

APUNTE ELABORADO POR LA CÁTEDRA

CONSTRUCCIONES 2

Titular: Ing. Rudy O. Grether

PLAN DE ESTUDIOS 2007

UNIDAD N° 2

AUTORES:

Ing. Rudy Omar Grether

Arq. Esteban Lucas Tomatis

“AGREGADOS PARA MORTEROS Y HORMIGONES”

AGREGADOS PARA MORTEROS Y HORMIGONES

INTRODUCCIÓN

El agregado es el material granular, generalmente inerte, resultante de la desintegración natural y/o desgaste de rocas, o que se obtiene mediante la trituración de ellas, de escorias siderúrgicas convenientemente preparadas para tal fin o de otros materiales suficientemente duros, que permiten obtener partículas de forma y tamaños estables, destinadas a ser empleadas en hormigones (IRAM 1627:1997).

La importancia del uso, del tipo y de la calidad correcta del agregado (árido) no se puede subestimar. Los agregados fino y grueso ocupan cerca del 60 % al 75 % del volumen de hormigones y morteros (70 % a 85 % de la masa) e influyen fuertemente en las propiedades tanto en estado fresco como endurecido, en las proporciones de la mezcla y en la economía de los mismos.

Algunos depósitos naturales de agregado, llamados de gravas de mina, consisten en grava y arena que se pueden usar inmediatamente en el hormigón, después de un procesamiento mínimo. La grava y la arena naturales normalmente se excavan o dragan de la mina, del río, del lago o del lecho marino. La piedra triturada se produce triturando la roca de cantera, roca redondeada, guijarros o gravas grandes. La escoria de alto horno enfriada al aire y triturada también se usa como agregados fino y grueso.

El hormigón reciclado o el hormigón de desperdicio triturado son una fuente viable de agregados y una realidad económica, especialmente donde los buenos agregados son escasos.

IMPORTANCIA DE LOS AGREGADOS EN LOS MORTEROS Y HORMIGONES

Un agregado de buena calidad para un mortero u hormigón, está conformado por partículas resistentes, durables, limpias, bien graduadas y no lajosas, que soporten adecuadamente ciclos de humedecimiento y secado, con textura superficial algo rugosa, que no contengan constituyentes que interfieran en la hidratación del cemento o reaccionen con los productos de hidratación del mismo para producir una excesiva expansión. La influencia de los agregados sobre las propiedades del hormigón dependerá del nivel de resistencia de que se trate.

Propiedades del hormigón influenciadas por las características de agregado.

PROPIEDAD DEL HORMIGON	PROPIEDAD RELEVANTE DEL AGREGADO
Resistencia	Resistencia , textura superficial, tamaño máximo, forma de la partícula, limpieza
Peso Unitario	Densidad, tamaño máximo, granulometría, forma de la partícula
Módulo de Elasticidad	Módulo de elasticidad, coeficiente de Poisson
Creep y Contracción	Módulo de elasticidad, forma, granulometría, limpieza tamaño máximo, minerales arcillosos
Conductividad térmica	Conductividad térmica
Resistencia a la congelación y deshielo	Porosidad, permeabilidad, sanidad, resistencia a la tracción, estructura de poros, grado de saturación, textura y estructura, minerales arcillosos
Resistencia a la abrasión	Dureza
Resistencia a la temperatura	Coefficiente de dilatación térmica
Reacción álcali-agregado	Presencia de constituyentes silíceos deletéreos
Resistencia al mojado y secado	Estructura de poros, módulo de elasticidad
Economía	Forma, graduación, tamaño máximo, procesamiento requerido, disponibilidad
Calor específico	Calor específico

DEFINICIÓN DE AGREGADO

Es el material granular resultante de la desintegración natural y desgaste de las rocas o que se obtiene mediante la trituración de ellas, de escorias siderúrgicas o de otros materiales suficientemente duros, que permitan obtener partículas de forma y tamaño estable.

OTRAS DEFINICIONES

AGREGADO LIVIANO: es el agregado constituido por partículas naturales o artificiales, cuyo peso unitario es menor de 800 Kg/m³ para el agregado grueso, y menor de 1125 Kg/m³ para el agregado fino.

ARENA NATURAL: es el agregado fino resultante de la desintegración natural de las rocas.

ARENA NORMAL: es la arena silíceas de granos redondeados, cuya granulometría y características están determinadas en la norma IRAM 1633.

ARENA DE TRITURACION: es el agregado fino de partículas angulosas, resultante de la trituración de las rocas.

GRAVA: es el agregado grueso proveniente de la desintegración natural de las rocas.

GRAVA PARTIDA: es el agregado grueso proveniente de la trituración artificial de la grava y en el que prácticamente todas sus partículas tienen una cara obtenida por fractura.

PIEDRA PARTIDA: Es el agregado proveniente de la trituración artificial de gravas y cuyas partículas tienen prácticamente la totalidad de sus caras obtenidas por fractura.

CLASIFICACIONES

Existen diversas clasificaciones de los agregados, según distintos criterios (origen, tamaño, densidad, etc.), pero una forma de clasificación divide a los agregados en convencionales y no convencionales.

Agregados convencionales

- Arenas:
 - Arenas naturales:
 - De río
 - De cantera
 - De mar
 - De médanos
 - Arenas de trituración
- Agregados gruesos:
 - Piedra Partida
 - Canto rodado

Agregados no convencionales

- Escorias de alto horno
- Arcilla expandida
- Perlita
- Piedra pómez
- Vermiculita
- Cenizas de carbón mineral
- Cenizas de carbón vegetal
- Cenizas varias
- Desechos industriales
- Poliestireno expandido en copos

CLASIFICACIÓN SEGÚN TAMAÑO:

De acuerdo a su tamaño los agregados se dividen en:

- Agregados finos
- Agregados gruesos

Agregados finos (Arenas): Son las rocas natural o artificialmente trituradas que constituyen partículas que pasan el tamiz N° 4 (4,8 mm) y son retenidas por el tamiz N° 200 (74µ)

Agregados gruesos: Son las partículas que retiene el tamiz N° 4 (4,8 mm) y son retenidas por el tamiz N° 200 (74µ).

