

# DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO APLICANDO EL MÉTODO ACI

Gerson David Cordero Estévez  
Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez  
Jhan Piero Rojas Suárez







**DISEÑO DE MEZCLAS  
DE CONCRETO  
APLICANDO EL MÉTODO  
ACI**

GERSON DAVID CORDERO E.  
JAVIER ALFONSO CÁRDENAS G.  
JHAN PIERO ROJAS SUÁREZ

UNIVERSIDAD FRANCISCO DE PAULA SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PLAN DE ESTUDIOS DE INGENIERÍA CIVIL



Cordero Estévez, Gerson David

Diseño de mezclas de concreto método ACI / Gerson David Cordero Estévez, Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez, Jhan Piero Rojas Suárez. -- 1a. ed. -- Bogotá : Ecoe Ediciones : Universidad Francisco de Paula Santander, 2019.

92 p. – (Ingeniería y salud en el trabajo. Ingeniería)

Incluye datos biográficos del autor en la pasta. -- “Incluye: Contextualización sobre la importancia del concreto como material de ingeniería y descripción detallada del diseño de mezclas de concreto. Los materiales, métodos y condiciones de trabajo a los que se recurre en este libro se adaptan a la realidad regional y nacional. Compilación de ejemplos de diseño de mezclas por el método ACI para diversas condiciones. Método de diseño de mezclas por aplicación virtual, disponible para computadoras y teléfonos móviles.” -- Contiene bibliografía.

ISBN 978-958-771-705-1

1. Hormigón 2. Mezcladoras de hormigón I. Cárdenas Gutiérrez, Javier Alfonso II. Rojas Suárez, Jhan Piero III. Título IV. Serie

CDD: 620.136 ed. 23

CO-BoBN– a1038950

---



**Colección:** Ingeniería y salud en el trabajo

**Área:** Ingeniería

ECOE  
EDICIONES

UFPS  
Universidad  
Francisco de Paula Santander

- ▶ Gerson David Cordero Estévez
- ▶ Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez
- ▶ Jhan Piero Rojas Suárez

© Ecoe Ediciones Limitada.  
Carrera 19 # 63C 32, Tel.: 248 14 49  
Bogotá, Colombia

© Universidad Francisco  
de Paula Santander  
Avenida Gran Colombia  
No. 12E-96 Barrio Colsag  
San José de Cúcuta - Colombia  
Teléfono (057)(7) 5776655

**Primera edición:** Bogotá, diciembre de 2018

**ISBN:** 978-958-771-705-1

Coordinación editorial: Angélica García Reyes  
Corrección de estilo: Orlando Riaño  
Diagramación: Olga Lucía Pedraza R.  
Carátula: Wilson Marulanda Muñoz  
Impresión: La Imprenta Editores  
Calle 77 # 27 A - 39

*Prohibida la reproducción total o parcial por cualquier medio  
sin la autorización escrita del titular de los derechos patrimoniales.*

*Impreso y hecho en Colombia - Todos los derechos reservados*

Para hacer un buen concreto  
se necesitan cinco individuos:

*Un sabio... para el agua.*  
*Un avaro... para el cemento.*  
*Un dadivoso... para los agregados.*  
*Un fantasioso... para los aditivos.*  
Y para resolverlo...

**¡Un loco ingeniero!**

Carlos Videla.



# CONTENIDO

<b>PREFACIO</b> .....	<b>XVII</b>
<b>GLOSARIO</b> .....	<b>XIX</b>
<b>CAPÍTULO 1: GENERALIDADES DEL CONCRETO</b> .....	<b>1</b>
El concreto.....	1
Generalidades.....	1
Clasificación del concreto .....	2
Según el tamaño máximo de su agregado grueso.....	2
Según la consistencia.....	3
Según la resistencia a la compresión .....	3
Según su peso unitario .....	4
Según la exposición y durabilidad.....	4
Composición del concreto.....	6
Cemento.....	6
Agregados para concreto .....	11
Agua para concreto.....	16
Aditivos .....	17

