

CAP II.- AGREGADOS

Tamaño máx. de la partícula presente en proporciones importantes, mm	Peso mínimo de la muestra enviada para prueba, kg
28 o más	50
entre 5 y 28	25
5 o menos	13

Esta tabla indica que la muestra principal puede ser bastante grande, especialmente cuando se utiliza agregado de gran tamaño, por lo que la muestra debe reducirse antes de someterla a prueba, asegurándose de que el material no pierda su carácter de representatividad.

PROPIEDADES DE LOS MATERIALES

Densidad.

Debido a que los agregados suelen contener poros, será necesario definir con mucho cuidado el significado de densidad.

La densidad absoluta se refiere al volumen de material sólido, excluyendo todos los poros y se puede definir como la relación de la masa de volumen sólido con la de un volumen igual de agua destilada y libre de gases ambos a determinada temperatura. La prueba para obtener dicha densidad resulta muy laboriosa y muy sencilla, pero afortunadamente no es normal que se requiera para trabajos de mezclas de concreto.

Si se considera que el volumen del sólido debe incluir los poros impermeables, pero no los capilares, la palabra aparente debe calificar a la densidad resultante. Por lo tanto, la densidad aparente es la relación de la masa del agregado secado al horno a 100-110°C durante 24 horas, con la de la masa del agua que ocupa el volumen igual al sólido, incluyendo los poros impermeables. Esta última masa se determina por medio de un tanque que se puede llenar de agua con precisión hasta alcanzar un volumen específico. Si la masa de la muestra secada al horno es D, la masa del tanque lleno de agua es B y la masa del tanque con la muestra y lleno completamente de agua es A, la masa del agua que ocupa el mismo volumen de sólido es B-(A-D). Entonces la densidad aparente es:

$$\frac{D}{B-A+D}$$

Por lo general, los cálculos que se refieren al concreto se basan en condiciones de saturado y superficialmente seco de los agregados, ya que el agua que contienen todos los poros no toma parte en la reacción química del cemento. Si una muestra de agregado saturado y superficialmente seco pesa C, la densidad bruta aparente es:

CAP II.- AGREGADOS

$$\frac{C}{B-A+C}$$

Esta es la densidad que se determina con más frecuencia y mayor facilidad, necesaria para calcular el rendimiento del concreto o la cantidad de agregado que se requiere para producir determinado volumen de concreto. La mayoría de los agregados naturales tienen una densidad relativa de 2.6 a 2.7.

Peso Volumétrico.

Cuando sea realmente necesario manejar el agregado por volumen, se requiere conocer el peso del agregado que llenaría un recipiente de volumen unitario. Esto se conoce como **peso volumétrico**. Esta claro que el peso volumétrico depende de qué tan densamente se ha comprimido el agregado. La forma de las partículas afecta mucho el grado de confinamiento que pueda lograrse.

Así pues, para propósitos de prueba, se tiene que especificar el grado de compactación. Generalmente se reconocen dos grados: flojo o suelto y compactado. Para determinar el peso volumétrico suelto se coloca suavemente el agregado seco dentro de un recipiente hasta llenarlo, y después se empareja pasando una varilla por la superficie. Para poder encontrar el peso volumétrico compactado o varillado, el recipiente se llena en tres etapas, apisonando cada tercera parte un número prescrito de veces con una varilla de punta redonda de 16 mm (5/8") de diámetro. Entonces, el peso neto del agregado que quede en el recipiente representa el peso volumétrico a un grado determinado de compactación.

Porosidad y absorción.

La porosidad de los agregados, su impermeabilidad y absorción influyen en las propiedades como la adherencia entre los agregados y el cemento, la resistencia del concreto a la congelación y al deshielo, así como la estabilidad química y la resistencia a la abrasión.

Los poros de los agregados presentan una amplia variación de tamaño; los más grandes son visibles con un microscopio e incluso a simple vista, pero hasta los poros más pequeños suelen ser mayores que los poros del gel de la pasta de cemento. Puesto que el agregado representa aproximadamente tres cuartas partes del volumen de concreto, esta claro que la porosidad del agregado contribuye materialmente a la porosidad del concreto.

La absorción de agua en los agregados se determina midiendo el aumento de peso de una muestra secada en horno, y sumergida después en agua durante 24 horas (habiéndole quitado el agua de la superficie). La relación que existe entre el aumento de peso de la muestra seca, expresada en porcentaje, se llama **absorción**.

Por lo general se supone que en el momento del fraguado del concreto, los agregados se encuentran saturados y superficialmente secos. Si la dosificación

CAP II.- AGREGADOS

del agregado se ha hecho cuando este se encuentra seco, se supone que absorberá de la mezcla el agua suficiente para que el agregado se sature, y esta agua absorbida no está incluida en el agua neta o efectiva de mezclado.

Debido a que la absorción de agua por los agregados secos se va haciendo más lenta o se interrumpe debido al recubrimiento de las partículas con pasta de cemento, con frecuencia es muy útil determinar la cantidad de agua absorbida en un período de 10 a 30 minutos, en lugar de calcular la absorción total de agua, que probablemente nunca se logre en la práctica.

Contenido de humedad.

