

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES DEL CONCRETO

El concreto

Generalidades

El concreto es uno de los materiales de ingeniería más utilizados en proyectos de construcción debido a sus propiedades fisicomecánicas, su versatilidad y bajo costo. Las calzadas de vías para automóviles, viviendas unifamiliares o edificios, puentes peatonales o vehiculares, depósitos de almacenamiento y tuberías de acueductos y alcantarillados, muros de contención en represas, escenarios deportivos y monumentos son algunas de las construcciones posibles gracias al uso de este material.

El concreto es un material compuesto, cuya matriz es el aglomerante, cemento Portland, y las partículas agregadas son, por lo general, arena y grava. La mezcla se hace en presencia de agua y en algunas ocasiones, también se adicionan aditivos para conseguir determinadas propiedades. Es un material de gran durabilidad y con alta resistencia a la compresión y baja resistencia a la tracción; por tal motivo, las construcciones se diseñan con estructuras de acero en su interior para soportar los esfuerzos de tensión. Las propiedades mecánicas y la resistencia final de concreto están relacionadas con los componentes que se agreguen a la mezcla, sus cantidades y con el control que se tenga del proceso de fraguado.

Para que el concreto adopte su forma definitiva debe ser preparado en un estado fluido y viscoso, denominado mezcla, para poder ser colocado acorde a su forma definitiva definida mediante unas formaletas o moldes. La colocación de esta mezcla se denomina «vaciado del concreto» y se hace como se muestra en la figura 1.1.

Figura 1.1 Vaciado del concreto..



Fuente: Aula Virtual UPES

Clasificación del concreto

La Asociación Colombiana de Productores de Concreto – Asocreto– asegura que, de acuerdo con el tipo de necesidad o aplicación del concreto, este se puede clasificar según las características de sus componentes, su trabajabilidad, peso y resistencia, clasificación que se aborda a continuación.

Según el tamaño máximo de su agregado grueso

Se pueden obtener concretos más económicos al utilizar agregados de gran tamaño y concretos con mejor desempeño mecánico al utilizar agregados de menor tamaño. La tabla 1.1 muestra algunas de las aplicaciones de este material compuesto con relación al tamaño máximo del agregado.

Tabla 1.1 Concreto según el tamaño máximo de su agregado.

Tipo de concreto	Tamaño máximo (mm)	Uso
De grava fina	4,75-19	Columnas, muros, elementos esbeltos.
De grava común	19-37,5	Estructuras convencionales.
De grava gruesa	37,5-150	Pavimentos, presas.
Ciclópeo	> 150	Cimentaciones, rellenos.

Fuente: Adaptado de Asocreto 2011.

Según la consistencia

Como se presenta en la tabla 1.2, se pueden elaborar concretos de baja o alta trabajabilidad y con determinadas propiedades de resistencia en función del tipo de proyecto, de las condiciones ambientales, del tipo de elemento a fundir, del sistema de colocación e incluso, en función del método de compactación.

Tabla 1.2 Concreto según su consistencia.

Tipo de consistencia	Asentamiento (mm)	Uso
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.
Seca	20-35	Pavimentos.
Semiseca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple.
Media	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas.
Húmeda o fluida	100-150	Elementos estructurales esbeltos.
Muy húmeda o muy fluida	> 150	Elementos muy esbeltos, pilotes.

Fuente: Adaptado de Asocreto 2011.

Según la resistencia a la compresión

Dependiendo de los requerimientos de resistencia de diseño se pueden producir desde concretos para uso simple, hasta concretos que soporten grandes esfuerzos en megaproyectos de ingeniería (tabla 1.3), cada vez más complejos, donde concretos con ultra alta resistencia son preparados con cementos y aditivos especiales, así como un control de la menor relación agua/cemento posible para no afectar la trabajabilidad de la mezcla.

Tabla 1.3 Concreto según su resistencia.

Resistencia	Resistencia (MPa)	Uso
Normal	7-70	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación.
Alta	70-140	Elementos estructurales esbeltos.
Ultra alta resistencia	> 140	Elementos muy esbeltos, pilotes.

Fuente: Adaptado de Asocreto 2011.

Según su peso unitario

Se pueden producir concretos de peso liviano, normal y pesado; esto depende principalmente de la disponibilidad del material o la necesidad específica del proyecto y se da en concordancia con el tipo de materiales a utilizar en los agregados.