CLASIFICACIÓN SEGÚN LA DENSIDAD

- **Normales:** Son los agregados de uso más generalizado, y en el 90 % de las construcciones se los utiliza. El peso unitario está comprendido entre 1000 a 1800 kg/m³.
- **Livianos:** Su peso unitario está por debajo de los 1000 kg/m³ (700 a 800 kg/m³) y con su uso se obtienen hormigones livianos.
- **Pesados:** Tienen un peso unitario superior a los 2000 kg/m³ y provienen de rocas que contienen elementos pesados, por ejemplo, hierro, bario, plomo. Se los emplea para la elaboración de hormigones

pesados para pantallas contra radiaciones.

CLASIFICACIÓN POR SU COMPOSICIÓN MINERALÓGICA

Se da una clasificación de los agregados naturales según el tipo de roca: ígneas, sedimentarias, o metamórficas.

CLASIFICACIÓN POR EL MÉTODO DE OBTENCIÓN

Según el procedimiento de producción, los agregados pueden clasificarse como: naturales o artificiales. En la segunda categoría se incluyen los agregados producidos con minerales tratados térmicamente, por trituración y por reciclado.

CLASIFICACIÓN POR SU TAMAÑO (IRAM 1627:1997)

Agregado grueso: es el agregado que de acuerdo con su tamaño nominal, queda retenido en el tamiz IRAM 4,75 mm (N° 4).

Agregado fino: es el agregado que pasa por lo menos el 95% el tamiz IRAM 4,75 mm (N° 4), y queda retenido en el tamiz IRAM 75 µm (N° 200).

PROPIEDADES DE LOS AGREGADOS

Los requisitos de idoneidad de los agregados de densidad normal para hormigones están estipulados en el Reglamento CIRSOC 201, Capítulo 6 Materiales, Apartado 6.3

REQUISITOS DE LOS AGREGADOS PARA HORMIGON

Los requisitos de calidad establecidos para los agregados se pueden separar en dos grupos:

Grupo A: Las partículas deben ser duras, resistentes y durables.

Grupo B: Las partículas deben estar limpias, libres de impurezas, de tamaño y forma adecuadas.

Si el material en estudio no reúne algunas de las características del Grupo A, no podrá ser empleado como agregados para hormigón, por ser estas características determinantes, y ser posible modificarlas. Si en cambio no se cumplen las condiciones del Grupo B, las mismas se pueden corregir, por lavado o cribado.

Características del Grupo A

Resistencia

La resistencia del agregado puede evaluarse de dos formas, dependiendo si se conoce la roca madre, o si se trata de materiales naturales granulares sueltos. En el primer caso pueden realizarse ensayos de compresión de la roca sobre probetas cúbicas o cilíndricas en estado saturado y con la dirección de aplicación de la carga paralela a los plano de clivaje. Un valor recomendado de resistencia a compresión es de 60 MPa. La resistencia a tracción es débil y está comprendida entre 1 y 8 MPa.

Cuando se presentan agregados de los cuales no se pueden obtener probetas, se debe plantear otra forma de evaluación. En el caso de agregados finos, es posible realizar un ensayo de resistencia estructural, que consiste en moldear probetas de mortero de arena en estudio y comparar los valores de resistencia de esta serie de mortero con una serie patrón de idénticas características, elaborada con arena normal (IRAM 1633:1965).

En el caso de los agregados gruesos no existen ensayos normalizados, pero desde el punto de vista práctico, se puede resolver de igual forma, comparando con un hormigón elaborado con un agregado grueso de reconocidas buenas características. En este caso las dos series tienen idéntica relación a/c, tipo

de arena, contenido de cemento y proporciones entre agregado fino y grueso.

Partículas Blandas

Otro aspecto que debe considerarse cuando se explota una cantera, es que en el proceso de trituración y producción de agregados con frecuencia se incorporan partículas de menor resistencia, porque poseen fisuras o se encuentran alterados sus minerales. Por este motivo, existen en el agregado partículas blandas o descompuestas (IRAM 1644:1967), que en el hormigón constituyen puntos débiles y concentradores de tensiones. Para la determinación del contenido de partículas blandas o descompuestas se separan aquellas partículas en las que se nota un cambio de coloración o de textura y se prueba su resistencia con un martillo liviano o también en forma manual. Las partículas descompuestas ceden con relativa facilidad a la prueba manual de su resistencia y son separadas. Para los agregados finos, se incluyen en esta clasificación a pizarras, yeso, mica, fragmentos escamosos desmenuzables o partículas cubiertas de películas superficiales.

Dureza - Desgaste

La dureza de los agregados es una característica que cobra importancia en obras tales como conductos, canales y vertederos de diques en los cuales el agua transporta materia sólida en suspensión, o en los disipadores de energía por problemas de cavitación, o en playas industriales y pavimentos, sometidos a la acción de neumáticos. La dureza del hormigón está vinculada principalmente a la dureza de las partículas de los agregados, en especial del agregado grueso. Existe un ensayo de frotamiento para realizar, sobre muestras de rocas y medir la pérdida de material frente a un determinado número de vueltas, es el ensayo de Los Ángeles (IRAM 1532:2000).

Durabilidad

La durabilidad puede definirse como la propiedad que presentan los materiales de resistir las acciones del medio ambiente (humedad, gases, temperatura), o también como una cualidad del material de conservar sus propiedades en el transcurso del tiempo. Si se pretende que el hormigón sea un material durable, deberán serlo también los agregados que lo componen, ya que estos constituyen aproximadamente el 75% de su volumen.

Los principales mecanismos que provocan la destrucción de las rocas y de los hormigones son los fenómenos de congelación – deshielo (heladicidad), los de mojado-secado en soluciones salinas o agua, y las reacciones químicas con algunos compuestos del cemento (Ej. Reacción álcalis-agregados). En estos mecanismos, los poros que más importancia revisten son aquellos extremadamente pequeños (aprox. 4 μm) y los poros vinculados con el exterior ya que permiten que el agua se introduzca dentro del agregado.

Heladicidad: Cuando la temperatura del material desciende debajo de 0 °C, el agua presente en los poros comienza a congelarse generándose un aumento de volumen del orden del 10%. Este incremento de volumen provoca un aumento en la presión hidráulica del agua sin congelarse, que origina tensiones de tracción, que pueden llegar a destruir el hormigón.

Otro mecanismo que genera una fuerte acción destructiva son las aguas con sales en solución, que se introducen en la estructura porosa de los agregados, cristalizan cuando se produce el secado por evaporación, incrementándose el volumen y generando presiones internas de cristalización.

En cambio, en los basaltos el agua provoca el hinchamiento de arcillas que se encuentran en su interior, con importantes expansiones. En algunas estructuras ejecutadas con basaltos contaminados con arcilla, se ha alterado el hormigón luego de más de 20 años de servicio, por el desarrollo de tensiones de tracción elevadas que se originan por la expansión del agregado.