Cuando el agregado está expuesto a la lluvia, se acumula una cantidad considerable de humedad en la superficie de las partículas y, a excepción de la parte superior de la pila, esta humedad se conserva durante mucho tiempo. Esto ocurre especialmente cuando se trata de agregado fino, y la humedad superficial o libre se debe tomar en cuenta en el cálculo de cantidades para la mezcla. La humedad superficial se expresa como porcentaje del peso del agregado saturado y superficialmente seco y se le conoce como contenido de humedad.

Como el contenido de humedad del agregado cambia con el clima, y varía también de una pila a otra, es necesario determinar con frecuencia el valor del contenido de humedad. Existe gran cantidad de pruebas para determinar el contenido de humedad, pero por más exacta que sea una prueba, sus resultados serán importantes sólo si se ha usado una muestra representativa.

Abundamiento de la arena.

La presencia de humedad en el agregado hace necesario corregir las proporciones reales de la mezcla: el peso del agua añadida a la mezcla tiene que reducirse en la proporción del peso de la humedad libre del agregado y el peso del agregado deberá aumentarse en forma similar. En el caso de la arena, hay un efecto adicional de la presencia de humedad: el abundamiento. Aunque el abundamiento por sí mismo no afecta la proporción de los materiales por peso, cuando se hacen mezclas por volumen, el abundamiento reduce el peso de la arena que ocupa el volumen fijo de la caja de medición.

El grado de abundamiento depende del porcentaje de humedad presente en la arena y de su finura. El aumento de volumen en relación con el ocupado por la arena saturada y superficialmente seca aumenta cuando se eleva el contenido de humedad de la arena hasta un valor del cinco al ocho por ciento, en cuyo caso ocurre un abundamiento del 20 al 30%. A mayor adición de agua, el volumen total de arena disminuye hasta quedar completamente saturada.

El agregado grueso muestra solamente un incremento despreciable en el volumen.

SUSTANCIAS PERJUDICIALES EN EL AGREGADO.

Existen tres amplias categorías de sustancias perjudiciales que pueden encontrarse en los agregados: impurezas, que interfieren en el proceso de hidratación del cemento; recubrimientos, que impiden el desarrollo de una buena adherencia entre el agregado y la pasta de cemento, y algunas partículas individuales que son en sí mismas débiles o inestables.

Impurezas orgánicas.

Los agregados naturales pueden poseer suficiente resistencia y dureza, pero no darán buenos resultados para producir concreto si contienen impurezas orgánicas que interfieran con las reacciones químicas de hidratación.

No todas las materias orgánicas son perjudiciales y lo mejor es verificar sus efectos haciendo cubos para prueba. Sin embargo, es recomendable determinar primero que la cantidad de compuestos orgánicos es suficiente para ameritar una prueba ulterior. Esto se hace por medio de la llamada prueba colorimétrica, incluida en la norma ASTM C 40-73.

Arcilla y otros materiales finos.

La arcilla puede estar presente en el agregado en forma de recubrimiento superficial que interfiere en la adherencia entre el agregado y la pasta de cemento.

Hay otros dos tipos de material fino que pueden estar presentes en el agregado: limo y polvo de trituración. El limo es un material entre 2 μm y 60 μm , que ha sido reducido a este tamaño por los procesos naturales del intemperismo. Por otra parte, el polvo de trituración es un material fino que se forma durante el proceso de transformación de la roca en piedra triturada. Estos dos materiales pueden formar recubrimientos similares a los de arcilla, o pueden aparecer en forma de partículas sueltas, no adheridas al agregado grueso. Aún en esta última forma, el limo o el polvo fino no debe de exceder de cierta proporción pues, debido a su finura y a su gran área superficial, aumentan la cantidad de agua necesaria para humedecer todas las partículas de la mezcla.

En vista de lo anterior, es necesario controlar el contenido de arcilla, limo y polvo fino del agregado. En la BS 882:1973 se limita el contenido de los tres materiales, en conjunto, a no más de:

- 15% por peso de arena triturada
- 3% por peso de arena natural o de grava triturada
- 1% por peso de agregado grueso

CAP II.- AGREGADOS

La norma ASTM C 33-78 establece requisitos similares, pero distingue entre concreto sometido a abrasión y otros concretos. En el primer caso, la cantidad de material que pasa por el tamiz de muestreo de 75 μm (No. 200) se limita al tres por ciento del peso de la arena, en lugar del cinco por ciento permitido para otros concretos. El valor correspondiente para el agregado grueso es del uno por ciento.

Partículas inestables.

Las pruebas que se hacen a los agregados demuestran en ocasiones que la mayoría de las partículas que los componen son satisfactorias, pero que existen algunas inestables: es necesario limitar con claridad la cantidad de dichas partículas.

Hay dos amplias clases de partículas inestables: las que no pueden mantener su integridad y las que causan expansiones destructivas a la congelación o al entrar en contacto con el agua.

Los esquistos y otras partículas de baja densidad se consideran inestables; lo mismo sucede con las inclusiones blandas, como los terrones de arcilla, la madera y el carbón. Si se encuentran presentes en grandes cantidades (más de dos a cinco por ciento por peso del agregado) dichas partículas pueden afectar adversamente la resistencia del concreto.

Es necesario impedir la presencia de mica porque, en presencia de agentes químicos activos producidos durante la hidratación del cemento, puede resultar que se altere y tome otras formas.