Tabla 1.4 Tipos de concreto según su peso unitario.

Tipo de concreto	Subtipo	Peso unitario concreto (Kg/m ³)	Agregado
Ligero	Sin finos	880-1920	Grava, piedra, escoria.
	De agregados de peso ligero	400-1520	Vermiculita, perlita, carlita, piedra pómez, escoria espumada, arcilla expandida, esquistos expandidos.
	Celular	400-800	Agregados artificiales.
Normal		2000-2500	Canto rodado.
Pesado		> 2500	Barita, hierro.

Adaptado de Asocreto 2011.

Según la exposición y durabilidad

El concreto puede estar expuesto a múltiples y diversas condiciones según el ambiente donde se esté construyendo, pues los proyectos de ingeniería que emplean concreto se desarrollan tanto en zonas áridas y desérticas con altas temperaturas, como en zonas de exposición permanente al hielo, agua o bajas temperaturas. La tabla 1.5, tomada del Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente –NSR-10– (AIS, 2010) señala algunas categorías y condiciones que deben tenerse en cuenta a la hora de seleccionar los componentes de la mezcla, buscando el cumplimiento de los requisitos y especificaciones de resistencia y durabilidad (ver tabla 1.6).

Tabla 1.5 Categorías de exposición del concreto.

Categoría	Severidad	Clase	Condición	
F Congelamiento	No aplica	F0	Concreto no expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo.	
	Moderada	F1	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y exposición ocasional a la humedad.	
	Severa	F2	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo y en contacto continuo con la humedad.	
	Muy severa	F3	Concreto expuesto a ciclos de congelamiento y deshielo que estará en contacto continuo con la humedad y expuesto a productos químicos descongelantes.	
S Sulfato			Sulfatos solubles en agua (SO₄) en el suelo, % en peso	Sulfato (SO₄) disuelto en agua, ppm
	No aplica	S0	(SO ₄) < 0,10	(SO ₄) < 150
	Moderada	S1	0,10 ≤ (SO ₄) < 0,20	150 ≤ (SO ₄) < 1500
	Severa	S2	0,20 ≤ (SO ₄) < 2,00	1.500 ≤ (SO ₄) < 10.000
	Muy severa	S3	(SO ₄) > 2,00	(SO ₄) > 10.000
P Requiere baja permeabilidad	No aplicable	P0	En contacto con el agua donde no se requiere baja permeabilidad.	
	Requerida	P1	En contacto con el agua donde se requiera baja permeabilidad.	
C Protección del refuerzo para corrosión	No aplicable	C0	Concreto seco o protegido contra la humedad.	
	Moderada	C1	Concreto expuesto a la humedad, pero no a una fuente externa de cloruros.	
	Severa	C2	Concreto expuesto a la humedad y a una fuente externa de cloruros provenientes de productos químicos descongelantes, sal, agua salobre, agua de mar o salpicaduras del mismo origen.	

Fuente: Adaptado de Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2010).

Tabla 1.6 Requisitos para concreto de acuerdo a su grado exposición.

Clase de exposición	Relación a/c máxima	Resistencia mínima (MPa)
F0	No aplica	17
F1	0,45	31
F2	0,45	31
F3	0,45	31
S0	No aplica	17
S1	0,50	28
S2	0,45	31
S3	0,45	31
P0	No aplica	17
P1	0,50	28
C1	No aplica	17
C2	0,50	17
C3	0,40	35

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS, 2010).

Composición del concreto

Como se definió anteriormente, el concreto es un material compuesto que se produce al mezclar cemento, agregados y agua. Las propiedades de este material de ingeniería dependen, en gran medida, de las propiedades individuales de cada uno de los componentes, así como de las cantidades de cemento y de la relación de agua/cemento. Para definir mejor este postulado, a continuación se hace una descripción de los elementos que conforman la mezcla.

Cemento

Es por excelencia el material aglutinante de los agregados en las mezclas de concreto. El cemento Portland es el más utilizado. Se le conoce como cemento hidráulico por sus propiedades de fraguado y endurecimiento en presencia de agua. Este aglutinante posee excelentes propiedades de cohesión y adhesión que, en conjunto con los materiales agregados, conforman concretos con buen desempeño estructural.

