

LIBIA GUTIÉRREZ DE LÓPEZ

**EL CONCRETO Y OTROS MATERIALES
PARA LA CONSTRUCCIÓN**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA
SEDE MANIZALES**

I.S.B.N 958-9322-82-4

© 2003 UNIVERSIDAD NACIONAL
DE COLOMBIA SEDE MANIZALES

AUTORA

LIBIA GUTIÉRREZ DE LÓPEZ
Ingeniera Civil.
Esp. en Ciencias Fisicas
Profesora Asociada
Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales

REVISIÓN PRIMERA EDICIÓN:

Roberto Arango Bernal
Ingeniero Civil
Profesor Asistente
Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales

Nelson Alonso Grand Vargas
Ingeniero Mecánico, M.Sc.
Profesor Asociado
Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales

CARÁTULA
Ruptura de columna
Imagen creada en 3D Studio Max

IMPRESO
Centro de Publicaciones
Universidad Nacional de Colombia
Sede Manizales

Marzo de 2003
Segunda edición

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	7
--------------------	---

CAPÍTULO 1

AGREGADOS	9
Origen de los Agregados Naturales	9
Obtención y Clasificación de los Agregados Naturales	15
Clasificación según su procedencia	16
Clasificación según su densidad	17
Propiedades	17
Propiedades Químicas	17
Propiedades Físicas	18
Propiedades Mecánicas	24
Presencia de Sustancias Perjudiciales	26
Características y especificaciones de los agregados y su influencia en las obras de ingeniería	27
Pavimentos	27
Granulometría	29

CAPÍTULO 2

CONCRETO HIDRÁULICO	33
Introducción	33
Historia del Concreto Hidráulico	33
Componentes del Concreto	34
Cemento	34
El agua	46
Agregados	48
Características del Concreto	51
Manejabilidad	51
Resistencia	53
Durabilidad	57
Resistencia al fuego	59
Cambios volumétricos	59
Dosificación de Mezclas de Concreto	61
Método 1	62
Método 2	67
Proceso de Producción del Concreto	82
Mezclado	82
Transporte	83
Colocación	84
Compactación	84
Acabado	85
Curado	85

Desencofrado	86
Control de Calidad del Concreto	86
Análisis de los Resultados de Resistencia	90
Evaluación del Concreto puesto en obra	93
Índice esclerométrico	93
Penetración de proyectiles	94
Velocidad del pulso ultrasónico	94
Arrancamiento de insertos	95
Pull-out test	96
Break off tester	97
Pull-off tester	97
Extracción de núcleos	98
Aditivos para el Concreto	99
Algunas clases de Concreto	105
Concreto lanzado	105
Concreto ciclópeo	106
Concretos autonivelantes	107
Concreto reforzado con fibras	107
Concreto ligero	109
Concreto preesforzado	110
Concreto compactado con rodillo	110
Concreto vaciado por tubo - embudo (TREMIE)	111
Concreto de alta resistencia	112
Bibliografía Capítulos 1 y 2	113

CAPÍTULO 3

MORTEROS	115
Introducción	115
Definición	115
Tipos y Usos de los Morteros	115
Usos del Mortero	119
Propiedades de los Morteros en estado plástico	119
Propiedades de los Morteros en estado endurecido	120
Diseño de Morteros con cemento Portland	121
Bibliografía Capítulo 3	129

CAPÍTULO 4

MATERIALES CERÁMICOS	131
Introducción	131
Composición	131
Arcillas	131
Principales minerales arcillosos	132
Plasticidad de la arcilla	133
Ladrillos	135
Producción	135
Clasificación	136

Propiedades químicas	139
Patologías del material cerámico como acabados de fachada	139
Vidrio	141
Propiedades físicas y mecánicas	141
Producción del vidrio	143
Bibliografía Capítulo 4	144

CAPÍTULO 5

LA MADERA	145
Introducción	145
Características	145
Ventajas	146
Clasificación y estructura	146
Componentes químicos de la madera	150
Planos de la madera	150
Características físicas	151
Propiedades químicas	160
Durabilidad	162
Propiedades mecánicas	163
Propiedades elásticas	169
Esfuerzos admisibles	170
Clasificación de la madera	172
Defectos en la madera	173
Bibliografía Capítulo 5	175

CAPÍTULO 6

LOS ASFALTOS	177
Introducción	177
Definición	177
Clasificación de los asfaltos	178
Asfaltos naturales o asfaltitas	178
Asfaltos destilados del petróleo	180
Obtención del asfalto	181
Composición química	183
Influencia de la composición química del asfalto en sus propiedades	184
Ensayos sobre materiales asfálticos	185
Viscosidad de los asfaltos	185
Punto de ablandamiento	188
Penetración	189
Punto de rotura Fraass (fragilidad)	190
Ductilidad	191
Punto de inflamación	191
Envejecimiento de película delgada o pérdida por calentamiento	192
Solubilidad	193
Contenido de agua	194
Propiedades del asfalto como material ligante	194
Durabilidad	194
Consistencia	195

Viscosidad	195
Propiedades reológicas	195
Adherencia	196
Asfaltos líquidos o diluidos	196
Emulsiones asfálticas	197
Introducción	197
Definición	198
Clases de emulsiones	198
Propiedades de las emulsiones	199
Asfaltos producidos en Colombia	201
Bibliografía Capítulo 6	202

CAPÍTULO 7

ACERO DE REFUERZO	205
Del acero al carbono	205
Composiciones del acero	206
Propiedades de los materiales ferrosos	207
Fabricación del acero	208
Tratamientos térmicos al acero	209
Clasificación de los aceros	210
Bibliografía	217

CAPÍTULO 8

MATERIALES POLIMÉRICOS	219
Termoplásticos	219
Termoestables	219
Clasificación de los materiales poliméricos	220
Propiedades Físicas	221
Propiedades Mecánicas	221
Propiedades Ópticas	222
Propiedades Eléctricas	223
Propiedades Químicas	223
Propiedades Térmicas	224
Aplicación de los materiales poliméricos	224
Bibliografía	227
 Indice de tablas	229
Indice de figuras	230
Indice de gráficas	231

INTRODUCCIÓN

El conocimiento profundo de los materiales que la naturaleza nos ha dado, y de otros transformados a partir de estos, es el primer paso para lograr innovaciones tecnológicas constructivas que la condición mundial actual requiere. Problemas como el agotamiento de recursos naturales y la mayor demanda de vivienda para una población en continuo crecimiento, hace que cada día se necesiten con más urgencia nuevos materiales y tecnologías en la construcción, para que las viviendas sean mas funcionales, seguras y económicas.

Por lo anterior y para que sirva como texto guía en la asignatura MATERIALES PARA LA CONSTRUCCIÓN, me he propuesto tratar en este libro, los tópicos más importantes sobre algunos materiales empleados en la construcción, apoyada en la gran profundidad y conocimiento de distintos autores, y agregando un poco de mi experiencia personal acumulada en varios años de docencia universitaria y al trabajo en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia, Sede Manizales.