Las piritas de hierro y las marcasitas representan las inclusiones expansivas más frecuentes en el agregado. Estos sulfuros reaccionan con el agua y el oxígeno para formar sulfato ferroso que, subsecuentemente, se descompone para formar el hidróxido, mientras los iones de sulfato reaccionan con los aluminatos de calcio del cemento. El resultado pueden ser manchas en el concreto y ruptura de la pasta de cemento, especialmente en condiciones de calor y humedad.

CONSISTENCIA DEL AGREGADO.

Este es el nombre que se da a la capacidad del agregado para resistir los cambios excesivos en volumen como resultado de los cambios en las condiciones físicas.

Las causas físicas de los cambios de volumen grandes o permanentes de agregado son la congelación y el deshielo, los cambios térmicos a temperaturas superiores a la de congelación y también los estados mojado y seco alternados.

Se dice que los agregados son inestables si los cambios de volumen, inducidos por las causas antes mencionadas, dan como resultado el deterioro del

CAP II.- AGREGADOS

concreto. Este deterioro puede variar desde una simple apariencia defectuosa hasta una situación estructural peligrosa.

Los materiales que presentan la característica de inestabilidad son los pedernales porosos y los horstenos, especialmente los de peso ligero con una estructura porosa de textura fina, algunas lutitas, piedras calizas con laminado de arcilla expansiva y otras partículas que contengan materiales arcillosos, especialmente las que pertenecen a los grupos de las monotmorilonitas o illitas.

Asimismo, no existen pruebas que puedan pronosticar con exactitud la durabilidad del agregado en un concreto sujeto a condiciones de congelación y deshielo. Además para que ocurra daño por congelación deben existir condiciones críticas de contenido de agua y falta de drenaje.

Se sabe que ciertos agregados son susceptibles a daños por heladas, estos son: horstenos porosos, esquistos, algunas piedras calizas, especialmente las calizas laminadas, y algunas piedras areniscas.

PROPIEDADES TÈRMICAS DE LOS AGREGADOS.

Existen tres propiedades tÈrmicas del agregado que pueden ser importantes para el desempe±o del concreto: el coeficiente de expansi3n tÈrmica, el calor especifiko y la conductividad. Los dos 6ltimos son de gran importancia en el concreto masivo o cuando se requiera aislamiento, pero no en el trabajo estructural normal.

El coeficiente de expansi3n tÈrmica del agregado influye en el valor de este coeficiente para el concreto que contenga el agregado considerado.

Hay, sin embargo, otro aspecto del problema. Se ha observado que si los coeficientes de expansi3n tÈrmica del agregado grueso y de la pasta de cemento son demasiado diferentes, un gran cambio en la temperatura puede introducir movimientos diferenciales y una ruptura de la adherencia entre las part6culas del agregado y la pasta de cemento que las rodea.

En caso de que se esperen temperaturas extremas, se deben conocer en detalle las propiedades del agregado a utilizar.

ANALISIS GRANULOMÈTRICO.

Este nombre tan complicado se le da a la sencilla operaci3n de separar una muestra de agregado en fracciones. En la pr6ctica cada fracci3n contiene part6culas que se encuentran dentro de l6mites especifikos, que son las aberturas de los tamices est6ndar de muestreo.

Los tamices de muestreo que se utilizan para el agregado de concreto tienen aberturas cuadradas y sus propiedades se prescriben en la BS 410:1976. Anterior-

CAP II.- AGREGADOS

mente se solía describir a los tamices por el tamaño de su abertura (en pulgadas) en los tamaños grandes y por el número de aberturas que había por pulgada lineal en los tamices menores de 1/8". De tal suerte que, un tamiz de muestreo No. 100 tiene 100x100 aberturas por pulgada cuadrada.

Los tamices cuyo tamaño es menor de 4 mm (0.16") se hacen por lo general de tela de alambre. El área de cribado, es decir, el área de orificios como porcentaje del área total del tamiz, varía entre el 34 y el 53%.

Los tamices de muestreo gruesos [de 4 mm (0.16") o mayores] se fabrican con lámina de acero perforada, con una área de cribado de 44 a 65%.

Los tamices que se usan para agregado de concreto consisten en una serie en la que la abertura de los orificios de cualquier tamiz sea aproximadamente la mitad de la abertura del tamiz inmediato más grande. Los tamaños de los tamices de muestreo BS en unidades inglesas para esa serie son los siguientes: 3", 1 1/2", 3/4", 3/16", números 7, 14, 25, 52, 100 y 200. Para propósitos de granulometría, los tamaños de tamiz que se usan normalmente son: 75 mm (3"), 53 mm (2"), 37.5 mm (1 1/2"), 19.0 mm (3/4"), 9.5 mm (3/8"), 4.75 mm (3/16" .o No.4 ASTM), 2.36 mm (No. 8 ASTM), 1.18 mm (No. 16 ASTM), 600 µm (No. 30 ASTM), 300 µm (No. 50 ASTM), 150 µm (No. 100 ASTM) y 75 µm (No. 200 ASTM).

Antes de efectuar el análisis granulométrico es preciso secar con aire la muestra del agregado, a fin de evitar que los terrones de partículas finas se clasifiquen como si fuesen partículas gruesas. Los pesos de las muestras reducidas para cribado, según recomienda la BS 812: Parte 1: 1975 están en la tabla II-1.