La durabilidad como consecuencia de las posibles reacciones del agregado con el cemento se analiza en el punto de sustancias reactivas. Los problemas de durabilidad de origen químico más importantes, resultan de la reacción entre la sílice activa, presente en algunos agregados y los álcalis (óxidos de sodio y potasio) contenidos en el cemento. También, se han identificado algunas reacciones expansivas como ser la piritita (SFe), que en presencia de hidróxido de calcio se transforma en sulfato ferroso y luego hidróxido férrico, causando reventones y manchas.

Reacción álcali-agregado

Esta reacción, que provoca expansiones excesivas en el mortero u hormigón que conducen a su destrucción, se produce entre ciertos componentes mineralógicos de los agregados y los álcalis del cemento (óxido de sodio y óxido de potasio) cuando se dan ciertas condiciones de humedad (contacto permanente con agua, contacto con suelos húmedos, exposición prolongada a atmósferas húmedas). Los minerales potencialmente reactivos son:

Opalo (SiO₂ H₂O)

Etanita cuarzosa

Calcedonia

Riolitas, andesitas, tacitas y otros

Álcalis del cemento: ONa₂ y OK₂ (deben estar en un % > al 0,6%)

En el proceso de hidratación del cemento se hidratan también sus álcalis produciéndose una solución fuertemente alcalina y cáustica que ataca la silice constitutiva de los minerales nombrados (reactivos) formándose hidrosilicatos de sodio y potasio que forman un gel que posee una membrana osmótica (permite ingresar agua pero no salir). Esta gel es muy ávida de agua y aumenta su volumen de manera desmedida produciéndose la rotura del hormigón.

Para que se produzca la reacción se reitera que se deben dar las siguientes condiciones simultáneamente:

- ◇ Agregados con minerales potencialmente reactivos
- ◇ Alcalis del cemento en un porcentaje mayor al 0,6%
- ◇ Condiciones de humedad elevadas

Ante la presunción de presencia de agregados potencialmente reactivos, el primer paso es efectuar un análisis petrográfico que permita confirmar la presencia o bien efectuar el ensayo por el Método de la barra de mortero, que consiste en preparar con los agregados correspondientes barras de morteros y verificar su expansión la cual debe ser < 0,5mm a los tres meses y < 1mm a los seis meses.

Características del Grupo B

Material que pasa el tamiz de 75 µm (polvo):

Los agregados deben de estar limpios, el polvo es un material formado por partículas menores que el tamiz IRAM 75 µm (N° 200). Por diversas circunstancias el polvo se adhiere a la superficie de las partículas de agregado. Es frecuente que las arenas de lechos de ríos o playas estén impregnadas de este material fino. Estas partículas pueden aparecer entre los agregados en el proceso de trituración. Otro de los orígenes más frecuentes de su presencia en obras de importancia se debe a que los agregados son transportados mediante palas de arrastre con la incorporación de partículas del suelo.

Algunas veces el polvo no se encuentra separado de las partículas sino que esta adherido firmemente. Esta adherencia se incrementa cuando el agregado es de trituración, ya que la superficie es rugosa. También cuando el agregado se encuentra expuesto a la intemperie y se moja alternativamente con la lluvia. Todo esto hace que la película superficial resulte difícil de desprender durante el mezclado. La adherencia de la pasta a la superficie de los agregados, que da origen a la aglomeración, se realiza a través de la película de polvo, disminuyendo la resistencia de la interfaz, por lo cual la resistencia mecánica del hormigón disminuye, y en especial, la resistencia a tracción.

Sustancias Perjudiciales

Otro de los factores que afectan la limpieza de los agregados, principalmente los gruesos, son los terrones de arcilla, que resultan partículas desmenuzables (IRAM 1512:2006) y que aparecen debido a que los materiales arcillosos se acumulan frecuentemente en las grietas de las canteras. Cuando el agregado con los terrones arcillosos es empleado en una estructura de hormigón pueden presentarse dos variantes:

- Durante el mezclado con agua los terrones se disgregan, transformándose en polvo de alta superficie específica.
- Los terrones no se disgregan al mezclarse con el agua y quedan como tales. En condiciones húmedas dentro de la masa de hormigón al cabo de unos días pierden su poder cementante convirtiéndose en partículas blandas.

Materia Orgánica

Otro tipo de impureza es la materia orgánica, en su mayoría de origen húmico la cual retarda los procesos

de hidratación del cemento. Esto trae aparejado una demora en el fraguado y un retardo en la adquisición de resistencia, desconociendo si el hormigón alcanzará la resistencia prevista en los cálculos para poder seguir avanzando en las etapas constructivas programadas.

Sales Solubles

La presencia de sales solubles en los agregados origina diversos problemas en el hormigón. Según su composición química los sulfatos reaccionan con el aluminato tricálcico del cemento provocando expansiones, los cloruros atacan las armaduras y elementos metálicos embebidos en el hormigón y los carbonatos o los bicarbonatos aumentan el pH del hormigón lo que puede ocasionar un retardo del proceso de hidratación. Además, deben mencionarse algunos problemas de orden estético ya que el agua solubiliza las sales y al evaporarse las arrastra a la superficie, provocando manchas denominadas eflorescencia.

Otras Impurezas

Comprenden partículas livianas, carbonosas y arcilla, estas impurezas traen aparejado, sino son convenientemente limitadas, una reducción en la sección útil del hormigón y problemas originados por concentración de tensiones. Las materias carbonosas merecen un comentario adicional, son partículas desmenuzables, poco resistentes y algunas veces contienen azufre. Generalmente son de un color oscuro que puede llegar a modificar el aspecto del hormigón por la presencia de manchas oscuras en la superficie.