Deseo que tanto el Ingeniero Civil, como el Arquitecto, encuentren reunidos aquí, los conocimientos necesarios, para que puedan emplear con seguridad y economía, materiales tradicionales como el concreto, el asfalto, los morteros, la madera, etc., y que conociéndolos ahonden en la búsqueda de otros materiales, que lleguen a reemplazarlos en igualdad de condiciones.

CAPÍTULO 1

AGREGADOS

Los agregados constituyen un factor determinante en la economía, durabilidad y estabilidad en las obras civiles, pues ocupan allí un volumen muy importante. Por ejemplo el volumen de los agregados en el concreto hidráulico es de un 65% a 85%, en el concreto asfáltico es del 92% al 96%, en los pavimentos del 75% al 90%.

Por lo anterior el estudio de sus propiedades físicas y mecánicas cobra especial importancia para su adecuada y eficiente utilización.

Antes de empezar a estudiarlos es conveniente definir algunos términos utilizados bien por el ingeniero o bien por el común de la gente, para que todos hablemos el mismo idioma.

- Agregado o árido: conjunto de materiales de composición mineral, naturales o artificiales, generalmente inertes, usados en la construcción de obras civiles.
- Agregado grueso o grava: material retenido en el tamiz No. 4, con un tamaño entre 7.6 cm y 4.76 mm.
- Agregado fino o arena: material pasante de la malla No. 4 y retenido en la malla No. 200, con tamaños entre 4.76 mm y 74 Micras (0.074 mm.).
- Finos: son partículas pasantes del tamiz No. 200 con tamaños entre 0.074 mm y 0.002 mm.
- Sucio de río: término empleado para denominar en su totalidad el material de arrastre de un río sin separación de tamaños, y tal como se puede extraer de un depósito natural. En algunas regiones del país a este material se llama Champurriado.
- Gravilla: material de río o de cantera, separado en la fuente en tamaños pasantes del tamiz 3/4" y retenido en el No.4, con tamaños entre 19.1 mm y 4.76 mm.
- Arenón: arena natural de río o de veta, con tamaños pasantes del tamiz 3/8" y retenidos en el tamiz No.40, es decir con tamaños entre 9.51 mm y 0.420 mm.
- Cascajo: hace referencia exclusivamente al agregado rodado pasante del tamiz 1 1/2" y retenido en el tamiz No.4, con tamaños entre 38.1 mm y 4.76 mm.

ORIGEN DE LOS AGREGADOS NATURALES

Los agregados naturales provienen de las rocas y se obtienen por un proceso de fragmentación natural como el intemperismo y la abrasión o mediante un proceso físico mecánico hecho por el hombre; en ambos casos conservan las propiedades físicas: densidad, porosidad, textura, resistencia al intemperismo y composición mineralógica de la roca madre.

Para comprender mejor las propiedades de los agregados como su textura, porosidad, y su resistencia, tanto mecánica como al intemperismo, es necesario estudiar un poco la genealogía de las rocas y su formación.

Las rocas originales o ígneas se produjeron por fenómenos geológicos internos de la tierra al solidificarse el magma que es una mezcla heterogénea de diversos silicatos, y posteriormente por fenómenos geológicos externos como la meteorización, con el tiempo se formaron las rocas sedimentarias. Posteriormente las rocas sedimentarias e ígneas al sufrir procesos de presión y temperatura formaron las rocas metamórficas. Este proceso se conoce como un ciclo geológico de las rocas y puede observarse en el siguiente diagrama.

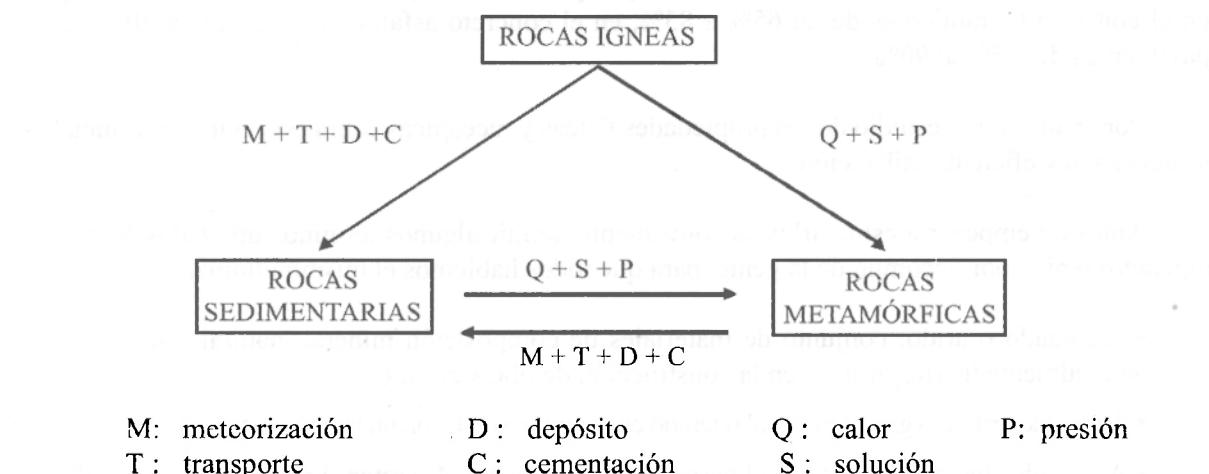


FIGURA No. 1 CICLO GEOLÓGICO DE LAS ROCAS

Rocas ígneas

La mayor parte de la corteza terrestre está formada por rocas ígneas y de ellas se forman las otras rocas por lo cual son llamadas originales. Según la profundidad a la cual se solidifican dentro de la tierra y la velocidad de enfriamiento se clasifican como aparece en la tabla No.1.

TABLA No.1 CLASIFICACIÓN DE LAS ROCAS ÍGNEAS SEGÚN LA PROFUNDIDAD Y VELOCIDAD DE CONSOLIDACIÓN

NOMBRE	VELOCIDAD DE SOLIDIFICACIÓN	LOCALIZACIÓN	CARACTERÍSTICAS DE LA TEXTURA
Intrusivas Plutónicas Abisales	lenta	Cristalización a gran profundidad	Fanerítica: grano uniforme y visible de 1 a 5 mm
Filonianas Hipoabisales	media	Consolidación a profundidad media	Porfirítica: granos grandes en matriz fina
Extrusivas Efusivas o Volcánicas	rápida	Cristalización cerca o sobre la superficie por erupción volcánica	Afanítica: no se aprecian los granos matriz fina, o no. Afanítica: bombas

De acuerdo con la velocidad de enfriamiento del magma, se produce una textura determinada, relacionada con la adherencia del agregado a productos cementantes.

La cristalización en las rocas ígneas está gobernada por la serie de reacciones de Bowen figura No.2, en donde cada parte de mineral formado reacciona químicamente con el líquido remanente del magma generando el mineral que se encuentra por encima. La interrupción de esta serie que ocurre cuando los volátiles escapan, explica el por qué se presentan rocas ígneas de diferente composición mineralógica. La interrupción también puede darse por el asentamiento de algunos minerales formados primero.