TABLA II-1 Peso mínimo de la muestra por el análisis granulométrico según la BS 812: Parte 1: 1975

Tamaño nominal del agregado (mm)	Peso mínimo de la muestra para el cribado, kg
63	50
50	35
40	15
28	5
20	2
14	1
10	0.5
6 a 3	0.2
menor de 3	0.1

CAP II.- AGREGADOS

Los resultados de un análisis granulométrico se representan mejor en forma tabular, como aparece en la tabla II-2. La columna 2 indica el peso retenido por cada tamiz. Este valor se expresa como porcentaje del peso total de la muestra y se incluye en la columna 3. Ahora bien, si se trabaja a partir del tamaño más fino en orden ascendente, el porcentaje acumulativo (hasta el uno por ciento siguiente) que pasa por cada malla se puede calcular (columna 4) y este es el porcentaje que se usa para trazar las curvas granulométricas.

Curvas granulométricas.

Los resultados de un análisis granulométrico se puede entender mucho mejor si se representa gráficamente y, por esta razón, se utilizan en gran medida las gráficas granulométricas.

En la gráfica de granulometría empleada generalmente, las ordenadas representan el porcentaje acumulativo que pasa por el tamiz, y la abscisas el tamaño del tamiz graficado en escala logarítmica. Esto se ilustra en la figura II-1, que contiene los datos de la tabla II-2.

MODULO DE FINURA.

A veces se usa un solo factor calculado a partir del análisis granulométrico, especialmente en Estados Unidos. Este es el módulo de finura, que se define como la suma de los porcentajes acumulativos retenidos en los tamices de la serie estandar: 150, 300, 600 μ m, 1.18, 2.36, 5.0 mm (ASTM Nos. 100, 50, 30, 16, 8, 4) y hasta el tamaño máximo del valor presente. El valor del módulo de finura es más alto mientras más grueso es el agregado.

El módulo de finura se puede considerar como el peso promedio de acuerdo con el tamaño del tamiz, en el cual se retiene el material, tomando en cuenta desde el tamiz más fino. Sin embargo el promedio, no puede ser representativo de la distribución: así el mismo módulo de finura puede representar un número infinito de distribuciones de tamaños o de curvas granulométricas completamente diferentes. Por lo tanto, el módulo de finura no se puede usar como una descripción de la granulometría de un agregado, pero es útil para medir variaciones ligeras en agregados de la misma fuente.

REQUISITOS GRANULOMETRICOS.

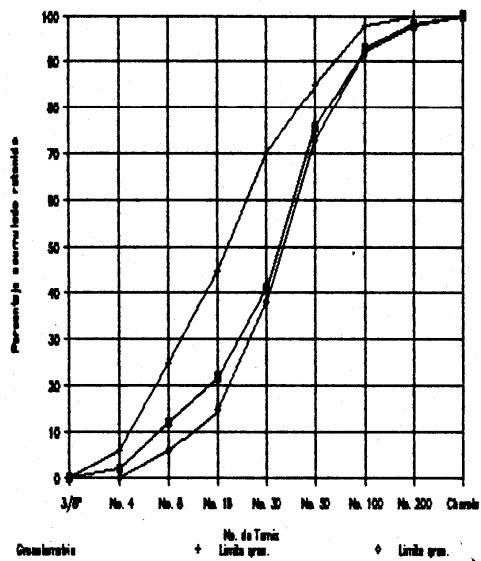
Puesto que la resistencia del concreto totalmente compactado hecho con determinada relación agua/cemento es independiente de la granulometría del agregado, ésta es, en primer instancia, importante sólo en tanto afecte la trabajabilidad.

Desde un principio debemos decir que no existe ninguna curva granulométrica ideal, pero hay que tratar de lograrlo. Además de los requisitos físicos no

TABLA II-2 Ejemplo de análisis granulométrico

Tamiz ASTM	Peso Retenido (Gr)	Porcentaje retenido	Porcentaje acumulado que pasa	Porcentaje acumulado retenido
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
3/8"	0.0	0.0	100.0	0.0
No. 4	6.0	2.0	98.0	2.0
No. 8	31.0	10.1	87.9	12.1
No. 16	30.0	9.8	78.2	21.8
No. 30	59.0	19.2	59.0	41.0
No. 50	107.0	34.9	24.1	75.9
No. 100	53.0	17.3	6.8	93.2
No. 200	15.0	4.9	2.0	98.0
Charola	6.0	2.0	0.0	100.0
SUMA	307.0	100.0	M.F. =	2.46

FIGURA II-1 Curva granulometrica



CAP II.- AGREGADOS

debemos olvidarnos del aspecto económico: el concreto se debe fabricar con materiales que se puedan producir a bajo costo, de manera que no se ponga límites a los agregados.

Se ha indicado que los factores principales que rigen la granulometría deseada de los agregados son: el área superficial del agregado, que determina la cantidad de agua necesaria para mojar a todos los cuerpos sólidos; el volumen relativo ocupado por el agregado; la trabajabilidad de la mezcla, y su tendencia a la segregación.

Debemos observar que los requisitos de trabajabilidad y ausencia de segregación tienden a oponerse parcialmente entre sí. Para obtener un concreto satisfactorio es esencial evitar que se produzca la segregación.