SUSTANCIAS PERJUDICIALES	VALORES MAXIMOS		RIESGOS AL NO CUMPLIR LAS LIMITACIONES
	AGREG. FINOS	AGREG. GRUESOS	
Finos que pasan el tamiz 200	< 3% p/ hormigones sujetos a desgaste superficial <5% p/ otros hormigones	< 1%	Mayor agua de amasado Menor adherencia pasta-agregado y pasta-armadura Menor resistencia
Materias carbonosas	Para hormigones a la vista <0,5% y en los demás casos <1%	Para hormigones a la vista <0,5% y en los demás casos <1%	Manchas Anomalías en el tiempo de fraguado Menor resistencia al congelamiento y deshielo Partes blandas (Menor resistencia)
Partículas desmenuzables (terrones de arcilla)	<1%	<0,25%	Oquedades Menor resistencia
Materia orgánica	<500 partes por millón	<500 partes por millón	Interacción con la cal liberada en la hidratación del cemento Alteraciones en el fraguado y endurecimiento Menor resistencia
Sustancias reactivas	Ver reacción álcali-agregado		Reacción álcali-agregado
Sales solubles (sulfatos y cloruros)	La cantidad aportada por los agregados no deberá incrementar el contenido de cloruros y sulfatos del agua de amasado más allá de lo establecido Art. 6.5		Alteraciones en el fraguado y endurecimiento Afectación a la durabilidad

FORMA DE LOS AGREGADOS

Partículas lajosas y elongadas

La forma de la partícula tiene suma importancia en la trabajabilidad del hormigón. Las partículas con formas chatas y alargadas (lajas) y aquellas finas y alargadas (elongadas) son muy difíciles de mover, pues se traban y la trabajabilidad del hormigón se ve reducida.

Si se realiza una estructura con este tipo de agregado, las lajas tienen incidencia en las propiedades del hormigón. Durante la compactación del hormigón, una laja o partícula elongada al apoyarse sobre otras dos partículas cortas deja un vacío, y al estar colocadas horizontalmente una excesiva presencia de las mismas

puede provocar, una vez endurecido el hormigón una notable disminución de la resistencia a la flexión. Además, durante la compactación dentro de la masa de hormigón existe un movimiento ascendente de agua, al encontrar una laja, en general no la rodea y queda retenida debajo de la laja. Al evaporarse el agua quedará el vacío correspondiente. También, en estructuras de poco espesor y de gran superficie, como por ejemplo losas o pavimentos, las lajas que se encuentran cercanas a la superficie se quiebran y saltan ante las cargas del tránsito.

Por estos motivos, se debe tratar de que el agregado este constituido por partículas de formas cúbicas y esféricas.

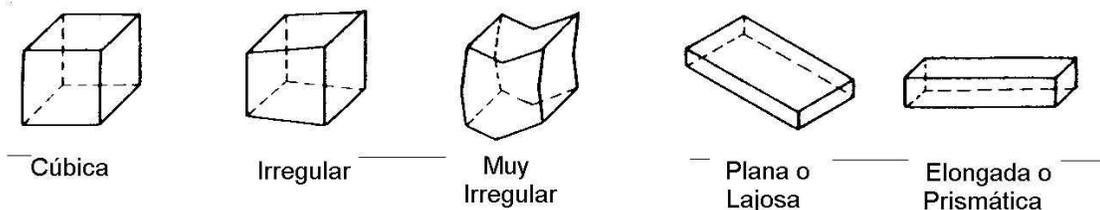
Se puede establecer una clasificación de la forma de las partículas como:

- **Redondeada:** totalmente desgastadas por el agua o completamente limadas por frotamiento (grava de río, arena del desierto o de playa).
- **Irregular:** irregularidad natural, o parcialmente limadas por frotamientos con bordes redondeados.
- **Escamosa:** material en el cual el espesor es pequeño en relación a las otras dos dimensiones.
- **Angular:** posee orillas bien definidas que se forman en la intersección de caras más o menos planas (rocas trituradas).
- **Elongadas:** material generalmente angular en el que la longitud es considerablemente mayor que las otras dos dimensiones.

Redondeada



Angular



Formas de los agregados

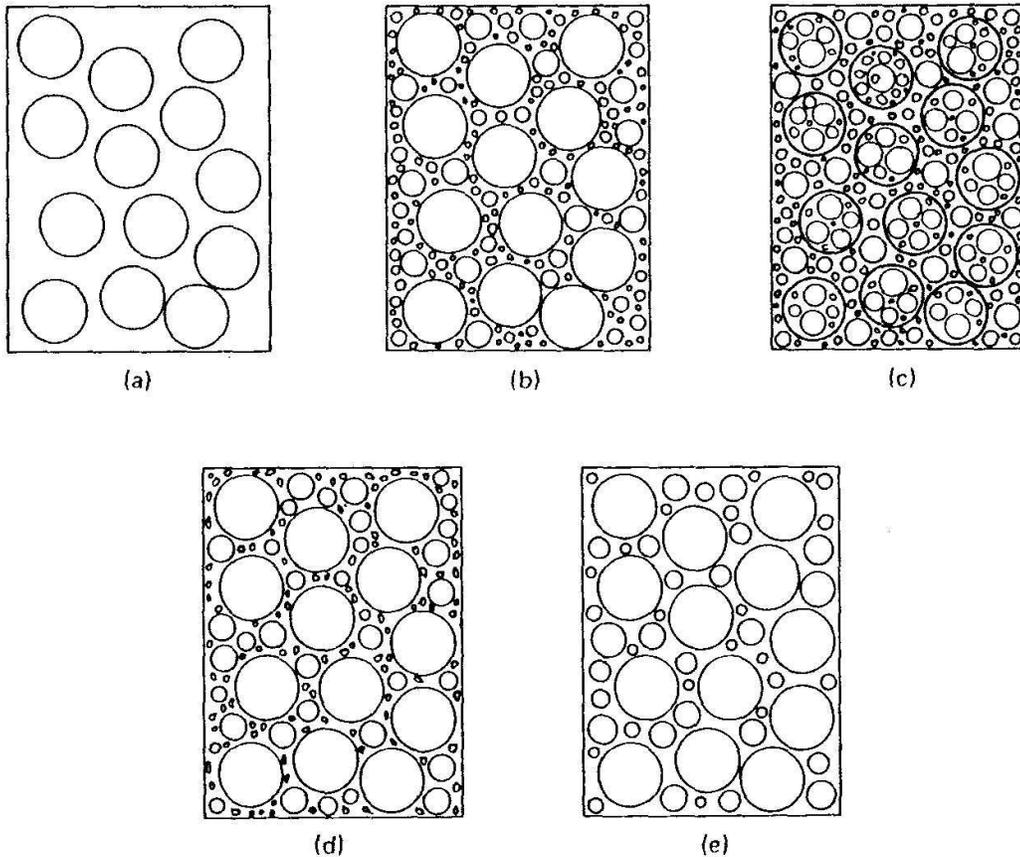
Textura Superficial

La textura superficial de las partículas es otro aspecto a analizar en el agregado, y se basa en el grado en que la superficie de una partícula es: pulida o lisa; suave o áspera. La textura áspera produce una mayor fuerza de adhesión entre las partículas y la pasta de cemento endurecida. También influyen sobre el contenido de agua de un hormigón en estado fresco, especialmente cuando se trata de agregado fino.

