

4. AGREGADOS (ARENA Y GRAVA).

4.1. Fino (arena).

4.1.1. Características generales, muestreo.

Los agregados finos comúnmente consisten en arena natural o piedra triturada siendo la mayoría de sus partículas menores que 5 mm.

Los agregados finos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la Hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

4.1.2. Análisis granulométrico. Tablas gráficas mostrando granulometría ideal.

Los requisitos de la norma ASTM C 33, permiten un rango relativamente amplio en la granulometría del agregado fino, pero las especificaciones de otras organizaciones son a veces más limitantes. La granulometría más conveniente para el agregado fino, depende del tipo de trabajo, de la riqueza de la mezcla, y del tamaño máximo del agregado grueso. En mezclas más pobres, o cuando se emplean agregados gruesos de tamaño pequeño, la granulometría que más se aproxime al porcentaje máximo que pasa por cada criba resulta lo más conveniente para lograr una buena trabajabilidad. En general, si la relación agua-cemento se mantiene constante y la relación de agregado fino a grueso se elige correctamente, se puede hacer uso de un amplio rango en la granulometría sin tener un efecto apreciable en la resistencia. En ocasiones se obtendrá una economía máxima, ajustando la mezcla del concreto para que encaje con la granulometría de los agregados locales. Entre más uniforme sea la granulometría, mayor será la economía.

La granulometría del agregado fino dentro de los límites de la norma ASTM C 33, generalmente es satisfactoria para la mayoría de los concretos. Los límites de la norma ASTM C 33 con respecto al tamaño de las cribas se indican a continuación:

Tamaño de la malla	Porcentaje que pasa en peso
9.52 mm (3/8")	100
4.75 mm (No.4)	95 a 100
2.36 mm (No.8)	80 a 100
1.18 mm (No.16)	50 a 85
0.60 mm (No.30)	25 a 60
0.30 mm (No.50)	10 a 30
0.15 mm (No.100)	2 a 10

Estas especificaciones permiten que los porcentajes mínimos (en peso) del material que pasa las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100) sean reducidos a 5% y 0%, respectivamente, siempre y cuando:

- 1.-El agregado se emplee en un concreto con aire incluido que contenga más de 237 kg de cemento por metro cúbico y tenga un contenido de aire superior al 3%.
- 2.-El agregado se emplee en un concreto que contenga más de 296 kg de cemento por metro cúbico cuando el concreto tenga inclusión de aire.
- 3.-Se use un aditivo mineral aprobado para compensar la deficiencia del material que pase estas dos mallas.

Otros requisitos de la norma ASTM son:

1. Que el agregado fino no tenga más del 45% retenido entre dos mallas consecutivas.
2. Que el módulo de finura no sea inferior a 2.3 ni superior a 3.1, ni que varíe en más de 0.2 del valor típico de la fuente del abastecimiento del agregado. En el caso de que sobrepase este valor, el agregado fino se deberá rechazar a menos que se hagan los ajustes adecuados en las proporciones del agregado fino y grueso.

Las cantidades de agregado fino que pasan las mallas de 0.30 mm (No.50) y de 0.15 mm (No.100), afectan la trabajabilidad, la textura superficial y el sangrado del concreto. La mayoría de las especificaciones permiten que del 10% al 30% pase por la malla de 0.30 mm (No. 50). El límite inferior puede bastar en condiciones de colado fáciles o cuando el concreto tiene un acabado mecánico, como ocurre en el caso de los pavimentos. Sin embargo, en los pisos de concreto acabados a mano o donde se requiera una textura superficial tersa, se deberá usar un agregado fino que contenga al menos un 15% que pase la malla de 0.30 mm (No.50) y al menos un 3% que pase la malla de 0.15 mm (No.100).

4.1.3. Módulo de finura.

El módulo de finura (FM) del agregado grueso o del agregado fino se obtiene, conforme a la norma ASTM C 125, sumando los porcentajes acumulados en peso de los agregados retenidos en una serie especificada de mallas y dividiendo la suma entre 100. Las mallas que se emplean para determinar el módulo de finura son la de 0.15 mm (No.100), 0.30 mm (No.50), 0.60 mm (No.30), 1.18 mm (No.16), 2.36 mm (No.8), 4.75 mm (No.4), 9.52 mm (3/8"), 19.05 mm (3/4"), 38.10 mm (1½"), 76.20 mm (3"), y 152.40 mm (6"). El módulo de finura es un índice de la finura del agregado, entre mayor sea el módulo de finura, más grueso será el agregado. Diferentes granulometrías de agregados pueden tener igual módulo de finura. El módulo de finura del agregado fino es útil para estimar las proporciones de los agregados finos y gruesos en las mezclas de concreto. A continuación se presenta un ejemplo de la determinación del módulo de finura de un agregado fino con un análisis de mallas supuesto:

Tamaño de la malla	Porcentaje de la fracción individual retenida, en peso	Porcentaje acumulado que pasa, en peso	Porcentaje acumulado retenido, en peso
9.52 mm (3/8")	0	100	0
4.75 mm (No.4)	2	98	2
2.36 mm (No.8)	13	85	15
1.18 mm (No.16)	20	65	35
0.60 mm (No.30)	20	45	55
0.30 mm (No.50)	24	21	79
0.15 mm (No.100)	18	3	97
Charola	3	0	---
Total		283	<i>Módulo de finura =</i> 283/100 = 2.83

4.1.4. Impurezas orgánicas e inorgánicas.

a) Ensayo de impurezas orgánicas presentes en la arena

Objetivo:

Determinar la cantidad de materia orgánica en la arena para elaborar concreto, por medio de colorimetría.

Equipo y material que se utiliza:

Frasco graduado en ml.

Solución de Hidróxido de sodio (sosa cáustica)

Agua

Arena en estudio

Solución de ácido Tánico, representa el color No. 3 (amarillo paja)

Procedimiento:

1. Se llena el frasco graduado de 300 ml. hasta la marca de 110 ml. con la muestra de arena que se va ensayar.
2. Añadir la solución de Hidróxido de sodio al 3%, hasta la marca de 175 ml.
3. Se agita el frasco fuertemente por un tiempo de un minuto.
4. Pasadas las 24 hrs. observar el color del líquido y se compara con la solución patrón, si el color es más oscuro que el amarillo paja; esta arena tendrá exceso de materia orgánica.

El exceso de materia orgánica en el concreto, inhibe una reacción química completa entre el cemento y el agua.

b) Ensayo de impurezas inorgánicas en la arena para concreto

Objetivo:

Determinar la cantidad de finos (arcillas y limos) presentes en la arena para concreto; los cuales, arriba de cierta cantidad se consideran nocivos en la elaboración de concreto.

Equipo y material que se utiliza:

- Probeta graduada, de 250 ml de capacidad
- Solución de sal al 1%
- Agua
- Regla o vernier

Procedimiento:

1. Colocar 50 ml. de la solución de sal al 1% en la probeta graduada.
2. Añadir arena hasta que su altura sea de 100 ml.
3. Agregar solución hasta llegar a la marca de 150 ml., se tapa la boca de la probeta y se agita manualmente por un minuto.
4. Dejar la probeta en sedimentación por 3 hrs. Como los granos de arena son más pesados se asientan primero que los finos.
5. Se mide la capa de arcilla y se obtiene el porcentaje que esta representa con respecto a la altura inicial. Esta capa no deberá exceder el 6%.

MATERIALES NOCIVOS EN LOS AGREGADOS.

Sustancias	Efecto en el concreto	Designación de la prueba
Impurezas orgánicas	Afectan el fraguado y el endurecimiento, pueden causar deterioros	ASTM C 40 ASTM C 87
Material más fino que la malla No.200 (80 micras)	Afecta a la adherencia, aumenta la cantidad de agua requerida	ASTM C 117
Carbón, lignito u otros materiales de peso ligero	Afectan a la durabilidad, pueden ser causa de manchas y erupciones	ASTM C 123

Partículas suaves	Afectan a la durabilidad	
Terrones de arcilla y partículas deleznables	Afectan a la trabajabilidad y a la durabilidad, pueden provocar erupciones	ASTM C 142
Horsteno de densidad relativa inferior a 2.40	Afecta a la durabilidad, puede provocar erupciones	ASTM C 123 ASTM C 295
Agregados reactivos con los álcalis	Expansión anormal, agrietamientos en forma de mapa, erupciones	ASTM C 227 ASTM C 289 ASTM C 295 ASTM C 342 ASTM C 586

Los agregados son potencialmente dañinos si contienen compuestos que reaccionen químicamente con el concreto de cemento Portland y que produzcan (1) cambios significativos en el volumen de la pasta o del agregado o de ambos, (2) interferencia en la hidratación normal del cemento, y (3) otros productos secundarios dañinos.

4.1.7. Contenido de humedad de la arena

Objetivo:

Determinar la cantidad de agua que posee una muestra de arena, con respecto al peso seco de la muestra. Esta prueba se lleva a cabo antes de hacer una mezcla de concreto, con el fin de hacer los ajustes en la cantidad de agua de mezclado.