Existe aún otro requisito para que la mezcla sea trabajable: debe contener suficiente cantidad de materiales cuyo tamaño sea menor del de un tamiz de 300 μm (No. 50 ASTM). Puesto que las partículas de cemento van incluidas en este material, una mezcla más rica requiere un menor contenido de arena fina que una pobre. Si la granulometría de la arena es deficiente en partículas finas, el aumentar la relación de agregado fino/grueso puede no ser remedio satisfactorio, ya que puede conducir a un exceso de tamaños intermedios y por ende, a aspereza. Esta necesidad de una cantidad adecuada de finos (siempre y cuando sean estructuralmente estables) explica por qué se indican contenidos mínimos de partículas que pasan por el tamiz de 300 μm (No. 50 ASTM) y hasta de 150 μm (No. 100).

El hecho de que se requiera que el agregado ocupe el mayor volumen relativo posible, se debe, en primera instancia, al aspecto económico aunque también hay razones técnicas por las que no se recomienda una mezcla muy rica. También se ha indicado que mientras mayor sea la cantidad de partículas sólidas que forman una masa compacta en determinado volumen de concreto, mayor será su resistencia.

Considerando ahora el área superficial de las partículas del agregado. La relación agua/cemento de la mezcla se suele fijar, por lo general, tomando en cuenta la resistencia. al mismo tiempo, la cantidad de pasta de cemento debe ser la suficiente para cubrir la superficie de todas las partículas, de tal suerte que mientras mayor sea el área superficial del agregado, se necesitará menos pasta y, por lo tanto, menos agua.

Tomaremos, para simplificar, una esfera con un diámetro D como representativa de la forma del agregado, tendremos una relación de área superficial a volumen de $6/D$. Esta relación entre la superficie de la partículas y su volumen se llama superficie específica. Cuando se trate de partículas de diferentes formas, se puede obtener un coeficiente distinto de $6/D$, pero el área superficial sigue siendo inversamente proporcional al tamaño de la partícula.

Si la granulometría se extiende a un tamaño máximo de agregado, la superficie específica total se reduce y el requisito de agua disminuye, pero la relación no es lineal.

CAP II.- AGREGADOS

Se puede ver que una vez seleccionado el tamaño máximo del agregado y su granulometría, podemos expresar el área superficial total de las partículas usando como parámetro la superficie específica, y la superficie total de los agregados es la que determina los requisitos de agua o la trabajabilidad de la mezcla. Edwards, desde el año de 1918, fue el primero en proponer el diseño de una mezcla con base en la superficie específica de los agregados. La superficie específica se puede determinar mediante el método de permeabilidad al agua, pero hasta la fecha no existe ninguna prueba de campo sencilla, y el enfoque matemático resulta difícil por la variabilidad en la forma de las diferentes partículas del agregado.

Se descubrió que la aplicación de los cálculos del área superficial no funciona al tratarse de partículas de agregado menores que un tamiz de 150 μm (No. 100 ASTM) y para el cemento. Debido a que el método de la superficie específica proporciona una imagen un tanto engañosa de la trabajabilidad esperada, Murdock sugirió el uso de un índice superficial empírico, y sus valores, así como la superficie específica, aparecen en la tabla II-3.

El efecto general del área superficial del agregado de determinada granulometría se obtienen multiplicando el porcentaje del peso de cualquier fracción de tamaño por el coeficiente correspondiente a esa fracción y sumando todos los productos. Según Murdock el índice superficial (modificado por un índice de angularidad) es el que se debe usar y, de hecho, los valores de este índice se basan en resultados empíricos. Por otra parte, Davey descubrió que para la misma superficie específica total de agregado, los requisitos de agua y la resistencia a la compresión del concreto son los mismos para límites muy amplios de granulometría del agregado. Se ha descubierto que el aumento de la superficie específica del agregado, para una relación agua/cemento constante, conduce a una menor resistencia en el concreto.

En la práctica, cuando se trate de aproximar tipos de granulometrías, las propiedades de la mezcla seguirán casi sin alterarse, cuando se compense la pequeña diferencia de finos con la aplicación de un exceso de partículas gruesas, pero la diferencia de tamaño no debe ser muy grande.

No hay duda de que la granulometría del agregado es un factor importante en la trabajabilidad de la mezcla de concreto. La trabajabilidad, a su vez, afecta los requisitos de agua y cemento, controla la segregación, ejerce cierto efecto en el sangrado e influye en la colocación y el acabado del concreto. Entonces la granulometría es de vital importancia en el proporcionamiento de las mezclas de concreto, aunque su función exacta, en términos matemáticos, todavía no se conoce completamente.

Finalmente, debemos recordar que es mucho más importante que la granulometría permanezca constante, que el tratar de determinar una que sea "buena" en términos generales. De otra manera, la trabajabilidad será variable y, debido a que esto se suele corregir en la mezcladora por medio de una variación del contenido de agua, se obtiene un concreto de resistencia variable.

CAP II.- AGREGADOS

TABLA II-3 Valores relativos de área superficial e índice superficial

Fracción del tamaño de la partícula.	Tamiz ASTM No.	Area superficial relativa	Índice superficial de Murdock
76.2-38.1 mm	3-1½"	¼	¼
38.1-19.05mm	1½-3/4"	1	1
19.05-9.52mm	3/4-3/8"	2	2
9.52-4.76 mm	3/4-3/16"	4	4
4.76-2.4 mm	3/16"-8	8	8
2.40-1.20 mm	8-16	16	12
1.2mm-600 µm	16-30	32	15
600-300 µm	30-50	64	12
300-150 µm	50-100	128	10
≤ 150 µm	≤ 100		1

GRANULOMETRIAS PRACTICAS.