El cemento se fabrica a partir de calcáreos como la caliza, materiales arcillosos con alto contenido de alúmina y sílice con adición de otros materiales como el óxido de hierro. Estos materiales pasan por un proceso de molienda y calcinación en hornos rotatorios para obtener así el clínker, que al ser pulverizado y mezclado con yeso, da origen al cemento Portland. Los componentes del cemento como el

silicato tricálcico y didálcico, aluminato tricálcico y ferroaluminato tetracálcico, se forman principalmente a partir del óxido de calcio (CaO), dióxido de sílice (SiO_2), óxido de aluminio (Al_2O_3) y óxido de hierro (Fe_2O_3), y otros compuestos menores.

La figura 1.2 muestra una de las formas más comunes de comercialización del cemento. Por lo general se distribuye en bultos de peso cercano a los 50 kg. Su transporte y almacenamiento se debe hacer bajo condiciones libres de humedad.

Figura 1.2 Cemento Portland.



Fuente: Cemento Portland. Comfer SAS...

El uso del cemento y la consecución de sus propiedades de adhesión dependen en gran medida del proceso de hidratación. Esto se produce al entrar en contacto con el agua, reaccionando químicamente y formando una pasta que propicia el desarrollo de materiales cementantes. Quiroz y Salamanca (2006) muestran estas reacciones de la siguiente manera:

- Silicato tricálcico + agua \rightarrow gel de tobermorita + hidróxido de calcio.
- Silicato dicálcico + agua \rightarrow gel de tobermorita + hidróxido de calcio.
- Ferroaluminato tetracálcico + agua + hidróxido de calcio \rightarrow hidrato de calcio.
- Aluminato tricálcico + agua + hidróxido de calcio \rightarrow hidrato de Aluminato tricálcico.
- Aluminato tricálcico + agua + yeso \rightarrow sulfoaluminatos de calcio.

En las reacciones donde intervienen los silicatos (que representan alrededor del 75% del peso) se producen el gel de tobermorita no cristalino e hidróxido de calcio cristalino, representando aproximadamente el 50% y 25% del peso final respectivamente.

El gel de tobermorita con estructura semejante a un mineral natural del mismo nombre, aglutina y aglomera todos los materiales del concreto. Los tamaños de las partículas de la misma, están en el orden de la décima parte del tamaño de una partícula del cemento (10 μm), significando una enorme cantidad de área específica, produciendo gran atracción entre partículas del mismo gel y otras, dando como resultado la resistencia al concreto.

Durante el proceso de hidratación se efectúan reacciones químicas exotérmicas, que liberan calor, por lo que el concreto aumenta su temperatura al fraguar y endurecer. Esto puede resultar desventajoso cuando se utilizan enormes cantidades de concreto como en presas y otras estructuras de concreto masivo, pues puede conllevar a la formación de grietas y fisuras en el producto final, poniendo en riesgo la funcionalidad y vida útil de la estructura.

Una etapa muy importante en el desarrollo de construcciones en concreto es el fraguado del cemento. Es en este punto donde se alcanza gradualmente la rigidez de una mezcla de concreto debido a reacciones químicas ocurridas después de la adición del agua. La velocidad de fraguado está estandarizada por normas en las que se establece un tiempo indicado a partir del mezclado. Dicha velocidad puede modificarse mediante aditivos.

El endurecimiento del cemento depende de las propiedades fisicoquímicas del mismo y sus condiciones de curado; además, esta es dependiente de la relación agua/cemento (a/c) con respecto a su resistencia última.

La resistencia del cemento es, por lo general, ensayada en morteros como se muestra en figura 1.3. Los ensayos de resistencia sobre la pasta únicamente pueden resultar poco útiles, al momento de determinar su comportamiento en conjunto con los materiales agregados. Por otra parte, los resultados de ensayos a concretos para calificar cementos, son poco utilizados en la mayoría de los países, pues factores como el tamaño relativamente mayor de las partículas de agregados y la dificultad de obtener agregados gruesos normalizados afectan su estudio.

Figura 1.3 Ensayo de resistencia del cemento.

Ensayo de resistencia del cemento. Fuente: TEC Services.

Actualmente se produce una amplia variedad de cementos de acuerdo a las necesidades y requerimientos de un amplio espectro de aplicaciones. En la tabla 1.7 se hace una lista de los principales cementos para determinadas condiciones de uso según la Norma Técnica Colombiana NTC 30 (tabla 1.7).