GRANULOMETRIA

La distribución del tamaño de partículas o la granulometría de un agregado es la característica que más influye en la cantidad de pasta, para obtener una determinada trabajabilidad. Considerando que el cemento es el más costoso de los componentes es preferible minimizar su uso, disminuyendo la cantidad de pasta sin afectar la trabajabilidad, la resistencia y la durabilidad del hormigón. La importancia de la granulometría del agregado se aprecia si se considera al hormigón como un conjunto no muy compacto de partículas adheridas entre sí con una pasta de cemento que también llena los vacíos existentes entre las mismas.

Cuando las partículas presentan un tamaño uniforme, el volumen de pasta es elevado (caso a), que se reduce sensiblemente cuando se utilizan distintos tamaños (caso b), o cuando se anula el tamaño máximo (caso c).



Representaciones esquemáticas de la granulometría de agregados: a) tamaño uniforme, b) granulometría continua, c) reemplazo de tamaños pequeños por tamaños grandes, d) granulometría discontinua y e) granulometría sin finos.

El máximo de vacíos para partículas esféricas se produce cuando el diámetro de las mismas es único. En estas condiciones se tiene 50 % del volumen lleno y otro 50 % de volumen de vacíos. La pasta debe rodear y unir a las partículas y llenar los espacios vacíos, por lo que se deduce que el volumen de pasta está relacionado con la distribución de tamaños de las partículas.

Los vacíos logrados, pueden rellenarse con partículas más pequeñas a fin de reducir el volumen de pasta. En consecuencia para lograr hormigones de gran estabilidad volumétrica, bien graduados y económicos, es necesario emplear agregados perfectamente graduados, donde las más pequeñas van haciendo de rodamiento a las mayores. La mezcla tendrá así una mayor movilidad y será más trabajable. Si las partículas fuesen esferas de distinto diámetro, caso ideal, ello arrojaría un mínimo contenido de cemento a emplear.

ANALISIS GRANULOMETRICO

Definición y Tamices de Ensayo

La granulometría de los agregados es la distribución por tamaño de las partículas que constituyen un material granular y se establece para una serie determinada de tamices el material que pasa o queda retenido en forma acumulada.

Los tamices son de aberturas cuadradas formadas por alambres que se cruzan y las dimensiones que se especifican corresponden a la distancia entre los alambres. Existen diferentes series de tamices, pero la que se emplea para hormigones se detalla a continuación.

ASTM designa los tamices para agregados gruesos por la abertura de la malla en pulgadas, y para los correspondientes a las arenas, por el número de aberturas por pulgada cuadrada. La Norma IRAM especifica lo hace en milímetros y para los tamices con aberturas menores que 1 mm en micrones.

Serie de Tamices IRAM y ASTM

Abertura	
IRAM	ASTM
75.0 mm	3"
63.0 mm	2 ½" (*)
50.0 mm	2"
37.5 mm	1 ½"
26.5 mm	1" (*)
19.0 mm	¾"
13.2 mm	½" (*)
9.5 mm	3/8"
4.75 mm	N° 4
2.36 mm	N° 8
1.18 mm	N° 16
600 µm	N° 30
300 µm	N° 50
150 µm	N° 100
75 µm	N° 200

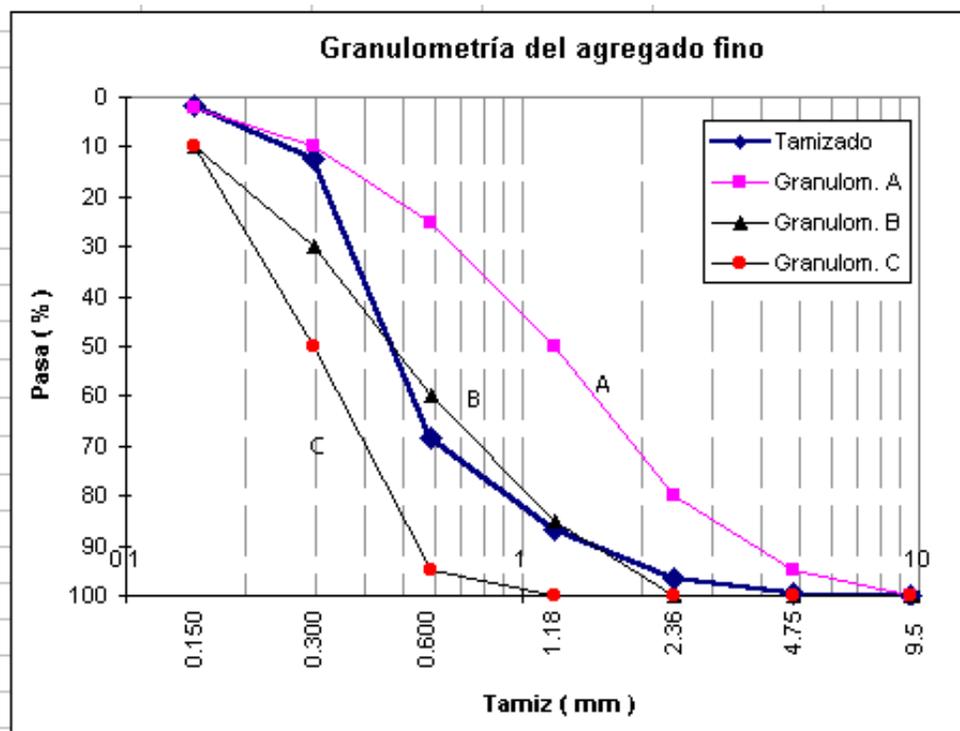
Nota: Los tamices indicados con (*) no forman la serie Abrams o del módulo de finura.