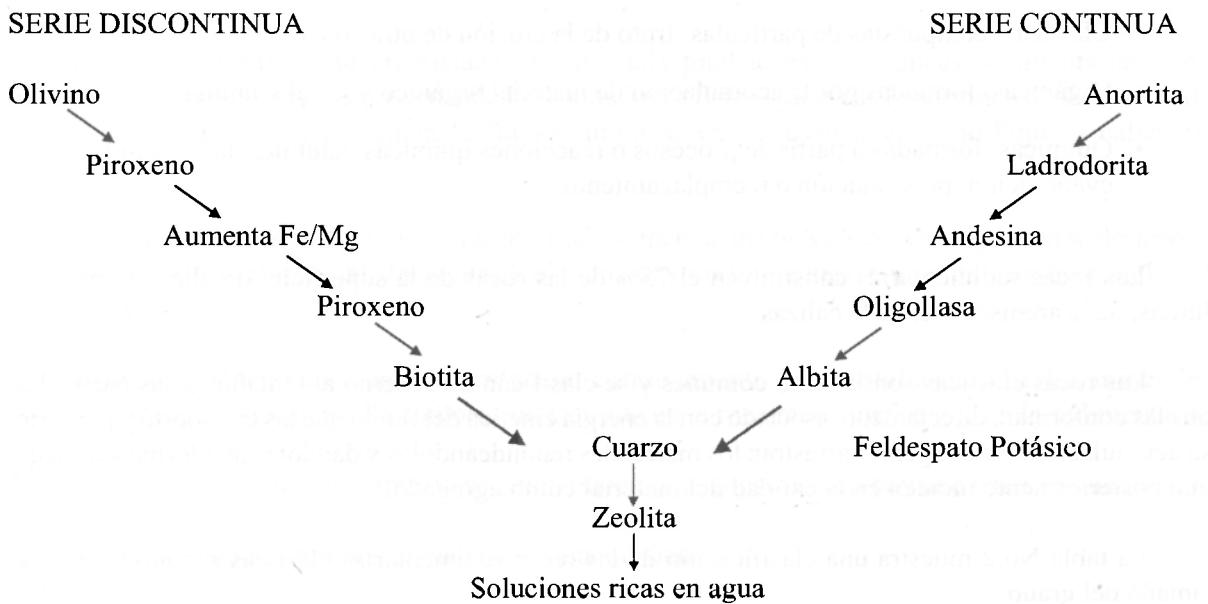


FIGURA No. 2 SERIE DE BOWEN

Las rocas que contienen los minerales de la parte superior son ricas en magnesio y calcio y son de colores oscuros. Si los minerales constitutivos son los intermedios tienen colores grises. Por último los minerales de la parte inferior forman roca de colores claros.

El proceso de formación influye en las características, así:

- granos de minerales de alta resistencia producen rocas de alta resistencia.
- texturas de grano mas fino producen rocas de mayor resistencia.
- rocas ígneas extrusivas presentan un comportamiento más variable debido a sus características de formación por lo cual son muy porosas y tienen resistencia muy baja.
- ígneas intrusivas son de alta resistencia, ausencia casi total de poros y muy homogéneas en su composición mineralógica.

- rocas compuestas por minerales como el olivino, piroxeno, anortita son mas inestables químicamente frente a las condiciones climáticas que las compuestas por minerales pertenecientes a la parte inferior de la serie.

Rocas Sedimentarias

Se derivan de los procesos de sedimentación de materiales naturales en un medio fluido conformando capas o estratos gruesos o delgados.

Según su origen pueden ser:

- Clásticas: compuestas de partículas, fruto de la erosión de otras rocas.
- Orgánicas: formadas por la acumulación de material orgánico vegetal o animal.
- Químicas: formadas a partir de procesos o reacciones químicas naturales, tales como evaporación, precipitación o reemplazamiento.

Las rocas sedimentarias constituyen el 75% de las rocas de la superficie; de ellas el 46% son lutitas, 32% arenisca y el 22% calizas.

Las rocas clásticas son las mas comunes y se clasifican de acuerdo al tamaño de las partículas que las conforman, directamente asociado con la energía cinética del fluido que las transportó y permitió su acumulación. Estos agentes arrastran los materiales redondeándolos y dándoles una forma y tamaño que posteriormente inciden en la calidad del material como agregado.

La tabla No.2 muestra una clasificación de las rocas sedimentarias clásticas según la forma y tamaño del grano.

TABLA No. 2. PROPIEDADES FÍSICO MECÁNICAS

ROCA	GRANO	FORMA DE GRANO MAS GENERAL	TAMAÑO DEL GRANO en mm
Conglomerado	Cantos y gravas	Redondeado	256 - 64
Brecha	Fragmentos Líticos	Angulares	64 - 5
Arenisca	Arena	Redondeado o Angular	5 - 0.074
Limolita	Limo	Redondeado	0.074 - 0.002
Arcillolita	Arcilla	Laminar	< 0.002

Para emplear las rocas sedimentarias como material de construcción hay que tener en cuenta:

- se debe determinar el tipo de cementante y la proporción de fragmentos, porque ello determina la calidad y la rentabilidad.
- la mayor uniformidad en el tamaño de las partículas disminuye su resistencia.
- al aumentar el redondeamiento de las partículas disminuye la resistencia de la roca.

Rocas Metamórficas

Se generan a partir de una recristalización parcial o total de las rocas ígneas, sedimentarias y aún metamórficas, proceso que ocurre cuando las condiciones físico-químicas lo permiten dependiendo de la temperatura, presión y presencia de fluidos químicamente activos tales como líquidos calientes, vapores y gases.

Cuando una de las condiciones a que ha estado sometida una masa rocosa es la presión se desarrolla una orientación preferencial de algunos o todos sus componentes conocida como foliación o bandeadimiento.

El metamorfismo crea una cementación, entrabamiento y recristalización de los minerales occasionando una resistencia a la compresión mas alta en la roca metamórfica que en la sedimentaria.

Al emplear las rocas metamórficas como material de construcción hay que tener en cuenta que:

- la porosidad es mínima en las rocas metamórficas.
- la resistencia será mayor a mayor grado de metamorfismo pero es menor su durabilidad o resistencia a los factores climáticos.
- las rocas con alto contenido de mica o grafito presentan menor resistencia en el sentido paralelo a la esquistosidad.
- la foliación o bandeadimiento produce alta resistencia en sentido normal y baja en el sentido paralelo.
- se debe determinar el tipo de cementante y la proporción de fragmentos, porque ellos determinan la calidad y rentabilidad de estas rocas.
- la mayor uniformidad en el tamaño de las partículas disminuye su resistencia; reacciones sucesivas de oxidación, hidratación y combinación con el aluminato de calcio desprendido en la reacción química del cemento forman sulfo aluminato de calcio, que produce la desintegración del concreto, especialmente en regiones cálidas y húmedas.