De la sección anterior, podemos ver lo importante que es el uso de agregado cuya granulometría permite obtener una trabajabilidad aceptable y la menor segregación posible. Hay que recordar, sin embargo, que en la práctica tenemos que utilizar los agregados disponibles en la localidad, a una distancia económica y que, si lo enfocamos de manera inteligente y tenemos suficiente cuidado generalmente podemos producir con ellos un buen concreto.

Las curvas a las que se refiere por lo general y que se toman como base de comparación son las de la Road Research Note No. 4, Design of Concrete Mixes. Para cada tamaño máximo de agregado, se muestran cuatro curvas pero, debido a que existen variaciones entre cualquier tamaño fraccionario, es muy probable que las granulometrias caigan cerca de las curvas en lugar de seguir las exactamente.

La curva 1 representa la granulometría más gruesa, figuras II-2 a II-4. Esa granulometría es comparativamente trabajable y, por lo tanto, puede utilizarse en mezclas con baja relación agua/cemento, o mezclas ricas. Sin embargo, es necesario asegurarse de que no haya segregación.

En el extremo contrario, la curva No. 4 representa una granulometría fina; será cohesiva pero no trabajable, lo que es más, el exceso de material en los tamices de prueba entre 1.2 y 4.76 mm (No. 16 y 3/16") producirá un concreto aspero que, a pesar de que pueda ser adecuado para compactarse por vibrado, será difícil de colocar a mano. Si se desea obtener la misma trabajabilidad usando agregados que caigan dentro de las curvas No. 1 y No. 4, los segundos necesitarán un contenido de agua considerablemente mayor, esto significaría menos resistencia, si ambos concretos tienen la misma relación agregado/cemento.

Figura II-2 Curvas granulometricas de la Road Note No. 4 para agregado de 19.05 mm (3/4").

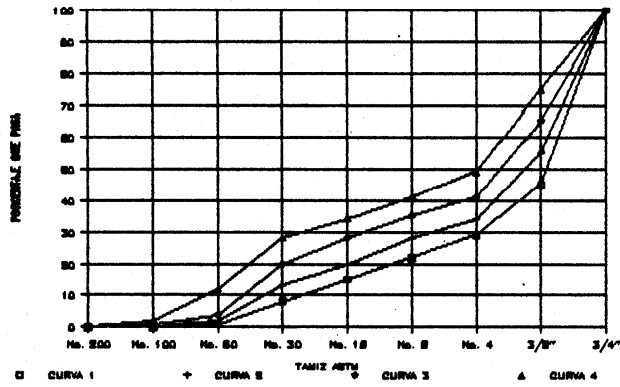


Figura II-3 Curvas granulometricas de la Road Note No. 4 para agregado de 38.1 mm (1 1/2").

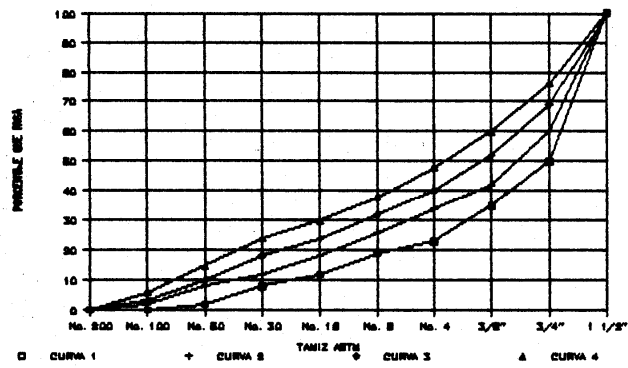


Figura II-4 Curvas granulométricas de la Road Note No. 4 para agregado de 9.52 mm (3/8").

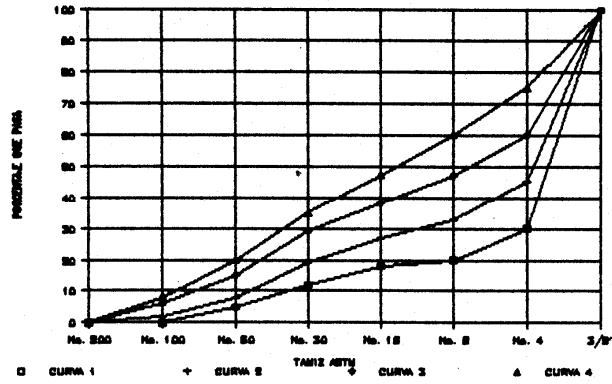
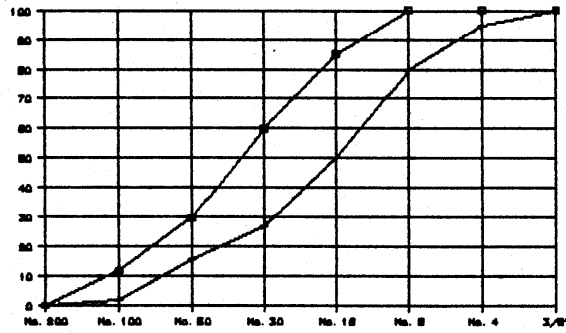


Figura II-5 Límites granulométricos para agregado fino según la norma ASTM C 33-78.