Tabla 1.7 Tipos de cemento.

Cemento	Tipo
Portland tipo I	Normal
Portland tipo I-A	Normal inclusor de aire
Portland tipo I-M	Normal de mayores resistencias
Portland tipo I-M-A	Normal de mayores resistencias, inclusor de aire
Portland tipo II	De resistencia moderada a los sulfatos
Portland tipo II-A	De resistencia moderada a los sulfatos, inclusor de aire
Portland tipo III	De alta resistencia inicial
Portland tipo III-A	De alta resistencia inicial, inclusor de aire
Portland tipo IV	De bajo calor de hidratación
Portland tipo V	De resistencia elevada a los sulfatos
Portland blanco	Color blanco, tipo I o III

Fuente: Adaptado de Icontec NTC 30 (1997).

Otras propiedades de gran importancia del cemento son la densidad, la finura, la consistencia, la fluidez y la expansión. Las normas de metodología de muestreo y ensayo del cemento para el estudio de sus propiedades se muestran en la tabla 1.8.

Tabla 1.8 Normas de metodología, ensayo y muestreo del cemento.

Tema	Norma NTC	Norma ASTM
Normas generales		
Clasificación y nomenclatura	30	-
Definiciones	31	-
Extracción de muestras	508	C138
Exudación de pastas y morteros	47	C243
Especificaciones		
Especificaciones físicas y mecánicas	121	C150
Cemento blanco	1362	C150
Propiedades químicas		
Actividad puzolánica	1512	-
Actividad puzolánica, resistencia a la compresión	1784	-
Análisis químicos	184	C114
Ensayos sobre cemento		
Finura, aparato de Blaine	33	C204
Finura, tamices NTC 44	294	C430
Finura, tamices NTC 75 y 149	226	C184
Finura, turbidímetro	597	C597
Densidad	221	C188
Ensayos sobre la pasta del cemento		
Calor de hidratación	117	C186
Consistencia normal, aparato de Vicat	110	C187
Expansión del cemento	1514	-
Expansión del cemento, autoclave	107	C151
Expansión del cemento, método de la pasta	297	C451
Fluidez de morteros, masa de flujo	111	C230
Tiempo de fraguado, aparato de Guilmore	109	C266
Tiempo de fraguado, aparato de Vicat	118	C191
Normas generales		
Contenido de aire	224	C185
Expansión potencial	397	C452
Falso fraguado, método del mortero	225	C359

Resistencia a la compresión	220	C109
Resistencia a la flexión	120	C348
Resistencia a la tensión	119	C190

Fuente: Adaptado de Asocreto 2011.

Agregados para concreto

En el concreto, los agregados conforman alrededor del 70% por unidad de volumen; estos comúnmente son de origen natural obtenidos a través del procesamiento de rocas como lo son la arena y la grava (figura 1.4). Otros, obtenidos de fuentes artificiales como arcillas expandidas, escorias de alto horno, Clinker y limaduras de hierro.

Figura 1.4 Cantera de explotación de agregados.



De acuerdo con el origen de los agregados, su composición, tamaño de sus partículas, forma y densidad, estos difieren de una fuente a otra; he ahí la importancia de estudiar detenidamente los materiales previamente al diseño de la mezcla, pues estos, al conformar la mayor parte del cuerpo del concreto, deben a su vez aportar una resistencia propia suficiente para garantizar la resistencia a las que estará sometido el elemento.

Los agregados de origen natural (roca, grava, arena), son utilizados mayormente debido a la resistencia propia de su naturaleza, su economía y fácil obtención, pues dentro del concreto actúan también como material llenante, proporcionando una buena relación resistencia/costo cuando los materiales son de buena calidad.

Los agregados utilizados para la elaboración de concreto pueden provenir de diversas fuentes, siempre y cuando demuestren, a través de ensayos o por experiencias prácticas, que producen concreto de resistencia y durabilidad adecuadas tal como lo explica la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS (2010).

Aparte de una diferenciación o clasificación de los agregados naturales según su tamaño (tabla 1.9), estos pueden clasificarse de acuerdo a características según su naturaleza, su procedencia y su gravedad específica.

Tabla 1.9 Clasificación de agregados según tamaño.