TABLA No. 3. PRINCIPALES ROCAS Y SUS CARACTERÍSTICAS COMO MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN.

ROCA	MÉTODO DE EXCAVACIÓN REQUERIDO	FRAGMENTACIÓN	SUSCEPTIBILIDAD A LA METEORIZACIÓN
Granito Diorita	Explosivos	Fragmentos irregulares que dependen del uso de los explosivos	Probablemente resistente
Basalto	Explosivos	Fragments irregulares que dependen de las juntas y grietas	Probablemente resistente
Toba	Equipo o Explosivos	Fragments irregulares muchas veces con finos en exceso	Algunas variedades se deterioran rápidamente
Arenisca	Equipo o Explosivos	En lajas, dependiendo de la estratificación	Según la naturaleza del cementante
Conglomerado	Equipo o Explosivos	Exceso de finos dependiendo del cementante	Algunas se alteran para formar arenas limosas
Limonita Lutita	Equipo	Desde pequeños bloques a lajas	Muchas se desintegran rápidamente para formar arcilla
Caliza Masiva	Explosivos	Fragments irregulares muchas veces lajas	Las vetas pizarrosas se deterioran, pero las otras son resistentes
Cuarcita	Explosivos	Fragments irregulares muy angulosos	Probablemente Resistente
Pizarras	Explosivos Esquisto	Fragments irregulares o ajeados, según la foliación	Algunas se deterioran con procesos de humedecimiento y secado
Gnesis	Explosivos	Fragments irregulares muchas veces alargados	Probablemente Resistente
Desechos industrial o de mina	Equipo	Depende del material, pero en la mayoría de los casos es irregular	La mayoría de las variedades (excepto las ígneas de mina) deben considerarse deteriorables.

Las micas son minerales presentes en rocas volcánicas sedimentarias y metamórficas. El uso de agregados con estos minerales no es recomendable para concretos hidráulicos, por la posibilidad de alteración con sustancias químicamente activas derivadas de la hidratación del cemento. Cuando están presentes en el agregado fino requieren mayor contenido de agua y por ende de cemento para lograr una determinada resistencia.

Algunos minerales que contienen sulfuro de hierro, como las piritas, pueden presentar reacciones sucesivas de oxidación, hidratación y combinación con el aluminato de calcio desprendido en la reacción química del cemento formando sulfoaluminato de calcio, que provoca la desintegración del concreto especialmente en regiones cálidas y húmeda.

OBTENCIÓN Y CLASIFICACIÓN DE LOS AGREGADOS NATURALES

Los agregados empleados en la construcción pueden obtenerse por la explotación de bancos de material, depósitos de rocas que afloran en la superficie terrestre, o por extracción y clasificación del material que arrastran los ríos.

Nos referiremos en primera instancia a los bancos de material, sin olvidar que las características y condiciones de calidad se aplican por igual a ambos materiales.

Elección de los bancos de material

Los bancos de material se definen como lugares donde aflora la roca.

La ubicación de los bancos de material se debe apoyar en:

- cartografía de la zona.
- fotografías aéreas en pares estereoscópicos.
- mapas y cortes geológicos.
- datos y resultados de trabajos geotécnicos o geofísicos realizados en la zona o sus alrededores.

Al elegir un banco de material se debe considerar:

- profundidad, espesor y extensión que lo hagan rentable.
- clase de material requerido de acuerdo al elemento estructural que se va a construir.
- facilidad de acceso al lugar.
- distancia de acarreo hasta el sitio de la obra.
- derechos de propiedad de la zona donde se encuentra la cantera.
- costos de explotación.

La procedencia, el tamaño y la densidad son entre otras muchas, algunas de las formas de clasificar los agregados.

Clasificación según su procedencia

En primera instancia los agregados según su procedencia se clasifican en naturales y artificiales.

Agregados naturales

Provienen de la explotación de canteras o son producto del arrastre de los ríos. Según la forma de obtenerse los podemos clasificar como Material de cantera y Material de río. Conviene hacer la distinción porque el material de río al sufrir los efectos de arrastre, adquiere una textura lisa y una forma redondeada que lo diferencian del material de cantera que por el proceso de explotación tiene superficie rugosa y forma angulosa. Como veremos mas adelante la forma y la textura les dan ventajas y desventajas al emplearse como agregados del concreto hidráulico o asfáltico.

El material que se obtiene como producto de la trituración de los sobretamaños del material de río, adquiere las características físicas del material de cantera por el proceso de trituración pero conserva las cualidades mecánicas, propias como resistencia al desgaste y al intemperismo, que tenía el material de río que le dio origen.

Agregados artificiales

Estos agregados se obtienen a partir de productos y procesos industriales, tales como arcillas expandidas, escorias de altos hornos, limaduras de hierro, etc. En algunos casos para ciertos tipos de concreto de baja resistencia, se suelen utilizar algunos residuos orgánicos como cascarilla de arroz, de palma, café, etc., mezclados con los agregados naturales para abaratar los costos del concreto y del mortero.

En el país se han realizado numerosas investigaciones utilizando los desperdicios orgánicos o industriales con el objeto de producir un concreto de buenas especificaciones pero relativamente mas barato.

El Instituto Colombiano de Productores del Cemento ICPC posee un banco de investigaciones y presta el servicio de información a quien lo solicita.

Clasificación según su tamaño

La tabla No.4 muestra la clasificación de los agregados según su tamaño.

TABLA No.4. CLASIFICACIÓN SEGÚN SU TAMAÑO

TAMANO DE LA PARTICULA EN mm	DENOMINACION CORRIENTE	CLASIFICACIÓN
Pasante del tamiz N° 200 inferior a 0.002 mm Entre 0.002 – 0.074 mm	Arcilla	Fracción fina o finos
	Limo	
Pasante del tamiz N° 4 y retenido en el tamiz N° 200 Es decir entre 4.76 mm y 0.074 mm	Arena	Agregado fino
Retenido en el tamiz N° 4 Entre 4.76 mm y 19.1 mm (N° 4 y ¾") Entre 19.1 y 50.8 mm (3/4" y 2") Entre 50.8 mm y 152.4 mm (2" y 6") Superior a 152.4 mm (6")	Gravilla	Agregado grueso
	Grava	
	Piedra	
	Rajón, Piedra bola	

Clasificación según su densidad

Otra forma de clasificar los agregados es según su densidad, es decir la masa por unidad de volumen, incluyendo el volumen de sus vacíos; la importancia de esta clasificación radica en el peso final del producto cuando se emplean estos agregados, por ejemplo, el concreto ligero. Según su densidad los agregados se clasifican en:

ligeros: su densidad está entre 480-1040 kg/m³, por ejemplo: piedra pómez.

normal: entre 1300 y 1600 kg/m³, por ejemplo material de río.

PROPIEDADES

1. Propiedades Químicas

Los agregados conservan la composición mineralógica de la roca que les dio origen; generalmente son inertes ya que no reaccionan químicamente con los demás constituyentes. Sin embargo desde 1946 se ha venido observando una reacción química de algunos agregados con el cemento cuando se emplean dichos agregados en concretos.