CAP II.- AGREGADOS

El cambio entre las granulometrías extremas es progresivo. Sin embargo, en el caso de granulometrías situadas parcialmente en una zona y en la otra, puede haber peligro de segregación cuando faltan muchas partículas de tamaño intermedio (granulometría escalonada). Por otra parte, si hay un exceso de agregados de tamaño intermedio, la mezcla será aspera y difícil de compactar a mano. Por esa razón, es preferible usar agregados de granulometrías de tipo similar, en lugar de unos totalmente diferentes.

GRANULOMETRIA DE AGREGADOS FINOS Y GRUESOS.

Generalmente se mezclan por separado los agregados gruesos y los finos por lo que es necesario conocer y controlar la granulometría de cada uno de los tipos de agregado.

Se ha demostrado que si se ajusta la relación entre agregados finos y gruesos se puede obtener un buen concreto con cualquier clase de agregado. Por esa razón, en la revisión de 1954 de la BS 882, se altero la clasificación de agregados finos a cuatro zonas de granulometría. La tabla II-4 muestra esos requisitos. Se permite una tolerancia de una cantidad total de 5% en ciertos tamices, pero el agregado no debe ser más fino que lo permitido por los límites exactos de la granulometría más fina (No. 4), ni más grueso que la más gruesa (No. 1).

TABLA II-4 Requisitos granulométricos de las normas ASTM y BS para el agregado fino.

Tamaño del tamiz ASTM NO.	Porcentaje por peso que pasa los tamices				
	BS 882:1973				ASTM C 33-78
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	
3/8"	100	100	100	100	100
3/16"	90-100	90-100	90-100	95-100	95-100
8	60-95	75-100	85-100	95-100	80-100
16	30-70	55-90	75-100	90-100	50-85
30	15-34	35-59	60-79	80-100	25-60
50	5-20	8-30	12-40	15-50	10-30
100	0-10*	0-10*	0-10*	0-15*	2-10

* Para arenas de piedra triturada se incrementa el límite permisible al 20%.

En la BS 882:1973, la división en zonas se basa primordialmente en el porcentaje que pasa por el tamiz de 600 µm (No. 30 ASTM), como muestran los valores de la tabla II-4. La razón principal de esto es que gran número de arenas se dividen naturalmente justo en ese tamaño, las granulometrías superiores o inferiores son aproximadamente uniformes.

CAP II.- AGREGADOS

Con propósitos de comparación, diremos que los requisitos de la norma ASTM C 33-78 se incluyen parcialmente en la tabla II-4 (véase la fig. II-5). Los límites de esta última especificación son mucho más estrechos que los límites generales de la BS 882:1973.

Por lo general se puede utilizar en el concreto la arena que cae dentro de cualquier zona.

La conveniencia de la arena fina de la zona 4 para usarla en concreto reforzado se debe de someter a prueba. Puesto que la mayor parte de dicha arena es menor que el tamiz de 600 μm (No. 30 ASTM), se obtiene un agregado cuya granulometría es escalonada, o casi escalonada. Por regla general, el contenido de arena en la mezcla debe ser bajo y en la tabla II-5 se sugieren valores para la relación agregado grueso/fino. Sin embargo se puede obtener un concreto bastante bueno con arena de la zona 4, especialmente mediante vibrado.

Por el contrario, la arena gruesa de la zona 1 produce una mezcla áspera y para obtener mayor trabajabilidad es necesario aumentar el contenido de la misma. Este tipo de arena es más adecuado para mezclas ricas o para concreto de baja trabajabilidad.

La zona 2 representa una arena mediana que suele ser apropiada para mezclas de un proporcionamiento de agregados finos y gruesos de 1:2 común (en el que TMA 3/4").

En términos generales, la relación agregado grueso fino debe ser más alta mientras más aumente la finura de la granulometría del agregado fino; en la tabla II-5 se muestran los valores típicos. Cuando se usa agregado grueso de roca triturada se necesita una proporción ligeramente más alta de arena, que cuando se usa agregado de grava. Conforme la granulometría de la arena se va acercando a los límites de la zona 4, o al límite externo de gruesos de la zona 1, la elección correcta de las proporciones adquiere especial importancia.

En la tabla II-6 aparece un ejemplo del empleo de arena de cualquiera de las cuatro zonas para producir concreto de igual calidad, con base en los resultados obtenidos en la Building Research Station. En ella se utilizaron relaciones agregado/cemento de 6.04, para que la superficie total específica de los agregados fuera siempre 2.55 m^2/kg . La tabla II-6 muestra que en todos los casos se puede obtener concreto de similar calidad.

Las tablas II-7 y II-8 incluye la granulometría para el agregado grueso dada por la BS 882:1973: los valores se dan tanto para agregado graduado como para fracciones nominales de un solo tamaño. Para establecer una comparación, la tabla II-9 indica alguno de los límites establecidos por la norma ASTM C 33-78.

CAP II.- AGREGADOS

TABLA II-5 Proporciones por peso sugeridas de agregado grueso/fino para arena de diversas zonas.

TMA grueso		agregado grueso/fino para arenas de la zona			
mm	pulg	1	2	3	4*
9.52	3/8	1	1½	2	3
19.05	3/4	1½	2	3	3½
38.1	1½	2	3	3½	-

* Mediante pruebas deberá verificarse lo adecuado de la mezcla para usarse en concreto reforzado.

TABLA II-6 Propiedades de concretos elaborados con agregados de superficie especifica constante total.