Denominación para concreto	Denominación según tamaño	Tamaño (mm)
Agregado grueso	Rajón, piedra bola	> 152,4
	Piedra	50,8-152,4
	Grava	19,1-50,8
	Gravilla	4,76-19,1
Agregado fino	Arena	0,075-4,76
Fracción muy fina	Limo	0,002-0,074
	Arcilla	< 0,002

Fuente: Adaptado de Asocreto 2011.

En la actualidad, se han desarrollado y experimentado con materiales que puedan sustituir parcial o totalmente a los agregados naturales; además de aportar otro tipo de beneficios como la economía del concreto, mejora de propiedades mecánicas, disminución de su peso por unidad de volumen, estos son denominados comúnmente agregados no convencionales. En la tabla 1.10 se muestran algunos ejemplos.

Tabla 1.10 Clasificación de agregados según su fuente de obtención.

Naturales o convencionales	Artificiales o no convencionales
Materiales de arrastre de río	Materiales aligerantes de poliestireno o arcilla expandida
Materiales de cantera	Materiales de demolición
Escoria de alto horno	Otros materiales reciclados

De acuerdo a su gravedad específica, se pueden obtener concretos de variados pesos por unidad de volumen, de acuerdo tanto a la disponibilidad del material como con la necesidad del proyecto. Para Quiroz y Salamanca (2006), los agregados de gravedad específica menor a 2,5 se consideran ligeros, pues pueden obtenerse concretos livianos con peso por unidad de volumen desde los 400 Kg/m³ hasta los 2000 Kg/m³. Con agregados de gravedad específica 2,5 a 2,75 pueden obtenerse concretos de peso normal desde los 2300 Kg/m³ hasta los 2500 Kg/m³, y finalmente con agregados de gravedad específica mayor a 2,75 se pueden obtener concretos pesados desde los 2900 Kg/m³. En la tabla 1.11 se observa la gravedad específica de algunos agregados de diversos tipos de rocas.

Tabla 1.11 Clasificación de agregados según su gravedad específica.

Tipo de roca	Gravedad específica
Ígneas	
Granito	2,65
Sienita	2,74
Diorita	2,9
Gabro	2,96
Periodotita	3,31
Felsita	2,66
Basalto	2,86
Diabasa	2,96
Sedimentarias	
Caliza	2,66
Dolomita	2,7
Arenisca	2,54
Chert	2,5
Conglomerado	2,68
Brecha	2,57
Metamórficas	
Gneis	2,74
Anfibolita	3,02
Pizarra	2,74
Cuarcita	2,69
Mármol	2,63
Serpentina	2,62

Fuente: Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de tecnología del hormigón.

Una propiedad muy importante de los agregados con que se mezcla el concreto es la granulometría. Esta característica es definida como la distribución del tamaño de sus partículas mediante un proceso de tamizado para el posterior cálculo de los porcentajes de masa que pasan en cada tamiz, los cuales deben encontrarse dentro de los límites normativos que garantizan una buena distribución de partículas y la máxima densidad en la mezcla, propiciando un buen desempeño del concreto.

Generalmente, se manejan dos tipos o tamaños de granulometría para los agregados: fina y gruesa. La granulometría del agregado fino para elaboración de mezclas de concreto debe estar clasificada dentro de los límites que se observan en la tabla 1.12.

Tabla 1.12. Requisitos de gradación para agregado fino.

Tamiz NTC 32	% que pasa (en masa)
9,5 mm	100
4,75 mm	95 a 100
2,36 mm	80 a 100
1,18 mm	50 a 85
600 μm	25 a 60
300 μm	10 a 30
150 μm	2 a 10

Fuente: Adaptado de Icontec NTC 32, 2002.

La granulometría del agregado grueso para concreto puede estar entre los requisitos de número de tamaño especificado que se observan en la tabla 1.13. Adicionalmente, según la NSR-10, de acuerdo con la aplicación del concreto se recomienda que el tamaño nominal máximo no sea superior a:

- 1/5 de la menor separación entre los lados del encofrado.
- 1/3 de la altura de la losa.
- 3/4 del espaciamiento mínimo libre entre las barras o alambres individuales de refuerzo, paquetes de barras, tendones individuales, paquetes de tendones o ductos.

Los agregados deben estar libres de impurezas orgánicas o sustancias dañinas para alcanzar condiciones de sanidad con el fin de que no se afecte el futuro desempeño del concreto. Otras metodologías y ensayos de importancia sobre agregados se muestran en la tabla 1.14.