Reacción Alcali-Agregado:

Algunos agregados reaccionan con los álcalis del cemento especialmente los agregados silicios y los agregados carbonatados. Los primeros cuando poseen óxidos de silicio en sus formas inestables reaccionan con los hidróxidos alcalinos del cemento, produciéndose un gel que aumenta de volumen a medida que absorbe agua con lo que origina presiones internas en el concreto con la consiguiente expansión, agrietamiento y ruptura de la pasta de cemento. Esta reacción se conoce como Alcali-sílice. Los segundos producen una reacción similar llamada Alcali-carbonato pero es menos frecuente que la Alcali-sílice.

La reactividad potencial de los agregados se detecta mediante el ensayo químico descrito en la norma NTC No.175, que básicamente consiste en determinar las reacciones que ocurren entre el agregado después de triturado y una solución de hidróxido de sodio.

Existen otras pruebas para determinar la afinidad del sílice del agregado y el álcali del cemento, como la descrita en la norma ASTM-C227 llamada prueba de la barra de mortero. En esta prueba se mide la expansión que se desarrolla en pequeñas barras de mortero hechas con agregados finos o con agregados gruesos triturados y almacenados a determinadas condiciones de temperatura y humedad durante un tiempo prolongado, generalmente de tres a seis meses; aunque la prueba es demorada, es suficientemente confiable.

Para determinar la reacción Alcali-Carbonato se usa la prueba descrita en la norma ASTM-C586, conocida como la prueba del cilindro de roca.

La única reacción química favorable de los agregados se conoce como Epitaxia, la cual mejora la adherencia entre ciertos agregados calizos y la pasta del cemento, a medida que transcurre el tiempo.

2. Propiedades Físicas

Granulometría

La granulometría o gradación se refiere al tamaño de las partículas y al porcentaje o distribución de las mismas en una masa de agregado. Se determina mediante el análisis granulométrico que consiste en hacer pasar una determinada cantidad del agregado a través de una serie de tamices standard, dispuestos de mayor a menor. Los tamices se disponen de acuerdo a la utilización. Así por ejemplo la serie de tamices que se usa para los agregados del concreto se ha escogido de tal forma que la abertura del tamiz esté en relación de 1 a 2 con la abertura del siguiente tamiz.

La operación de tamizado debe realizarse según la norma NTC No.77 en la cual se describe el tamaño de la muestra a ensayar y los procedimientos adecuados para realizar un análisis granulométrico. Los resultados se consignan en una tabla en la que deben aparecer: Peso de la muestra ensayada, peso del material retenido en cada malla, % del material retenido, % retenido acumulado y % que pasa.

Curvas granulométricas

Para una mejor visualización de la distribución del agregado, los resultados de un análisis granulométrico se grafican mediante una curva granulométrica, en la cual aparece sobre las ordenadas, en escala aritmética, el porcentaje que pasa a través de los tamices y sobre las abscisas, en escala logarítmica o en escala aritmética, la abertura de los tamices.

Una curva tendida indica un material bien graduado o con todos los tamaños y corresponde a una gradación densa o cerrada, es decir, los espacios entre partículas son mínimos, no existe ni exceso ni defecto de un tamaño determinado.

En cambio una curva casi vertical indica un material mal graduado, en el que predominan solo unos pocos tamaños y corresponde a una gradación abierta donde aumentan los espacios vacíos.

Parámetros que se obtienen del análisis granulométrico

Además de determinar la distribución de los tamaños y la ausencia o exceso de los mismos dentro de una masa de agregados, de un análisis granulométrico se pueden sacar valores que luego son usados como parámetros en los diseños o como factores de calidad, ellos son:

Tamaño Máximo

Se define como la menor abertura del tamiz que permite el paso de la totalidad de la muestra. Indica la dimensión de la partícula más grande que hay en la muestra.

Tamaño Máximo Nominal

Se define como la abertura del tamiz inmediatamente superior a aquél cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más. Indica el tamaño promedio de partículas mas grandes que hay dentro de una masa de agregado.

Por lo general, un análisis granulométrico, el tamaño máximo y el máximo nominal no coinciden. Por lo tanto, en las especificaciones debe indicarse claramente de cual de los dos se trata. Los términos tamaño máximo y tamaño máximo nominal se aplican exclusivamente al agregado grueso.

Módulo de finura

Es un valor que permite estimar el grosor o finura de un material; se define como la centésima parte del número obtenido al sumar los porcentajes retenidos acumulados en los siguientes tamices Icontec empleados al efectuar un análisis granulométrico: No. 100, 50, 30, 16, 8, 4 3/8", 3/4", 1 1/2" y los tamices siguientes cuya relación de abertura sea de 1 a 2.

El uso del módulo de finura se ha restringido al agregado fino y según este módulo las arenas se clasifican en:

Arenas finas Módulo de finura entre 0.5 - 1.5

Arenas medias Módulo de finura entre 1.5 - 2.5

Arenas gruesas Módulo de finura entre 2.5 - 3.5

Cuando la arena está mezclada con grava se obtienen módulos de finura mayores y a mayor proporción de grava en la arena mayor es el módulo de finura, en este caso la clasificación se hace así:

Arenas finas Módulo de finura entre 2.2 - 2.6

Arenas medias Módulo de finura entre 2.6 - 2.9

Arenas gruesas Módulo de finura entre > 2.9

Porcentaje de Finos

Se define como el % que pasa el tamiz Icontec No. 200 (0.074 m.m.).

Formas de las partículas del agregado

Para determinar la forma de las partículas en los agregados es necesario definir:

Redondez

Se aplica a la forma del filo; si la partícula tiene aristas bien definidas se dice que es angular, si por el contrario sus aristas están gastadas por la erosión o el rozamiento del agua se habla de partículas redondeadas.

Esfericidad

Es función de la relación entre área superficial y volumen. Esta relación es menor en partículas esféricas incrementándose en partículas planas y alargadas, según la esfericidad las partículas pueden ser esféricas, cúbicas, tetraédricas, laminares y alargadas.

La forma de las partículas se indica con dos términos, aduciendo a su redondez y a su esfericidad. Por ejemplo cúbica redondeada o cúbica angular.

En general las gravas de río, glaciares, y conglomerados, así como las arenas de playa o desierto son materiales redondeados, y pueden ser esféricos (cantos rodados) y laminares. En cambio los agregados obtenidos por trituración y los provenientes de suelos residuales son angulares y su forma depende de la naturaleza de la roca y del equipo de trituración; así serán cúbicos, tetraédricos, laminares y alargados.

La norma NTC No.174 define los términos partícula plana y partícula alargada.

Partícula alargada

Es aquella cuya relación entre longitud y anchura es mayor de 1.5 es decir:

$$\frac{L}{b} > 1.5$$

donde: L = longitud de la partícula.

b = ancho de la partícula.