Propiedades del concreto	Zona granulométrica de la arena *			
	1	2	3	4
Sup. Esp. total m ² /kg	2.55	2.55	2.55	2.55
% que pasa los 3/16"	46	36	29	24
Proporción por volumen	1:2½:3½	1:2:4	1:1½:4½	1:1 1/4 :4 3/4
Rel. agua/cem. por peso	0.60	0.60	0.60	0.60
Factor de compactación	0.92	0.93	0.93	0.90
F'c (kg/cm ²) 28 días	276	287	297	296

AGREGADO SOBREGRAUADO Y SUBGRAUADO.

No es posible seguir al pie de la letra los límites de tamaños del agregado. Los requisitos granulométricos de la BS 882:1973 permiten algún agregado sobregraudo y subgrauado, tanto para el agregado fino como para el grueso. Las cifras correspondientes se indican en las tablas II-7 y II-8.

Sin embargo, ningún material debe retenerse en el tamiz del siguiente tamaño más grande (de la serie estándar) que el tamaño máximo nominal; se permite del 5 al 10% de material subgrauado.

CAP II.- AGREGADOS

TABLA II-7 Requisitos granulométricos para agregado grueso según la BS 882:1973, para tamaño nominal del agregado graduado.

Tamaño del tamiz	Porcentaje por peso que pasa		
	1½ a 3/16"	3/4 a 3/16"	1/2 a 3/16"
3"	100	-	-
1½"	95-100	100	-
3/4"	35-70	95-100	100
1/2"	-	-	90-100
3/8"	10-40	30-60	50-85
3/16"	0-5	0-10	0-10

TABLA II-8 Requisitos granulométricos para agregado grueso según la BS 882:1973; para tamaño nominal del agregado de un solo tamaño.

Tamaño del tamiz	Porcentaje por peso que pasa				
	2½"	1½"	3/4"	1/2"	3/8"
3"	100	-	-	-	-
2½"	85-100	100	-	-	-
1½"	0-30	85-100	100	-	-
3/4"	0-5	0-25	85-100	100	-
1/2"	-	-	-	85-100	100
3/8"	-	0-5	0-25	0-50	85-100
3/16"	-	-	0-5	0-10	0-25
ASTM No. 8	-	-	-	-	0-5

AGREGADOS DE GRANULOMETRIA ESCALONADA.

Las partículas de agregados de determinado tamaño se empaquetan de tal forma que los huecos que dejan sólo pueden ser penetrados y ocupados por partículas suficientemente pequeñas dentro del siguiente tamaño inferior. Esto quiere decir que debe existir una diferencia mínima entre dos tamaños consecutivos de fracciones adyacentes de partícula. En pocas palabras, los tamaños cuyas diferencias sean muy pequeñas no se pueden usar uno junto al otro, lo cual ha contribuido de manera importante a que se apoye el empleo de agregado de granulometría escalonada.

Así pues, la granulometría escalonada se puede definir como aquella en la que se omiten uno o varios tamaños de fracciones intermedias. En una curva granulométrica, la granulometría escalonada se representa por una línea horizontal trazada sobre la gama de tamaños omitidos. Las pruebas efectuadas por

CAP II.- AGREGADOS

Shacklock han demostrado que para una determinada relación agregado/cemento y agua/cemento se obtendrá mayor trabajabilidad con un menor contenido de arena en el caso de granulometría escalonada. Sin embargo, en la gama más trabajable de las mezclas, la que usa agregados de granulometría escalonada muestra una mayor tendencia a la segregación. Tanto con granulometría escalonada como con granulometría continua se puede hacer buen concreto, pero en cada caso se tiene que elegir el porcentaje adecuado de arena.

TABLA II-9 Requisitos granulométricos para agregado grueso según la norma ASTM C 33-78

Tamaño del tamiz	Porcentaje por peso que pasa				
	Tamaño nominal del agregado graduado			Tamaño nominal del agregado de un solo tamaño	
	1½a3/16	3/4a3/16	1/2a3/16	2½	1½
3"	-	-	-	100	-
2½"	-	-	-	90-100	-
2"	100	-	-	35-70	100
1½"	95-100	-	-	0-15	90-100
1"	-	100	-	-	20-55
¾"	35-70	90-100	100	0-5	0-15
1/2"	-	-	90-100	-	-
3/8"	10-30	20-55	40-70	-	0-5
3/16	0-5	0-10	0-15	-	-
No.	-	0-5	0-5	-	-

TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO.

Ya se ha mencionado antes que mientras más grande sea la partícula del agregado, menor será el área superficial que se debe humedecer por peso unitario. De tal suerte que, si se aumenta la granulometría del agregado a un tamaño mayor, se disminuirán los requisitos de agua de mezclado. Sin embargo, los resultados experimentales muestran que en tamaños mayores de 38.1 mm (1½") el aumento de resistencia debida a la reducción del agua se compensa con los efectos nocivos de una menor área de adherencia.

Desde el punto de vista de la resistencia, el mejor tamaño máximo de los agregados está en función de la riqueza de la mezcla. Especialmente en el concreto pobre (165 kg. de cemento por metro cúbico) se recomienda usar agregados de 150 mm (6"). Ahora bien, en el concreto estructural de proporciones comunes, desde el punto de vista de la resistencia, no hay ninguna ventaja en usar agregados de tamaño máximo mayor de 25 a 40 mm aproximadamente (1 a 1½ pulgada).