Tabla 1.13 Requisitos de gradación para agregado grueso.

Número del tamaño del agregado	Tamaño nominal (tamices de abertura cuadrada)	Material que pasa uno de los siguientes tamices (% en masa)												
		100 mm	90 mm	75 mm	63 mm	50 mm	37,5 mm	25 mm	19 mm	12,5 mm	9,5 mm	4,75 mm (No. 4)	2,36 mm (No. 8)	1,18 mm (No. 16)
1	90 mm a 37,5 mm	100	90-100	-	25-60	-	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
2	63 mm a 37,5 mm	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-	-
3	50 mm a 25 mm	-	-	-	100	90-100	35-70	0-15	-	0-5	-	-	-	-
357	50 mm a 4,75 mm (n.º 4)	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	-	0-5	-	-
4	37,5 mm a 19 mm	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	-	0-5	-	-	-
457	37,5 mm a 4,75 mm (n.º 4)	-	-	-	-	100	95-100	-	35-70	-	10-30	0-5	-	-
5	25 mm a 12,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-10	0-5	-	-	-
56	25 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	100	90-100	40-85	10-40	0-15	0-5	-	-
57	25 mm a 4,75 mm (n.º 4)	-	-	-	-	-	100	95-100	-	25-60	-	0-10	0-5	-
6	19 mm a 9,5 mm	-	-	-	-	-	-	100	90-100	20-55	0-15	0-5	-	-
67	19 mm a 4,75 mm (n.º 4)	-	-	-	-	-	-	100	90-100	-	20-55	0-10	0-5	-
7	12,5 mm a 4,75 mm (n.º 4)	-	-	-	-	-	-	-	100	90-100	40-70	0-15	0-5	-
8	9,5 mm a 2,36 mm (n.º 8)	-	-	-	-	-	-	-	-	100	85-100	10-30	0-10	0-5

Fuente: ICONTEC NTC 174, pág. 8, 2000.

Tabla 1.14 Normas de metodología, ensayo y muestreo los agregados.

Tema	Norma NTC	Norma ASTM
Normas generales		
Agregados livianos para concreto	4045	C330
Prácticas para la reducción del tamaño de las muestras de agregados	3674	C702
Práctica para la toma de muestras de agregado	179	D75
Especificaciones		
Especificaciones de los agregados para concreto	174	C330
Ensayos sobre agregados		
Contenido de materia orgánica en arena	127	C40
Determinación de resistencia al desgaste por la máquina de Los Ángeles	98-93	C131-C135
Efectos de impurezas orgánicas del agregado fino sobre la resistencia	579	C87
Método para determinar el porcentaje de terrones de arcilla y partículas deleznable en el agregado	589	C142
Método para determinar la cantidad de partículas livianas en los agregados pétreos	130	C123
Método para determinar la densidad y absorción de los agregados finos	237	C128
Método para determinar la densidad y absorción de los agregados gruesos	176	C127
Método para determinar la dureza al rayado de los agregados gruesos	183	C235
Método para determinar la masa unitaria de los agregados	92	C29
Método para determinar la sanidad de los agregados por ataque con sulfatos	126	C88
Método para determinar por lavado el material que pasa el tamiz 75 en agregados minerales	78	-
Método para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos	77	-
Método para la determinación del contenido total de humedad de los agregados por secado	1776	-
Método químico para determinar la reactividad	175	-

Fuente: Adaptado de Asocreto 2011.

Agua para concreto

El agua, en conjunto con el cemento, forma una pasta aglutinante que embebe las partículas de agregado para la conformación del concreto al desarrollar sus

propiedades; asimismo la cantidad de agua adicionada a la mezcla determina la fluidez, trabajabilidad y manejabilidad de la misma. Se considera que la cantidad de agua necesaria para la hidratación del cemento está entre el 25% y el 30%, sin embargo, para que la mezcla tenga un fácil manejo, la adición de agua debe estar por el orden del 40%. El control de la cantidad de agua en la mezcla debe ser riguroso, pues aquella agua que no conforma la pasta cementante que endurece, queda libre en la mezcla, evaporándose normalmente, dejando cierta porosidad en el concreto, lo que a futuro puede afectar su resistencia.