Partícula plana

Es aquella cuya relación entre el espesor y el ancho es menor de 0.5, es decir:

$$\frac{d}{b} < 0.5$$

donde: d = espesor de la partícula.

b = ancho de la partícula.

Textura

Esta propiedad del agregado se deriva indirectamente de la roca madre y es responsable de la adherencia del agregado y de la fluidez de las mezclas de concreto.

Según la textura superficial podemos decir que el agregado es liso o pulido (material de río) o áspero (material triturado). Esta textura está relacionada con la dureza, forma, tamaño y estructura de la roca original.

Densidad

Esta propiedad depende directamente de la roca que dio origen al agregado. La densidad se define como la relación de peso a volumen de una masa determinada. Pero como las partículas del agregado están compuestas de minerales y espacios o poros que pueden estar vacíos, parcialmente saturados o llenos de agua según la permeabilidad interna, es necesario hacer diferenciación entre los distintos tipos de densidad.

Densidad absoluta

Es la relación entre el peso de la masa de agregado y el volumen que ocupan solo sus partículas sólidas.

$$DA = \frac{Ps}{Vm - Vv}$$

Ps = peso del material seco.

Vm = volumen de la masa.

Vv = volumen de vacíos

Densidad nominal

Es la relación que existe entre el peso de la masa del agregado y el volumen que ocupan las partículas del material incluidos los poros no saturables.

$$DN = \frac{Ps}{Vm - Vvs}$$

Ps = peso de la muestra seca

Vm = volumen ocupado por la muestra

Vvs = volumen de los poros saturables.

Densidad aparente

Está definida por la relación entre el peso y el volumen de las partículas de ese material incluidos todos los poros, saturables y no saturables.

$$\text{Densidad aparente} = \frac{Ps}{Vm}$$

donde: Ps = peso seco de la masa

Vm = volumen ocupado por la masa.

La norma NTC No. 237 indica la forma de determinar las diferentes densidades del agregado fino y No. 176 la forma de obtener las diferentes densidades para el agregado grueso.

Para el diseño de mezclas de concreto, la densidad que interesa es la densidad aparente, pues con ella se determina el peso del agregado requerido para un volumen unitario de concreto, porque los poros interiores de las partículas van a ocupar un volumen dentro de la masa del concreto y el agua que se aloja dentro de los poros saturables no hace parte del agua del mezclado. Es decir, en una mezcla de concreto el material está saturado (tiene sus espacios vacíos llenos de agua), pero está superficialmente seco.

La densidad aparente del agregado depende de su composición mineralógica y de la cantidad de poros que tenga. Por lo general el valor de la densidad aparente está entre 2.30 g/cm^3 y 2.8 g/cm^3 .

Porosidad y absorción

La porosidad del agregado es una cualidad muy importante, directamente relacionada con la adherencia y resistencia a la compresión y flexión de las partículas, así como a su comportamiento frente a problemas de congelamiento, deshielo e intemperismo.

La porosidad está asociada a la capacidad de absorción de agua u otro líquido que tienen los agregados, capacidad que depende del número y tamaño de los poros y de la continuidad de los mismos. Según su contenido de humedad, las partículas que conforman un agregado pueden estar en los siguientes estados que muestra la figura No.3

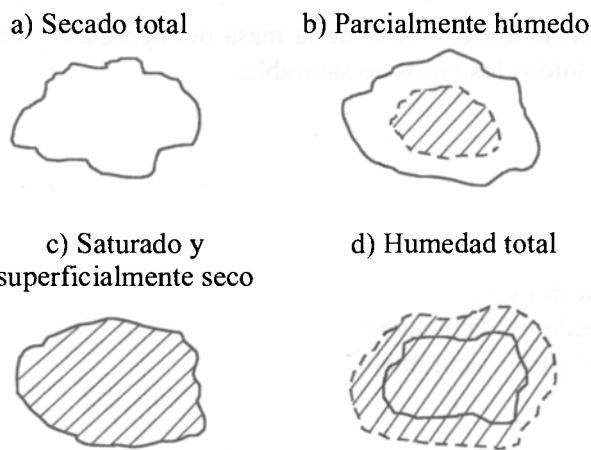


FIGURA No. 3. DIFERENTES ESTADOS DE SATURACIÓN DEL AGREGADO

En el caso 1, el material está seco, es decir, no tiene ni agua de absorción ni agua libre, sólo tiene el agua adsorbida, es decir el agua de constitución mineralógica, estado que se obtiene sólo cuando el material ha estado en el horno a una temperatura de 110 °C durante 24 horas o hasta que tenga peso constante.

En el caso 2 el material tiene alguna humedad, es decir los poros tienen agua absorbida; es el caso del material al medio ambiente.

En el caso 3 el material tiene todos los poros saturados pero está superficialmente seco. Este estado se logra cuando el material ha sido sumergido mínimo 24 horas y se seca superficialmente.

En el caso 4, el material está saturado y posee agua libre que da a las partículas una película brillante.

Para determinar la absorción en agregados finos y gruesos se siguen las indicaciones que aparecen en las normas NTC 237 y 176 respectivamente.

$$\% \text{ absorción} = \frac{P_{ss} - P_s}{P_s} \times 100$$

P_{ssss} = Peso saturado y superficialmente seco
 P_s = Peso seco.

Masa unitaria o peso unitario

Se define como la relación entre el peso de una muestra de agregado compuesta de varias partículas y el volumen que ocupan estas partículas agrupadas dentro de un recipiente de volumen conocido. Es decir, el material dentro del recipiente sufre un acomodo de las partículas dejando el menor espacio entre ellas; el mayor peso unitario se tendrá cuando quepa más material dentro del mismo volumen, lo que depende naturalmente de la granulometría, tamaño, forma y textura del agregado.

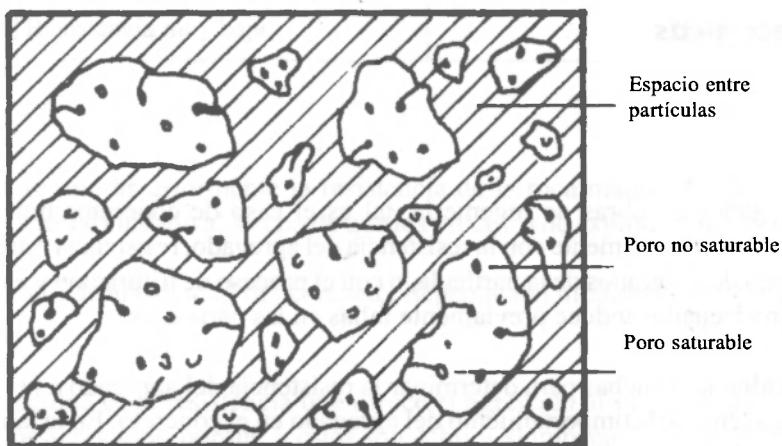


FIGURA N°4. ESQUEMATIZACIÓN DEL PESO VOLUMÉTRICO

Existen dos tipos de masa unitaria a saber:

Peso unitario o compactado

Se define como el peso compactado del material dividido entre el volumen que ocupa. La determinación de la masa unitaria compactada se hace según la norma NTC No. 92.