Fórmula:

$$\text{D} = \frac{Ww}{Peso\ de\ agua} \times 100$$

Procedimiento:

a) Método rápido:

1. Se anota el número de la charola y se pesa, anotándola como tara (**T**).
2. Se vacía arena húmeda a la charola y se pesa, anotándola como tara + arena húmeda (**T + Ah**).
3. Se pone a secar la arena en la estufa, moviéndola algunas veces para que sea mas rápido el secado, se coloca encima el cristal de reloj para comprobar que la arena ya no tenga humedad; esto ocurrirá cuando ya no empañe el cristal.
4. Posteriormente, se deja enfriar (charola y suelo)
5. Se procede a pesar, lo que seria charola + arena seca (**T + A's**)
6. Y se realizan los cálculos para determinar el contenido de agua por el método rápido.

$$w = \frac{(T + Ah) - (T + A's)}{T + A's} \times 100 = \frac{W_w}{W_s} \times 100$$

La absorción y humedad superficial de los agregados se debe determinar de acuerdo con las normas ASTM C 70, C 127, C 128 y C 566 de manera que se pueda controlar el contenido neto de agua en el concreto y se puedan determinar los pesos correctos de cada mezcla. La estructura interna de una partícula de agregado, está constituida de materia sólida y de vacíos que pueden o no contener agua.

Las condiciones de humedad de los agregados se muestran en la Figura 4.1.7. Se designan como:

1. Secado al horno. Completamente absorbentes.
2. Secados al aire. Secos en la superficie de la partícula pero conteniendo cierta humedad interior, siendo por lo tanto algo absorbentes.
3. Saturados y superficialmente secos (SSS). No absorben ni ceden agua a la mezcla de concreto.
4. Húmedo. Contienen un exceso de humedad en la superficie (agua libre).

Estado:	Secado al horno	Secado al aire	Saturado, superficialmente o mojado seco	Húmedo
---------	--------------------	-------------------	--	--------



Humedad total:	Ninguna	Menor que la absorción potencial	Igual a la absorción potencial	Mayor que la absorción
----------------	---------	--	--------------------------------------	---------------------------

Figura 4.1.7. Condiciones de humedad de los agregados.

La cantidad de agua utilizada en la mezcla de concreto, se debe ajustar a las condiciones de humedad de los agregados de manera que cubra los requerimientos de agua. Si el contenido de agua de la mezcla de concreto no se mantiene constante, la resistencia a la compresión, la

trabajabilidad y otras propiedades variarán de una revolución a otra. Los contenidos de agua libre, normalmente varían desde 0.5% hasta 2% para el agregado grueso y desde 2% hasta 6% para el agregado fino. El contenido máximo de agua de un agregado grueso drenado, usualmente es menor que el de un agregado fino. La mayoría de los agregados finos pueden mantener un contenido de humedad drenado máximo, aproximadamente de 3% a 8%, mientras que los agregados gruesos sólo pueden mantener aproximadamente de 1% a 6%.

4.1.9. Sanidad.

El procesamiento del agregado consiste en (1) procesamiento básico, triturado, cribado y lavado, para obtener una granulometría y limpieza adecuadas, y (2) beneficio – el mejoramiento de la calidad por medio de otros métodos de procesamiento tales como la separación en un medio pesado, el cribado en agua, la clasificación por corriente ascendente, y la trituración.

En la separación en un medio pesado, se hace pasar a los agregados a través de un medio pesado compuesto por minerales pesados finamente molidos más agua en proporciones de modo que tenga un peso específico menor que el de las partículas de los agregados pero mucho mayor que el de las partículas deletéreas. Las partículas de mayor peso se hunden y las partículas más ligeras flotan. Este proceso se puede usar cuando las partículas aceptables y las contaminantes tengan distintos pesos específicos.

En el cribado en agua se separan las partículas con pequeñas diferencias de peso específico pulsando una corriente de agua. Las pulsaciones de agua hacia arriba a través de una criba (una caja con el fondo perforado) mueven el material más ligero para formar una capa sobre el material de mayor peso. Posteriormente se quita la capa superior.

La clasificación por corriente ascendente separa a las partículas que tengan fuertes diferencias en sus pesos específicos. Los materiales ligeros, como la madera y el lignito, se van flotando en una rápida corriente ascendente de agua.