Representación Granulométrica

El análisis granulométrico puede ser graficado en el plano X-Y, tomando como abscisa los lados de las aberturas de malla de los tamices, en escala logarítmica; y como ordenada el porcentaje de material que pasa o es retenido en forma acumulada respecto del total. Al emplear una escala logarítmica para representar la abertura de malla, resulta que la separación entre tamices de la serie normal o de Abrams, es constante e igual a logaritmo de dos, ya que:

$$\text{Abertura tamiz } N = 2 \times \text{Abertura tamiz}(N-1)$$

$$\log (\text{Abertura tamiz } N) = \log (2) + \log [\text{Abertura tamiz}(N-1)]$$



Curva granulométrica

Tamaño Máximo de los Agregados

El tamaño máximo del agregado, influye en los requisitos de pasta y la granulometría óptima también depende de dicho tamaño. Se define como tamaño máximo al que resulta igual a la abertura de la malla del menor tamiz de la serie normal a través de la cual pasa en forma acumulada el 95 % del peso total del material o valor inmediato superior (IRAM 1627:1997). El tamaño nominal es aquel indicado por los dos tamices extremos, que representan al agregado en estudio, y en función de este, se establecen las curvas límites para agregados gruesos.

La adopción del tamaño máximo posible, tiene que ser compatible con las características de las estructuras a ejecutar. El CIRSOC 201 indica que el tamaño máximo del agregado no debe exceder: 1/5 de la menor dimensión del elemento estructural, 1/3 del espesor de la losa o 3/4 de la mínima separación libre horizontal o vertical de armaduras o entre dos grupos de barras paralelas en contacto directo, o del mínimo recubrimiento.

Módulo de Finura del Agregado

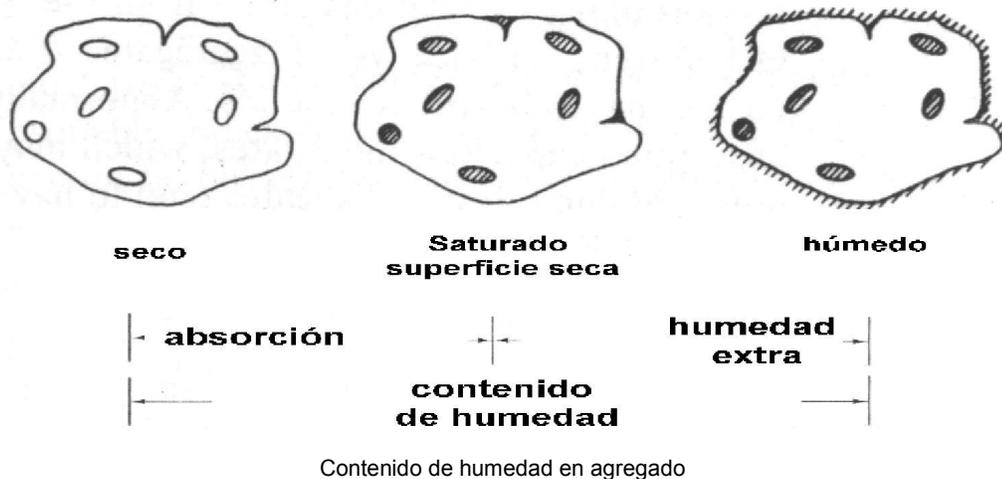
Este concepto expresa en forma práctica el grosor o finura del material, y no se puede usarlo para tener una idea de la distribución de tamaños de partículas del mismo. Dos agregados con distintas granulometrías pueden tener el mismo módulo de finura. Abrams, define como módulo de finura al número que resulta de dividir por 100 la suma de porcentajes retenidos en forma acumulada en los 10 tamices de la serie normal (IRAM 75 mm (3"), IRAM 37.5 mm (1 1/2"), IRAM 19 mm (3/4"), IRAM 9,5 mm (3/8"), IRAM 4,75 mm (N°4), IRAM 2,36 mm (N°8), IRAM 1,18 mm (N°16), IRAM 600 µm (N° 30), IRAM 300 µm (N° 50), IRAM 150 µm (N° 100)). El módulo de finura puede oscilar entre 0 y 10. Para los agregados finos, varía de 2,4 a 3,2; aunque las arenas de la zona del Río de la Plata tienen un valor de 1,6. Para los agregados gruesos, el módulo está comprendido entre 6 a 9. Las mezclas de agregados fino y grueso tienen un módulo de finura entre 3,2 y 6.

PROPIEDADES FÍSICAS DE LOS AGREGADOS

Contenido de Humedad

El agua puede ingresar al interior de las partículas de los agregados ya que éstos tienen una determinada porosidad constituida por poros permeables. Además, el agua puede quedar retenida en la superficie de las partículas formando una película adherida a la misma.

Según el grado de saturación que presenten los granos deben considerarse distintos estados. Los mismos cobran importancia en la elaboración de los hormigones, ya que existe una tendencia del agregado a absorber agua, tomando parte del agua de mezclado cuando está seco o parcialmente saturado, o de entregar agua a la mezcla cuando presenta humedad superficial. En el primer caso disminuye la razón a/c y la trabajabilidad de la mezcla. Los estados en que se pueden encontrar los agregados son ilustrados en la figura siguiente.



- Estado Seco (S): la humedad del agregado es eliminada totalmente mediante secado en estufa a 105 °C a hasta peso constante. Los poros permeables se encuentran vacíos. Este es un estado típico de laboratorio.
- Seco al aire: no existe humedad superficial y los poros permeables se encuentran parcialmente llenos de agua. Este estado es el que se encuentra habitualmente en la naturaleza. Es un estado intermedio entre el seco y saturado y superficie seca.
- Saturado y superficie seca (SSS) : no existe humedad superficial y los poros se encuentran llenos de agua. Estado de laboratorio.
- Saturado y superficie húmeda (SSH): existe una película superficial de agua y los poros se encuentran llenos de agua. Es un estado natural.

Absorción y Humedad Superficial

De los estados indicados en la figura anterior surgen dos características que cobran interés para la dosificación y/o la corrección de mezclas en obra: Absorción total y Humedad superficial

La absorción total es el máximo peso de agua que el agregado puede absorber. Se determina midiendo el incremento en peso de una muestra seca en horno después de sumergirla en agua durante 24 hs. Su valor es la relación del incremento de peso con respecto al peso de la muestra seca, expresada como porcentaje

$$A_{\text{total}} = 100 * [(P_{\text{sss}} - P_s) / P_s]$$

La humedad superficial es el agua en exceso que tiene el agregado con respecto a su estado saturado y superficie seca. Prácticamente será el agua que aportará a la mezcla.

$$H_{\text{superficial}} = 100 * [(P_{\text{ssh}} - P_{\text{sss}})/P_s]$$

Las normas IRAM 1520:2002 y 1533:2002 especifican los procedimientos para la determinación de la absorción total de agua de agregados finos y gruesos respectivamente.