El valor de la masa unitaria compactada se utiliza para determinar el volumen absoluto de agregado grueso en las mezclas de concreto.

Peso unitario suelto

Es la relación que existe entre el peso del agregado suelto o en estado normal de reposo y el volumen que ocupa.

El peso unitario suelto es menor que el peso unitario compactado porque el material en estado suelto ocupa un volumen mayor.

En el manejo del material se debe tener en cuenta el peso unitario suelto por cuanto el transporte se hace en volumen y en estado suelto, y por lo tanto el volumen del agregado para transportar y almacenar siempre es mayor que el volumen del material colocado y compactado en la obra.

Expansión o abultamiento

Conocida también como hinchamiento de la arena, consiste en un aumento de volumen, para un determinado peso de arena por la presión del agua entre las partículas de arena cuando ésta se encuentra con agua libre. Si el agua libre aumenta de un 5 a un 8%, el abultamiento puede llegar hasta un 20 ó 30%. La expansión puede ser máximo de un 40% para arenas finas y hasta un 20% para arenas gruesas. Cuando se aumenta el contenido de agua libre la expansión disminuye y si la arena está inundada no existe hinchamiento. Conviene tener esto en cuenta en el transporte y almacenamiento de la arena.

3. Propiedades Mecánicas

Resistencia

Al emplear los agregados en obras de ingeniería, tal es el caso de concretos hidráulicos, la resistencia de éstas, se relaciona directamente con la resistencia del agregado, resistencia estrechamente relacionada con la estructura de los granos de la partícula, o con el proceso de trituración y explotación; algunos procedimientos inadecuados induce previamente fallas en las partículas.

Se han desarrollado algunas pruebas para determinar la resistencia del agregado a la trituración, que permiten dar una idea acerca del comportamiento del agregado en el concreto. En la tabla No.5 se dan algunos valores típicos de resistencia a la compresión y módulo de elasticidad de algunas rocas.

TABLA No. 5. RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE Y MÓDULO DE ELASTICIDAD DE ALGUNAS ROCAS.

ROCA	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN kg/cm ²	MÓDULO DE ELASTICIDAD kg/cm ² x10 ⁵
Gabro	150 – 300	6 – 11
Granito	70 – 250	3 – 7
Basalto	100 – 300	2 – 10
Diabasa	60 – 130	3 – 9
Dolomita	150 – 250	2 – 8.4
Caliza	10 – 70	1 – 8.0
Arenisca	20	0.5 – 8.6
Lutita	20 – 90	0.8 – 3.0
Gnesis	40 – 70	2 – 6
Mármoi	50 – 80	6 – 9
Cuarcita	30 – 50	2.5 – 10
Esquisto	70 - 200	4 - 7

Según su resistencia a la compresión simple, la roca se puede clasificar así:

TABLA No. 6. RESISTENCIA

DESCRIPCIÓN	RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN SIMPLE (kg/cm ²)
Resistencia muy alta	> 2250
Resistencia alta	1120 – 2250
Resistencia media	560 – 1120
Resistencia baja	280 – 560
Resistencia muy baja	< 280

Como se dijo anteriormente la resistencia de la roca madre se comunica al agregado, aunque debe darse especial cuidado al hecho de que los procesos de explotación y triturado pueden disminuirla.

El módulo de elasticidad del concreto, depende del módulo de elasticidad del agregado.

Tenacidad

La tenacidad es la resistencia que ofrece el agregado al impacto, y tiene mucho que ver con el manejo de los agregados, porque si estos son débiles al impacto pueden alterar su granulometría y por consiguiente la calidad de la obra.

Adherencia

Ya sea en el concreto hidráulico o en el concreto asfáltico la adherencia del agregado es una característica importante, porque la resistencia y durabilidad de estos concretos depende en gran parte del poder de aglutinamiento del agregado con el material cementante (pasta de cemento o asfalto). La adherencia del agregado depende de la forma, textura y tamaño de las partículas.

No existe un método para medir la adherencia de un agregado con el cemento, pero la adherencia de un agregado con el asfalto si puede medirse mediante una norma británica que consiste esencialmente en determinar el grado de amarre del asfalto con los agregados que se van a utilizar en el campo.

Dureza

Es la resistencia que ofrece el agregado a la acción del roce y al desgaste diario. Los agregados empleados en carreteras, y pisos, deben ser especialmente resistentes al desgaste.

Para determinar esta propiedad se emplea el ensayo de resistencia al desgaste en la máquina de los Angeles, ensayo descrito en las normas NTC 90 y 98, y que tiene en cuenta la gradación y tamaño del material, por lo que es necesario hacer una granulometría previa con el fin de determinar la gradación del ensayo que mejor represente al agregado.

Según la gradación serán los tamaños y pesos de las muestras de agregado que va a ensayarse y la carga abrasiva (número de esferas) y el total de revoluciones a las cuales se somete la muestra.

Se obtiene así un porcentaje de desgaste, que se compara con el valor dado por la especificación. La dureza del agregado depende de su constitución mineralógica y de su procedencia.

Sanidad de los agregados

La sanidad de los agregados se refiere a su capacidad para soportar cambios excesivos de volumen por la acción del intemperismo.

La capacidad del agregado para soportar los cambios de condiciones ambientales depende de su procedencia, granulometría, forma, textura y porosidad.

Para determinar la sanidad de los agregados, se realiza en el laboratorio una prueba, según la norma Icontec 126, que consiste esencialmente en someter los agregados separados por tamaños a la saturación en una solución de sulfato de sodio o sulfato de magnesio y después a un secado en el horno. Estas acciones constituyen un ciclo. Generalmente se efectúan cinco ciclos; al finalizar el último ciclo se elimina el sulfato y, seco el material, se procede a hacer análisis cualitativo y cuantitativo para determinar el porcentaje del agregado no desgastado por la acción del sulfato.

El ensayo pretende reproducir en forma acelerada la acción de los procesos de calentamiento, enfriamiento, humedecimiento, secado, congelamiento y deshielo, pues cuando el agua se encuentra en un poro pequeño (diámetro menor de 4 micras) no puede salir fácilmente, pues ha aumentado su volumen en un 9% al congelarse y entonces produce presión en el interior de la partícula que puede agrietarla, así el sulfato presente en los poros cristaliza al evaporarse el agua por el secado, creando presiones en el interior de la partícula que pueden equipararse a la acción del congelamiento del agua.

Una baja resistencia del agregado al intemperismo compromete la durabilidad de la obra, que no sólo afecta su aspecto superficial (descascaramiento) sino su estabilidad por agrietamientos internos.

Presencia de Sustancias Perjudiciales

Contenido de arcilla y material con diámetro inferior a 0.074 mm.