La trituración aparta a las partículas blandas y deleznables de los agregados gruesos. Este proceso es en ocasiones el único medio para que el material pueda ser usado. Desafortunadamente, en cualquier proceso siempre se pierde una parte del material sano y la remoción de las partículas deletéreas puede llegar a ser difícil o costosa.

4.2. Agregado grueso (grava).

4.2.1. Características generales, muestreo.

Los agregados gruesos consisten en una grava o una combinación de gravas o agregado triturado cuyas partículas sean predominantemente mayores que 5 mm y generalmente entre 9.5 mm y 38 mm.

Los agregados gruesos deben cumplir ciertas reglas para darles un uso ingenieril óptimo: deben consistir en partículas durables, limpias, duras, resistentes y libres de productos químicos absorbidos, recubrimientos de arcilla y de otros materiales finos que pudieran afectar la hidratación y la adherencia de la pasta de cemento. Las partículas de agregado que sean desmenuzables o susceptibles de resquebrajarse son indeseables.

4.2.2. Análisis granulométrico. Tablas gráficas mostrando granulometría ideal.

Tabla 4.2.2. Requisitos de granulometría para los agregados gruesos (ASTM C 33).

Número de Tamaño	Tamaño nominal (mallas con aberturas cuadradas)	Cantidades menores que pasan cada malla de laboratorio (aberturas cuadradas), por ciento en peso												
		(100 mm) 4 pulg	(90 mm) 3.5 pulg	(75 mm) 3 pulg	(63 mm) 2.5 pulg	(50 mm) 2 pulg	(37.5 mm) 1.5 pulg	(25.0 mm) 1 pulg	(19.0 mm) ¾ pulg	(12.5 mm) ½ pulg	(9.5 mm) 3/8 pulg	(4.75 mm) No.4	(2.36 mm) No.8	(1.18 mm) No.16
1	90 a 37.5 mm	100	90 a 100	---	25 a 60	----	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
2	63 a 37.5 mm	---	---	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----	----
3	50 a 25.0 mm	----	----	----	100	90 a 100	35 a 70	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----	----
357	50 a 4.75 mm	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	----	0 a 5	----	----
4	37.5 a 19.0 mm	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	----	0 a 5	----	----	----
467	37.5 a 4.75 mm	----	----	----	----	100	95 a 100	----	35 a 70	----	10 a 30	0 a 5	----	----
5	25.0 a 12.5 mm	----	----	----	----	----	100	90 a 100	20 a 55	0 a 10	0 a 5	----	----	----
56	25.0 a 9.5 mm	----	----	----	----	----	100	90 a 100	40 a 85	10 a 40	0 a 15	0 a 5	----	----
57	25.0 a 4.75	----	----	----	----	----	100	95 a 100	----	25 a 60	----	0 a 10	0 a 5	----

	mm												
6	19.0 a 9.5 mm	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	20 a 55	0 a 15	0 a 5	---
67	19.0 a 4.75 mm	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	---	25 a 55	0 a 10	0 a 5
7	12.5 a 4.75 mm	---	---	---	---	---	---	---	100	90 a 100	40 a 70	0 a 15	0 a 5
8	9.5 a 2.36 mm	---	---	---	---	---	---	---	100	85 a 100	10 a 30	0 a 10	0 a 5

El tamaño máximo de agregado que se utiliza en el concreto tiene su fundamento en la economía. Comúnmente se necesita más agua y cemento para agregados de tamaño pequeño que para mayores tamaños.

El tamaño máximo de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual *todo* el agregado debe pasar. El tamaño máximo nominal de un agregado, es el menor tamaño de malla por el cual debe pasar la mayor parte del agregado. La malla de tamaño máximo nominal, puede retener de 5% a 15% del agregado dependiendo del número de tamaño. Por ejemplo, el agregado de número de tamaño 67 tiene un tamaño máximo de 25 mm y un tamaño máximo nominal de 19 mm. De 90% a 100% de este agregado debe pasar la malla de 19 mm y todas sus partículas deberán pasar la malla de 25 mm.

El tamaño máximo del agregado que puede ser empleado depende generalmente del tamaño y forma del elemento de concreto y de la cantidad y distribución del acero de refuerzo. Por lo común el tamaño máximo de las partículas de agregado no debe sobrepasar:

1. Un quinto de la dimensión más pequeña del miembro de concreto.
2. Tres cuartos del espaciamiento libre entre barras de refuerzo.
3. Un tercio del peralte de las losas.

Estos requisitos se pueden rebasar si, en opinión del ingeniero, la mezcla tiene la trabajabilidad suficiente para colocar el concreto sin que se formen alveolados ni vacíos.