Índice de aplanamiento



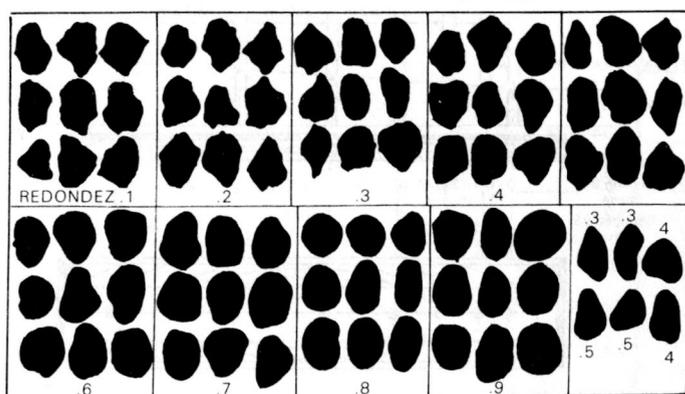
(b) según Müller

FIGURA 5.

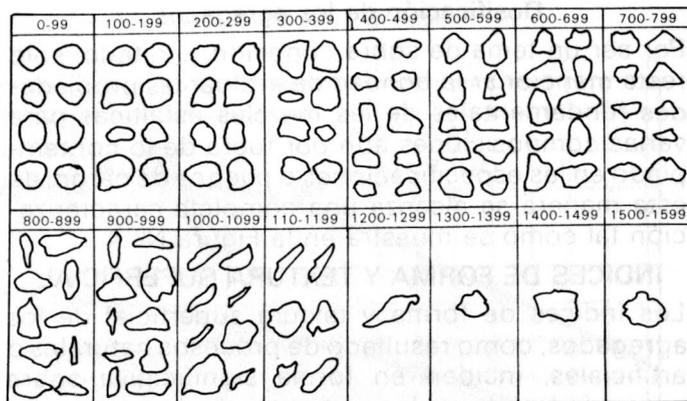
patronados; lo anterior se aplica para el ajuste de dosificadores, tiempo de cribado, etc.

**Forma y textura de los agregados**

Por estar estrechamente relacionadas, se analizan conjuntamente los factores que inciden en la forma y textura de los agregados, las cuales dependen fundamentalmente de las características intrínsecas de la roca parental y del proceso de trituración al que son sometidos los fragmentos de roca; una roca excelente puede dar lugar a agregados deficientes



a) IMAGEN VISUAL PARA DETERMINAR LA REDONDEZ



b) IMAGEN VISUAL PARA DETERMINAR LA ANGULARIDAD

FIGURA 6. (Según Krumbein, 1941)

si no se acierta en la trituración aplicada y eventualmente también se puede presentar el hecho de que una buena programación del proceso de trituración no acentúe alguna característica desfavorable de la roca parental, mejorando de esta manera la calidad del producto.

Sería muy benéfico llegar a contar con un ensayo que midiese conjuntamente la forma y la textura de la partícula, para poder exigir esta característica como condición fundamental para la recepción de los agregados y no dejarla a la apreciación subjetiva; otra consideración que se tiene en cuenta es que cualquier esfuerzo adicional para producir agregados de formas correctas resulta altamente económico.

Es necesario identificar claramente los procesos de trituración por aplicar a cada material en particular y no seguir con la costumbre de utilizar en toda clase de materiales el único sistema de trituración con que se cuenta; los resultados no pueden ser más contundentes.

**OTROS INDICES**

Otros índices de igual o mayor significación están asociados a la calidad de las mezclas asfálticas y

debe ser evaluada y tenida en cuenta su incidencia. Entre ellos se destacan el índice de pulimento y la porosidad.

Tanto estos índices como la resistencia mecánica, la durabilidad y la afinidad merecen un tratamiento amplio y por tanto no se alcanzan a considerar en el presente trabajo. Actualmente son temas de estudio en el Laboratorio de Ensayo de Materiales de la Universidad Nacional de Colombia.

**ESTUDIO DE LA INCIDENCIA DE LA DISTRIBUCION LOS AGREGADOS EN LOS PARAMETROS DE GRANULOMETRICA Y LA FORMA-TEXTURA DE CALIDAD**

**Índice de trituración**

Para reflejar en simultánea la forma y textura de las partículas se escogió un solo indicador, el **índice de trituración (I.T.)**, definido así: IT = 100% para triturado puro o sea partículas de formas angulares y textura rugosa, e IT = 0% para partículas de formas redondeadas y textura lisa.