La norma NTC 5551 (2007) sugiere que el agua no potable no se utilice para la mezcla del concreto pues el agua utilizada para este fin, debe estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de cloruros, aceites, ácidos, álcalis, sales, materiales orgánicos y otras sustancias que puedan ser perjudiciales para el concreto o el refuerzo.

En Colombia, la regulación para el uso del agua en mezclas de concreto está dada por la norma NTC 3459. Sin embargo, a continuación, en la tabla 1.15 se señalan algunas metodologías y ensayos de importancia para analizar el agua que se adiciona al cemento en la producción del material compuesto de ingeniería, denominado concreto u hormigón.

Tabla 1.15 Normas de metodología, ensayo y muestreo agua para concreto.

Tema	Norma NTC	Norma ASTM
Agua para la elaboración de concreto y mortero de cemento hidráulico	3459	-
Acidez y alcalinidad	-	D1067
Calcio y magnesio	-	D511
Cloruros	1623	D512
Definición de términos relativos al agua	-	D1129
Dureza	1604	
Partículas y materia disuelta en agua	-	D1888
PH	-	D1239
Sulfatos	1603	D516
Turbiedad	881	-

Fuente: Adaptado de Asocreto 2011.

Aditivos

Los aditivos se agregan a la mezcla del concreto, antes o durante su elaboración, con la finalidad de modificar las propiedades del material compuesto. Los aditivos se agregan para alterar, por ejemplo, la velocidad de fraguado, la impermeabilidad e incluso la resistencia; esto se resume en la tabla 1.16.

Tabla 1.16 Aditivos para concreto.

Tipo de aditivo	Efecto deseado
Aditivos convencionales	
Plastificantes	Plastificar o reducir agua.
Retardantes	Retardar el tiempo de fraguado.
Acelerantes	Acelerar el fraguado y resistencia.
Inclusores de aire	Aumentar la impermeabilidad y mejorar la trabajabilidad.
Aditivos minerales	
Cementantes	Aumentar las propiedades cementantes, sustituir parcialmente el cemento.
Puzolanas	Mejorar la trabajabilidad, plasticidad, resistencia a los sulfatos, reducir la reacción álcali-agregado, la permeabilidad y el calor de hidratación, sustituir parcialmente el cemento.
Inertes	Mejorar la trabajabilidad y rellenar.
Aditivos misceláneos	
Formadores de gas	Provocar expansión antes del fraguado.
Impermeabilizantes	Disminuir la permeabilidad.
Ayudas de bombeo	Mejorar la capacidad de bombeo.
Inhibidores de corrosión	Reducir el avance de la corrosión en ambientes con cloruros.
Colorantes	Colorear al concreto.

Fuente: Adaptado de Asocreto 2011.

Asentamiento y resistencia del concreto

Asentamiento

Esta característica está relacionada con la consistencia del concreto, su movilidad relativa o capacidad de fluir. El asentamiento del concreto se puede determinar a través de un método que consiste en colocar concreto fresco en un molde con forma de cono truncado; la mezcla se compacta y posteriormente se retira el molde. La medición del asentamiento corresponde a la diferencia entre la altura de la posición inicial y final de la muestra como se indica en la figura 1.5.

Figura 1.5 Ensayo de asentamiento.

Sánchez de Guzman (2004) sugiere algunos valores para el asentamiento según el tipo de obra y la forma de colocación de la mezcla. Estos valores son mostrados en la tabla 1.17.

Tabla 1.17 Valores sugeridos para el asentamiento del concreto.

Consistencia	Asentamiento	Ejemplos de tipos de construcción	Sistema de colocación	Sistema de compactación
Muy seca	0-20	Prefabricados de alta resistencia, revestimiento de pantallas de cimentación	Con vibradores de formaleta; concretos de proyección neumática (lanzados)	Secciones sujetas a vibración extrema, puede requerirse presión
Seca	20-35	Pavimentos	Pavimentadoras con terminadora vibratoria	Secciones sujetas a vibración intensa
Semiseca	35-50	Pavimentos, fundaciones en concreto simple, losas poco reforzadas	Colocación con máquinas operadas manualmente	Secciones simplemente reforzadas con vibración
Media (plástica)	50-100	Pavimentos compactados a mano, losas, muros, vigas, columnas, cimentaciones	Colocación manual	Secciones simplemente reforzadas con vibración