Los limos, arcillas y polvos procedentes de la trituración de las rocas con tamaños menores de 0.074 mm de diámetro son perjudiciales si se encuentran en un alto porcentaje en los agregados. La razón radica especialmente en que por ser tamaños menores que los granos del cemento, se encuentran recubriendo los agregados más gruesos impidiendo una buena adherencia entre éstos y la pasta de cemento.

Algunos tipos de arcilla, al entrar en contacto con el agua producen fenómenos de expansión o encogimiento, que generan presiones internas que pueden agrietar la estructura.

Por otro lado, la presencia de estas partículas con su incremento de superficie específica aumenta la demanda de agua en las mezclas de concreto y por consiguiente la cantidad de cemento.

El procedimiento para determinar el porcentaje de material que tiene un diámetro menor de 0.074 mm (tamiz No.200) es la granulometría descrita en la norma NTC 78. Para determinar si el material es limo o arcilla se emplean los ensayos de equivalente arena o los límites de Atterberg.

Contenido de materia orgánica

La materia orgánica es producto de la descomposición de los vegetales y sustancias carbonosas, cuya composición química es ácido tánico y sus derivados conocidos con el nombre de humus.

Cuando la presencia de humus es alta, especialmente en las arenas que por su tamaño suelen retener más materia orgánica, se impide total o parcialmente el fraguado del cemento.

Para determinar el contenido de materia orgánica de las arenas, se ejecuta un ensayo cualitativo, según la norma NTC 127, comparando la coloración que produce la muestra de arena al agregarle una solución de hidróxido de sodio al 3%, con una tabla de colores cuyo resultado es un número que indica el color de referencia.

La norma NTC 127 especifica la forma de realizar el ensayo y la NTC 174, especifica el valor que debe dar el ensayo para la aceptación o rechazo de la arena.

La presencia de otras partículas como terrones de arcilla, carbón, madera, lignito, mica, pueden disminuir la resistencia del concreto, o poner en peligro su durabilidad.

CARACTERÍSTICAS Y ESPECIFICACIONES DE LOS AGREGADOS Y SU INFLUENCIA EN LAS OBRAS DE INGENIERÍA

Pavimentos

El pavimento es la superestructura de la obra vial que hace posible el tránsito de los vehículos con la comodidad, seguridad y economía previstas en el proyecto.

Los pavimentos se dividen en flexibles y rígidos, definidos así por las características y estructuración de los materiales que los constituyen.

Los pavimentos flexibles están formados en general por sub-base, base y capa de rodadura. En la base y sub-base se emplean agregados pétreos. La capa de rodadura se fabrica con agregados pétreos y asfalto.

Los agregados utilizados en cada capa deben ser de mejor calidad a medida que se acerca a la superficie, porque los esfuerzos producidos por los vehículos son altos en la capa de rodadura y disminuyen con la profundidad. Estos pavimentos se denominan flexibles porque admiten algunos grados de deformación.

Los pavimentos rígidos están compuestos por una sub-base y una losa de concreto que debe absorber los esfuerzos transmitidos por los vehículos, por lo que debe ser resistente a los esfuerzos de flexión y descansar sobre una superficie uniforme, la sub-base, que debe ser de material granular.

En las tablas No.7 y No.8 se esquematizan las funciones que deben cumplir las diferentes capas de los pavimentos y las características de los agregados que se relacionan con ellos.

TABLA No.7. PAVIMENTO FLEXIBLE (S)

NOMBRE DE LA CAPA	FUNCIONES PRINCIPALES	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS
Capa de Rodadura	<p>Recibir y transmitir esfuerzos incluyendo la fricción rueda-superficie.</p> <p>Proveer una superficie impermeable</p> <p>Proporcionar una superficie que ofrezca seguridad y confort</p> <p>Prestar estas funciones durante la vida de servicio</p>	<p>Dureza, desgaste, gradación, densidad, porosidad, limpieza, rugosidad, forma de partículas</p> <p>Gradación</p> <p>Rugosidad, resistencia al pulimiento</p> <p>Solidez, gradación y absorción</p>
Base y Sub-base	<p>Recibir y absorber y transmitir esfuerzos en magnitud controlada</p> <p>Proporcionar drenaje adecuado</p> <p>Prestar estas funciones durante la vida de servicio</p>	<p>Dureza, desgaste, gradación, densidad, porosidad, limpieza, rugosidad, forma de partículas</p> <p>Gradación</p> <p>Gradación, solidez, absorción</p>

TABLA No. 8. PAVIMENTO RÍGIDO (S)

NOMBRE DE LA CAPA	FUNCIONES PRINCIPALES	CARACTERÍSTICAS DE LOS AGREGADOS
Losa de Concreto	<p>Absorber esfuerzos de compresión y flexión</p> <p>Proporcionar una superficie impermeable, de textura adecuada</p> <p>Absorber esfuerzos, debidos a cambios de temperatura</p> <p>Resistir agentes climáticos</p>	<p>Dureza, desgaste, forma de partículas, rugosidad, gradación, densidad, absorción, limpieza</p> <p>Gradación, rugosidad, desgaste, resistencia al pulimiento</p> <p>Forma de partículas, limpieza, coeficiente de expansión térmica</p> <p>Solidez, porosidad, composición mineralógica.</p>
Sub-base	Controlar cambios de volumen, prevenir el bombeo (salida de finos con el agua por las juntas), permitir el drenaje, dar apoyo uniforme a las losas	Gradación, limpieza, dureza, solidez, absorción

A continuación se relacionan las principales características de los agregados que determinan la calidad del pavimento.

Granulometría

En la construcción de las diferentes capas del pavimento, la granulometría de los agregados juega un papel primordial en su comportamiento y durabilidad. Una buena gradación implica un mejor acomodamiento de las partículas y una mayor resistencia a los esfuerzos de flexión y compresión. Esto ha llevado a recomendar el uso de determinadas gradaciones según que la estructura a construir sea afirmado, sub-base, base, o carpeta asfáltica. Normalmente, la entidad contratante de una obra especifica la franja granulométrica dentro de la cual debe estar la gradación del agregado o agregados que se van a utilizar.

En las tablas No. 9, No.10 y No.11 se dan algunos ejemplos de granulometrías que según el Instituto de Vías INVÍAS 96 se deben cumplir cuando se utilizan agregados en la construcción de sub-bases, bases y afirmados.

TABLA No. 9. GRANULOMETRÍA PARA MATERIAL DE SUB-BASE (INVÍAS 1996)

TAMIZ	% que pasa
2"	100
1-1/2	70-100
1"	60-100
1/2	50-90
3/8	40-80
Nº4	30-70
Nº10	20-55
Nº 40	10-40
Nº200	4-20

TABLA No.10. GRANULOMETRÍAS PARA MATERIAL DE BASE GRANULAR (INVÍAS 1996)

Tamiz	% que pasa	
	BG-1	BG-2
1/2"	100	—
1"	70-100	100
3/4 "	60-90	70-100
3/8"	45-75	50-80
Nº 4	30-60	35-65
Nº 10	20-45	20-45
Nº40	10-30	10-30
Nº200	5-15	5-15