**Material empleado**

El material base de la investigación es extraído de los aluviones del río Tunjuelito, al suroriente de

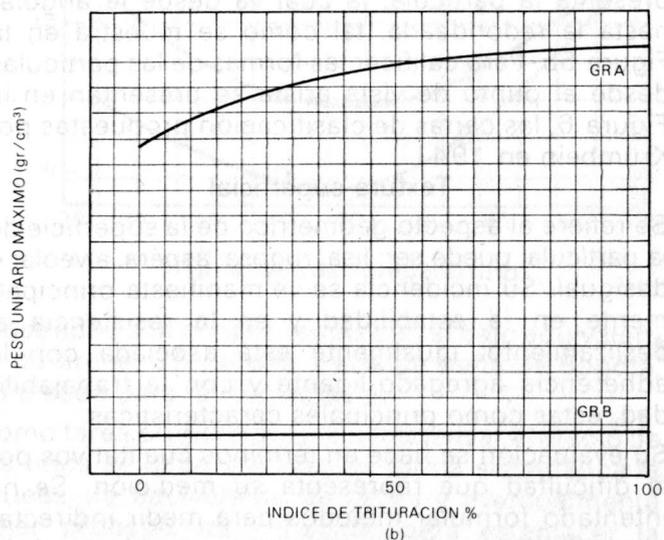
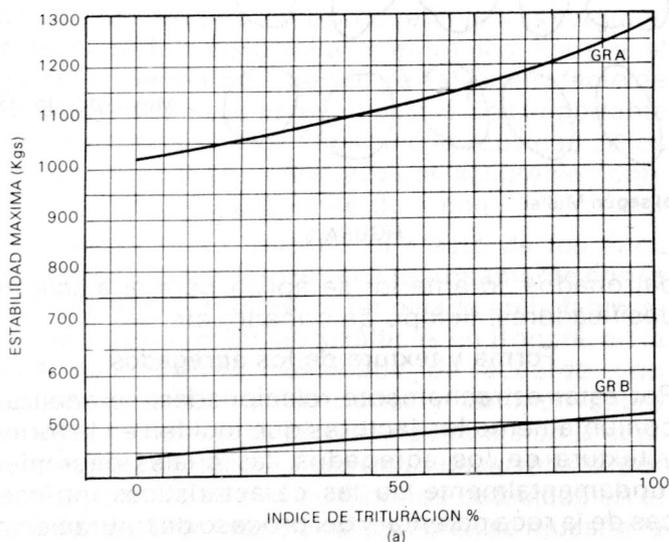


FIGURA 7. (Según referencia Nº 1)

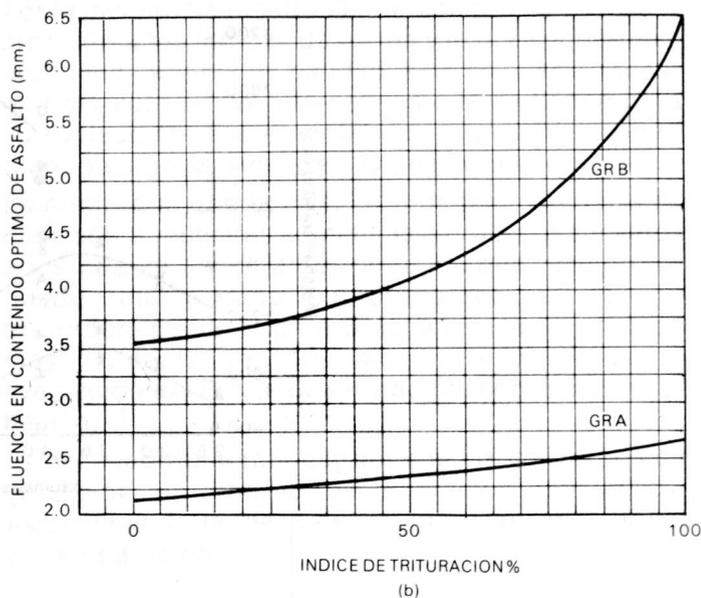
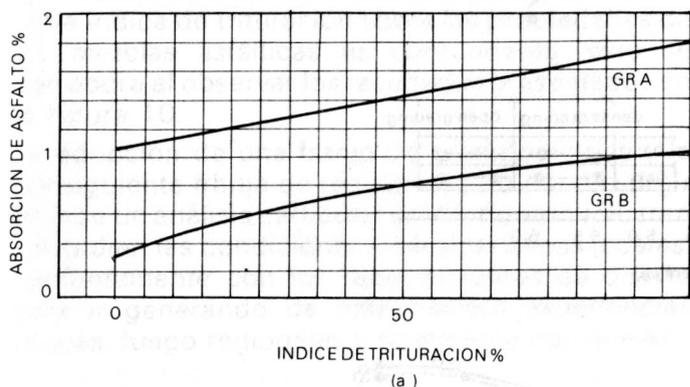