Húmeda	100-150	Elementos estructurales esbeltos o muy reforzados.	Bombeo	Secciones bastante reforzadas con vibración
Muy húmeda	150-200	Elementos esbeltos, pilotes fundidos «in situ»	Tubo embudo tremie	Secciones altamente reforzadas sin vibración
Súper fluida	Más de 200	Elementos muy esbeltos	Autonivelante, autocompactante	Secciones altamente reforzadas sin vibración y normalmente no adecuados para vibrarse

Con base a las condiciones de trabajabilidad del concreto, este puede ser calificado como *concreto fresco* o como *concreto endurecido*. El primero se define como aquel que posee buena parte de su trabajabilidad original, de modo tal que puede ser colocado y consolidado por los métodos deseados. Mientras que el segundo tipo de concreto acá mencionado, es aquella mezcla que luego de un proceso de fraguado y parcial curado, ha alcanzado una determinada resistencia. En este caso, el a través de las normas NTC 673, 722 y 1513 definido una amplia variedad de ensayos para evaluar las propiedades del concreto endurecido.

Resistencia a la compresión

Esta propiedad mecánica del material se determina por medio de un ensayo que consiste en aplicar cargas axiales de compresión a especímenes cilíndricos de concreto como se puede ver en la figura 1.6. La norma NTC 550 establece, entre otras cosas, que los cilindros deben ser fundidos y fraguados en posición vertical, con una altura igual a dos veces el diámetro, con un patrón de configuración cilíndrica de 150 mm. de diámetro por 300 mm. de altura, si el tamaño máximo nominal de agregado grueso es menor a 50 mm.

Figura 1.6 Ensayo de resistencia a la compresión

La resistencia a la compresión del concreto se determina por medio de cálculos que consideran las cargas aplicadas y las dimensiones de las muestras. Los resultados de las pruebas de resistencia se usan como criterio de calidad de los procedimientos de dosificación, mezclado y colocación del concreto, verificación de las especificaciones, evaluación de los aditivos, entre otros.

Las pruebas a los cilindros de concreto se hacen generalmente, entre los 7 y 28 días. No obstante, otras edades sirven para evaluar más a fondo el proceso del endurecimiento del mismo. Valcuende, Marco, Jardón y Gil (2006) afirman que el incremento de la resistencia del concreto es mayor en edades tempranas, estabilizándose con el paso del tiempo hasta llegar a la resistencia de diseño. ASOCRETO (2010) en el tomo I de su libro *Tecnología del Concreto*, afirma que los concretos convencionales pueden obtener su resistencia de diseño a los dos días de procesado. Esto se debe a que, pasado este lapso, el aumento de resistencia es muy poco. Sin embargo, para concretos de alta resistencia, esta propiedad mecánica se especifica a los 56 ó 90 días, porque el aumento después de los 28 días es considerable.

El proceso de endurecimiento y consecución de las propiedades de resistencia final dependen, en gran medida, de las características del cemento, el proceso de curado y el uso de aditivos. La evolución de la resistencia del concreto estimada, bien elaborado, en función de la edad se muestra en la tabla 1.18.

Tabla 1.18 Evolución de la resistencia del concreto.

Edad del concreto (días)	3	7	28	90	180
	% de resistencia respecto a la resistencia de diseño				
Concreto de endurecimiento normal	40	65	1	100	120
Concreto de endurecimiento rápido	55	75	100	115	120

Fuente: Valcuende, Marco, Jardón y Gil (2006).

Al hacer el diseño de una mezcla, es de suma importancia tener en cuenta la resistencia (f'_{cr}) requerida del concreto, es decir, la sobrerresistencia de diseño del mismo, esto con el objetivo de garantizar como mínimo el cumplimiento de la resistencia especificada o de diseño (f'_c). En la tabla 1.19 se muestran los valores de sobrerresistencia para mezclas sin experiencia de diseño o estudios previos.

Tabla 1.19 Requisitos de sobrerresistencia.

Resistencia especificada	Resistencia requerida
$f'_c < 21$	$f'_{cr} = f'_c + 7,0$
$21 \leq f'_c \leq 35$	$f'_{cr} = f'_c + 8,3$
$f'_c > 35$	$f'_{cr} = 1,1xf'_c + 5,0$

Fuente: Valcuende, marco, Jardón y Gil (2006).