Densidad de los Agregados

El agregado generalmente presenta poros permeables e impermeables, lo cual hace que el término densidad deba ser cuidadosamente definido. La densidad relativa absoluta se refiere al volumen del material sólido excluyendo todos los poros (permeables e impermeables) y se define como la relación del peso del cuerpo al peso de un volumen igual de agua destilada, a una temperatura normalizada. Para su determinación se pulveriza el material a fin de eliminar la porosidad. Este valor de densidad absoluta no interesa desde el punto de vista de la tecnología del hormigón, sólo se lo emplea para determinar la porosidad del agregado. La porosidad expresada en por ciento se puede obtener aplicando la siguiente expresión:

$$\text{Porosidad (\%)} = 100 \cdot (\text{Densidad absoluta} - \text{Densidad aparente}) / \text{Densidad absoluta}$$

Densidad Relativa

Es la relación de la masa, en aire, de un volumen unidad de un material permeable, incluyendo los vacíos permeables e impermeables, a una temperatura determinada, a la masa en aire de un volumen igual de agua pura.

Densidad Relativa Aparente

Es la relación de la masa, en aire, de un volumen unidad de la porción impermeable de un material, a una temperatura determinada, a la masa en aire de un volumen de agua pura. La norma IRAM indica que pueden calcularse las densidades correspondientes en estados secos y saturados con la superficie seca. La densidad aparente es la que se emplea en la dosificación de las mezclas ya que se considera que la pasta de cemento por su viscosidad no puede penetrar en los poros permeables.

Densidad del Agregado Grueso

El cociente de la expresión matemática de la densidad ya indicada puede hallarse prácticamente como el peso del agua desplazada por el material (principio de Arquímedes). A continuación se indican las expresiones para determinar la densidad y la densidad aparente.

$$\text{Densidad relativa seca} = P_s / (P_{\text{sss}} - P_a)$$

$$\text{Densidad relativa saturada y superficie seca} = P_{\text{sss}} / (P_{\text{sss}} - P_a)$$

$$\text{Densidad relativa aparente} = P_s / (P_s - P_a)$$

P_a = peso de la muestra seca en horno (105 °C)

P_{sss} = peso de la muestra saturada y superficie seca

P_a = peso de la muestra en agua

$$V = P_{\text{sss}} - P_a = \text{Vol}_{(\text{permeables e impermeables})} * \delta_{\text{agua}}$$

$$V = P_s - P_a = \text{Vol}_{(\text{permeables})} * \delta_{\text{agua}}$$

Densidad del Agregado Fino

Para la determinación de la densidad relativa de las arenas se emplea normalmente el volumenómetro de Le Chatelier. Por diferencia de lectura del menisco de la columna de agua puede determinarse el volumen del conjunto de partículas, de peso P .

$$\text{Densidad relativa} = P / (l_f - l_i)$$

También puede emplearse el procedimiento recomendado por la norma IRAM 1520:2002, para lo cual debe disponerse de un matraz aforado de 500 cm³. El volumen es la diferencia entre los volúmenes del matraz y del agua agregada al mismo para llegar a la marca de 500 cm³, luego que se han incorporado 500 g de

arena. La norma IRAM especifica la determinación de la densidad relativa de la muestra en estado seco y saturado con superficie seca. En la tabla siguiente se dan los valores característicos de la densidad relativa saturada y superficie seca de materiales empleados habitualmente en el país y su gama de variación.

Densidad de los Agregados

TIPO DE AGREGADO	DENSIDAD
Areniscas	2.5 - 2.6
Silíceos	2.5 - 2.8
Calcáreos	2.6 - 2.7
Granitos	2.6 - 2.7
Basaltos	2.7 - 3.0

Peso Unitario o de la Unidad de Volumen (PUV)

El peso unitario se define como el peso de un volumen unitario de agregado. El grado de compactación como así también la humedad que presenta el agregado hacen variar el valor del PUV al modificar el volumen de vacíos entre las partículas y el peso respectivamente. Cuando se especifica el peso unitario debe mencionarse claramente el estado de humedad de los agregados y el grado de compactación. La norma IRAM 1548:2003 indica los procedimientos para su determinación. Este valor se utiliza en el pasaje de una dosificación en peso a volumen, en la compra de agregados por volumen, y en métodos de dosificación racional. En la tabla siguiente se dan algunos valores característicos.

Peso Unitario de los Agregados, t/m³

MATERIAL	HUMEDAD	PUV suelto	PUV compactado
Rodados silíceos 19-5 mm	Seco o húmedo	1.46 - 1.57	1.59 - 1.62
Rodados silíceos 38-5 mm	Seco o húmedo	1.52 - 1.65	1.67 - 1.80
Granito, PP 19-5 mm	Seco o húmedo	1.36 - 1.46	1.52 - 1.65
Granito, PP 38-5 mm	Seco o húmedo	1.41 - 1.54	1.60 - 1.73
Arena silícea	0.0 %	1.44 - 1.60	1.52 - 1.65
Arena silícea	0.7 %	1.36 - 1.52	----
Arena silícea	5.0%	1.17 - 1.31	----
Arena silícea	11.0%	1.36- 1.52	----

Porcentaje de Vacíos

Relacionando los conceptos de densidad y peso unitario se puede determinar el porcentaje de vacíos de la muestra que resulta matemáticamente igual a:

$$\% \text{ de vacíos} = 100 \cdot (\text{Densidad} - \text{PUV}) / \text{Densidad}$$

AGREGADOS LIVIANOS

Son agregados que tienen un peso unitario menor de 1120 kg/m³ y encuentran aplicación en la producción de varios tipos de hormigones livianos. El bajo peso es debido a su microestructura celular o altamente porosa. Puede notarse que materiales orgánicos, tales como el aserrín, no deben utilizarse como agregado por la poca durabilidad que presentan en un medio alcalino-húmedo, como es el hormigón de cemento Portland. Este tipo de agregado puede ser de origen natural o producido sintéticamente. Los agregados livianos naturales son fabricados por procesamiento de rocas ígneas volcánicas, como la pumicita, escoria o toba. Los agregados livianos sintéticos pueden ser manufacturados por tratamiento térmico desde una variedad de materiales, por ejemplo, arcilla, pizarras, esquistos, diatomita (algas con cubierta silícea), vermiculita, perlita, escoria de alto horno y cenizas volantes.

Actualmente, hay un amplio espectro de agregados livianos con pesos unitarios desde 80 a 900 kg/m³. Los agregados muy livianos, en un extremo del espectro, son generalmente débiles y en consecuencia son más apropiados para elaborar hormigones no estructurales aislantes. En el otro extremo, están los agregados livianos que son relativamente menos porosos, cuando la estructura de poros consiste en una uniforme distribución de poros finos, el agregado es usualmente fuerte y capaz de producir hormigones estructurales.