FIGURA 8. (Según referencia Nº 1)

Bogotá, y es sometido a un proceso de trituración que no alcanza a modificar las formas de todas las partículas. Desde el punto de vista mineralógico corresponde predominantemente a areniscas cuarzosas y eventual presencia de arcillas fosfáticas y limolitas arcillosas.

Las distribuciones granulométricas escogidas se presentan gráficamente en la figura 1a., bajo la denominación: granulometría A y granulometría B.

**Metodología seguida**

Tal como se indicó se escogieron dos granulometrías y se fijaron tres valores para el índice de trituración (IT): 0%, 50% y 100%, dando como resultado seis materiales, a cada uno de los cuales se le sometió a la prueba Marshall, empleando siempre asfalto AC 60-70 y aplicando 50 golpes por cara; igualmente se les sometió a pruebas de resistencia.

Cada material se prepara con base en una selección manual de partícula por partícula en lo concerniente a la fracción gruesa para tamiz de 19 mm. y queda retenido en 9.5 mm.

**ANALISIS DE RESULTADOS**

**Estabilidad Marshall máxima vs. índice de trituración (Figura 7a)**

Se observa una manifiesta superioridad de la granulometría A, en donde la estabilidad crece conjuntamente con el índice de trituración pero a un gradiente mucho mayor que el registrado con la granulometría B. Ello se explica en razón de la mayor compacidad alcanzada con la granulometría más cerrada y proporcionada, dando lugar a un mayor rozamiento interno.

**Peso unitario máximo vs. índice de trituración (Figura 7b)**

Con la granulometría A se alcanzan altas compacidades crecientes con el índice de trituración, con la B las compacidades son un 5% inferiores pero permanecen insensibles al I.T.

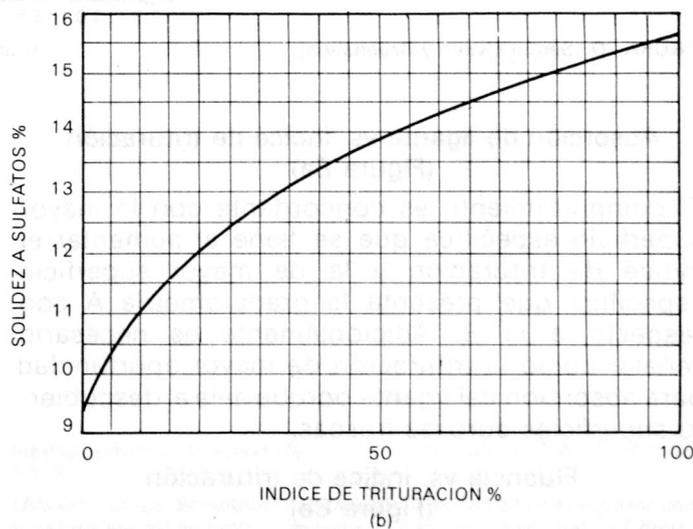
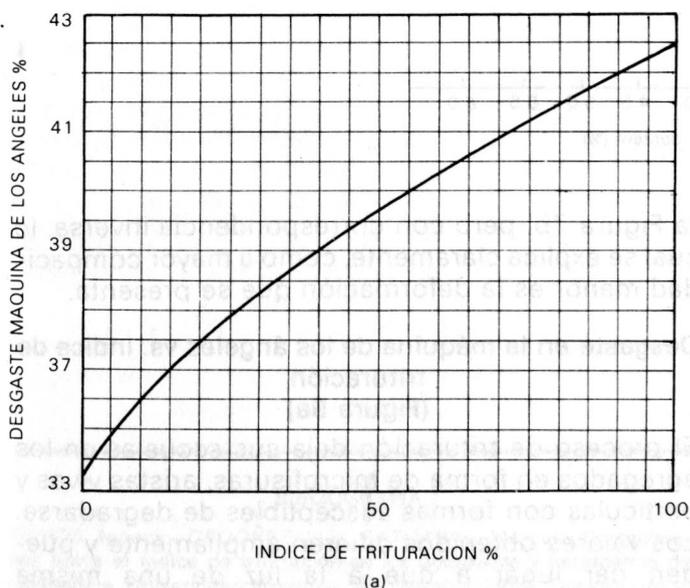