AGREGADOS PESADOS

Comparando con los hormigones de agregado de peso normal, los cuales típicamente tienen un peso unitario de 2400 kg/m^3 , los hormigones pesados se encuentran entre los 2880 y 6080 kg/m^3 . Encuentran su aplicación para la protección de la radiación nuclear. Los agregados pesados, de mayor densidad que los normales, producen hormigones pesados. Las rocas naturales disponibles para producir agregados pesados consisten en dos tipos de minerales de bario, varios minerales de hierro y minerales de titanio.

Características de los Agregados Pesados

TIPO DE AGREGADO	COMPOSICION QUIMICA	DENSIDAD	PUV(kg/m^3)
Baritina	BaSO_4	4.5	2320
Magnetita	Fe_3O_4	5.2	2720
Hematita	Fe_2O_3	4.9-5.3	3040
Agregado de Fe	Fe	7.85	4480

AGREGADOS RECICLADOS

Los cascotes de hormigón de edificios demolidos, en los cuales el agregado se encuentra contaminado con pasta de cemento hidratada, yeso y en menor cantidad, de otras sustancias, se utilizan como agregados en los centros urbanos donde escasean los agregados naturales. La fracción fina contiene principalmente pasta de cemento hidratada y yeso, siendo inapropiada para la elaboración de mezclas de hormigón fresco. El agregado fino proveniente de una demolición parece no tener un efecto importante en la resistencia a compresión del hormigón nuevo, pero si reduce la trabajabilidad. También puede utilizarse como un agregado reciclado el hormigón proveniente de la demolición de estructuras o pavimentos.

El mayor obstáculo del empleo de este tipo de agregado es el costo de la trituración, el cribado, el control del polvo y la separación de los constituyentes no deseables. El hormigón reciclado o desechos de hormigón que son triturados pueden ser una fuente económica de agregados donde los buenos agregados son escasos y cuando el costo de la deposición de los desechos se incluye en el análisis económico.



Arcilla expandida



Escoria de alto horno



Piedra pómez



Vermiculita expandida



Perlita expandida



Escombros de demolición

Agregados livianos y agregados reciclados

TIPOS Y TAMAÑOS DE AGREGADOS QUE SE USAN EN EL PAÍS

Agregados Finos

Son arenas naturales (y muy pocas de trituración) que pueden clasificarse teniendo en cuenta su Módulo de Finura (M.F.) en las siguientes:

- Arenas Finas: M.F. desde 1,25 a 2; no se aconseja su uso para hormigón.
- Arenas Medianas: M.F. desde 2 hasta 2,4; son aptas para hormigón.
- Arenas Gruesas: M.F. desde 2,4 a 2.7 son óptimas; por encima de 2.7 y hasta 3,30 ó 3,35 son aptas para el hormigón pero las mezclas se vuelven muy "ásperas".

Recordemos que el Modulo de Finura es un parámetro adimensional que por si solo "trata" de calificar la granulometría del agregado. El ensayo para su determinación es relativamente simple y es un valioso indicador " global ", en obra o laboratorio, del tamaño del agregado.

Agregados gruesos

Se clasifican en:

ORIGEN		TIPO	FORMA	TEXTURA	ALGUNOS EJEMPLOS DE IDENTIFICACIÓN MINERALÓGICA Y PROCEDENCIA
PETREOS	NATURALES	CANTO RODADO	REDONDEADA	LISA	SEDIMENTARIAS (Mesopotamia, Mendoza)
	TRITURADOS MECANICAMENTE	PIEDRA PARTIDA	POLIEDRICA	RUGOSA	GRANITICAS (Azul, Tandil Y Olavarría - Pcia. Bs. As,)
					CALCAREA(Córdoba y San Luis)
					BASALTICA(zona cordillerana)
ARTIFICIALES		LIVIANOS	REDONDEADA	RUGOSA	ARCILLA EXPANDIDA CLINKERIZADA

Los agregados gruesos normalizados tienen la siguiente composición granulométrica:

Tamaño nominal (mm)	Acumulados en masa, que pasan por los tamices IRAM (%)									
	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm	2,36 mm	1,18 mm
50 a 4,75	100	95 a 100	-	35 a 70	-	15 a 30	-	0 a 5	-	-
37,5 a 4,75	-	100	95 a 100	-	35 a 70	-	10 a 30	0 a 5	-	-
25 a 4,75	-	-	100	95 a 100	-	25 a 60	-	0 a 10	0 a 5	-
19 a 4,75	-	-	-	100	90 a 100	-	20 a 55	0 a 10	0 a 5	-
12,5 a 4,75	-	-	-	-	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5	-
50 a 25	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-	-
37,5 a 19	-	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	-	0 a 5	-	-	-
9,5 a 2,36	-	-	-	-	-	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

Relación entre el tamaño máximo del Agregado Grueso y las medidas de la pieza estructural a hormigonar, incluida la separación de los hierros de la armadura de refuerzo:

- En vigas, losas y otras piezas estructurales que no sean columnas, el Tamaño Máximo del agregado debe ser menor que el 0,75 de la mínima separación horizontal o vertical libre, entre barras o grupos de barras paralelas en contacto directo, o del mínimo recubrimiento libre de las armaduras.
- El Tamaño Máximo, también debe ser menor que el 20% de la menor dimensión de todo elemento estructural en general, mientras que en particular en lo que respecta a los elementos bidireccionales o planos horizontales (losas) debe ser menor al tercio de su espesor.

- En columnas u otros elementos verticales, son validas las consideraciones anteriores, y además el tamaño máximo debe ser menos que el 0,67 de la separación mínima libre de las armaduras.

De acuerdo a lo anterior puede considerarse:

T. máx. 50 mm. Y 37,5 mm., aptos para: Pavimentos, bases, vigas y plateas de fundación armadas, rellenos de pozos, zanjas, etc.

T. máx. 25 mm., apto para: Estructuras corrientes, losas, vigas, columnas, fundaciones, hormigón bombeado, etc.

T. máx. 19 mm., apto para: Los mismos usos que el anterior, pero de difícil llenado, tales como vigas angostas, zonas muy armadas, tabiques, paredes de tanque de agua, cisternas, etc.

T. máx. 12,5 mm., apto para: Tabiques delgados.