FIGURA 9. (Según referencia Nº 1)

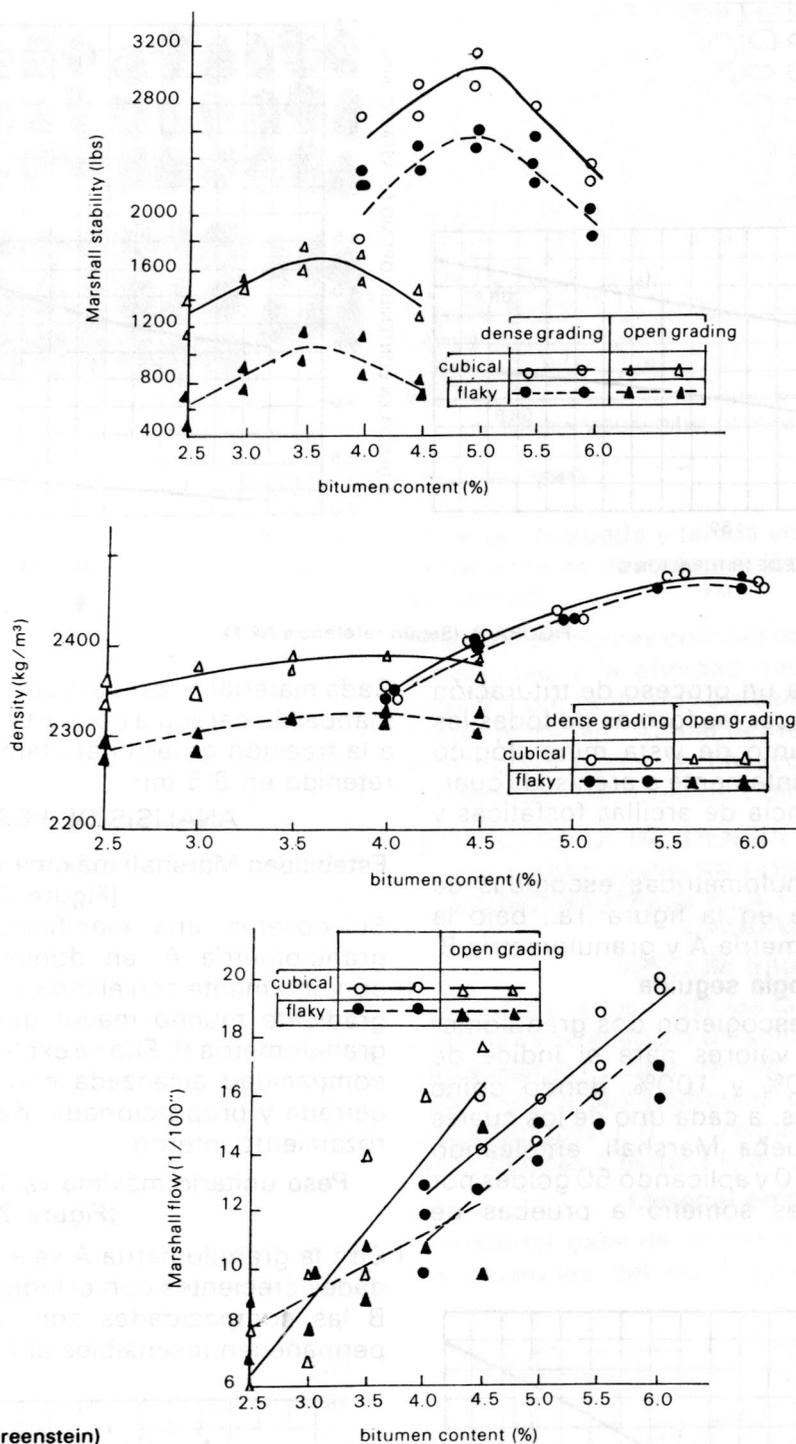


FIGURA 10. (Según Ljvneh y Greenstein)

**Absorción de ligante vs. índice de trituración (Figura 8a)**

El comportamiento es concordante con la mayor superficie específica que se tiene al aumentar el índice de trituración y la de mayor superficie específica que presenta la granulometría A con respecto a la B. Adicionalmente es necesario señalar como la trituración de mayor oportunidad para absorción del ligante porque deja al descubierto superficies porosas frescas.

**Fluencia vs. índice de trituración (Figura 8b)**

Se obtienen curvas homólogas a las presentadas en

la Figura 7b, pero con correspondencia inversa, lo cual se explica claramente, como a mayor compacidad menor es la deformación que se presenta.

**Desgaste en la máquina de los ángeles vs. índice de trituración (Figura 9a)**

El proceso de trituración deja sus secuelas en los agregados en forma de microfisuras, aristas vivas y partículas con formas susceptibles de degradarse. Los valores obtenidos difieren ampliamente y pueden dar lugar a que a la luz de una misma especificación el material sea aceptable con IT = 0% y no lo sea una vez haya sido triturado.

### Solidez vs. índice de trituración (Figura 9b)

El comportamiento es similar al descrito en el párrafo anterior.

### CONCLUSIONES

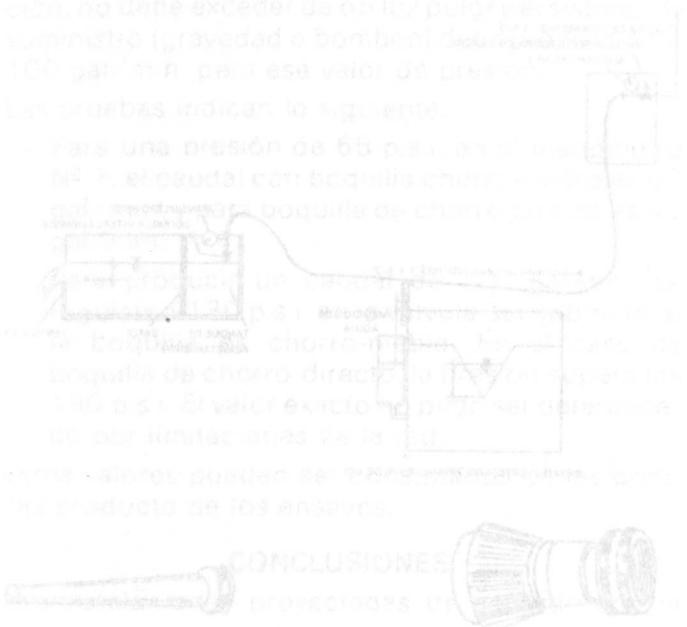
La incidencia de los índices analizados: granulometría e índice de trituración sobre las propiedades de las mezclas asfálticas es contundente; esto se corrobora al observar los resultados presentados en la Figura 10.

La adopción de una franja de granulometrías y la consiguiente franja de regularidad no puede surgir sino de un análisis particular en donde se involucren y estudien las condiciones y características locales, conjuntamente con los requerimientos de diseño para ir generando de esta manera experiencias locales, luego regionales y finalmente nacionales.

Por la incidencia mostrada, merece prestarse mayor atención a los índices de forma y textura superficial como indicadores de calidad, esto se puede conseguir divulgando las alternativas que se tienen para su evaluación, implementando las pruebas y efectuando estudios similares al que se presenta.

Es primordial que la selección de los materiales se haga sobre muestras sometidas a procesos similares a los que se aplicarán durante la construcción; se puede dotar a cada laboratorio regional de una trituradora pequeña para simular la fase del proceso más incidente: la trituración y la consiguiente evaluación del índice de trituración, como indicador básico.

Es necesario plantear claramente en los pliegos de condición el proceso de trituración por aplicar especificando la clase de equipo y las limitaciones en la operación.



### BIBLIOGRAFIA

OCHOA, Ignacio, ORDOÑEZ, Luis, SATIZABAL, Marcelo. **Correlaciones entre el índice de trituración de los agregados y parámetros de resistencia.** Universidad Nacional de Colombia 1981. Tesis de Grado dirigida por el Ing. Jorge Tamayo T.

TAMAYO, Jorge. **Propiedades fundamentales que debe presentar una**

**mezcla asfáltica compactada.** Universidad Nacional de Colombia, 1979.

TAMAYO, Jorge. **Sensibilidad de la estabilidad Marshall de acuerdo con la naturaleza del llenante empleado.** Universidad Nacional de Colombia, 1977.