Asentamiento y resistencia del concreto.....	18
Asentamiento .....	18
Resistencia a la compresión.....	20
<b>CAPÍTULO 2: GENERALIDADES DEL DISEÑO DE MEZCLAS .....</b>	<b>23</b>
Método para seleccionar las proporciones del concreto .....	23
Aspectos generales del diseño de mezclas .....	23
Requisitos para mezclas de concretos .....	24
Manejabilidad .....	24
Consistencia.....	24
Resistencia.....	24
Relación agua-cemento.....	24
Durabilidad.....	24
Densidad .....	25
Datos base para el diseño de mezclas.....	25
Procedimientos para el diseño de mezclas.....	25
Paso 1. Selección de asentamiento.....	25
Paso 2. Selección del tamaño máximo del agregado.....	26
Paso 3. Estimación de contenido de agua y aire en la mezcla.....	26
Paso 4. Selección de la relación a/c .....	27
Paso 5. Cálculo del contenido de cemento .....	28
Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso .....	28
Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino .....	29
Paso 8. Ajustes por humedad de los agregados.....	31
Paso 9. Ajustes en la mezcla de prueba .....	31
<b>CAPÍTULO 3: ANÁLISIS Y ENSAYOS PARA AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS .....</b>	<b>33</b>
Procedimiento de selección de muestras de agregados gruesos y finos para ensayos.....	33
Referencias normativas .....	33
Aspectos generales.....	33
Objetivos .....	34
Elementos para el procedimiento .....	34

---

Elementos personales .....	34
Consideraciones .....	34
Procedimiento .....	35
Procedimiento de reducción de muestras de agregados gruesos y finos para ensayos .....	36
Referencia normativa .....	36
Aspectos generales .....	36
Objetivos .....	36
Elementos para el procedimiento .....	36
Elementos personales .....	36
Consideraciones .....	37
Procedimiento .....	37
Procedimiento de análisis por tamizado para agregados gruesos y finos .....	38
Referencias normativas .....	38
Aspectos generales .....	38
Objetivos .....	38
Elementos para el procedimiento .....	38
Elementos personales .....	39
Consideraciones .....	39
Procedimiento .....	41
Resumen de ensayo .....	42
Procedimiento para el cálculo de densidad y absorción de los agregados finos .....	43
Referencias normativas .....	43
Aspectos generales .....	44
Objetivos .....	44
Elementos para el procedimiento .....	44
Consideraciones .....	44
Ensayo de cono de humedad superficial .....	45

Procedimiento .....	46
Resumen de ensayo.....	47
Procedimiento para el cálculo de densidad y absorción de los agregados gruesos .....	47
Referencias normativas .....	47
Aspectos generales.....	48
Objetivos .....	48
Elementos para el procedimiento .....	48
Consideraciones.....	49
Procedimiento .....	50
Resumen de ensayo.....	51
Procedimiento para el cálculo de masa unitaria de los agregados.....	51
Referencias normativas .....	51
Aspectos generales.....	52
Objetivos .....	52
Elementos para el procedimiento .....	52
Consideraciones.....	52
Método de apisonamiento .....	53
Método de paleo.....	54
Procedimiento .....	54
Resumen de ensayo.....	54
<b>CAPÍTULO 4: METODOLOGÍA DE ENSAYOS PARA CONCRETOS .....</b>	<b>55</b>
Procedimiento de ensayo del asentamiento de mezclas de concreto .....	55
Referencias normativas .....	55
Aspectos generales.....	55
Objetivos .....	56
Elementos para el procedimiento .....	56
Elementos personales.....	56
Consideraciones.....	56

Procedimiento .....	57
Resumen de ensayo.....	58
Procedimiento de elaboración de cilindros de concreto para ensayo de resistencia a la compresión.....	58
Referencias normativas .....	58
Aspectos generales.....	59
Objetivos .....	59
Elementos para el procedimiento .....	59
Elementos personales.....	59
Consideraciones.....	59
Procedimiento.....	60
Procedimiento de ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto .....	61
Referencias normativas .....	61
Aspectos generales.....	61
Objetivos .....	61
Elementos para el procedimiento .....	61
Elementos personales.....	62
Consideraciones.....	62
Procedimiento.....	64
Resumen de ensayo.....	65
<b>CAPÍTULO 5: EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO ACI .....</b>	<b>67</b>
Ejercicios de diseños de mezcla.....	67
Ejemplos del proceso de diseño de mezclas.....	67
<b>CAPÍTULO 6: DIMACI – SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO .....</b>	<b>85</b>
Software beta para el diseño de mezclas Método ACI - Dimaci.....	85
<b>BIBLIOGRAFÍA.....</b>	<b>89</b>





# ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Vaciado del concreto.....	2
Figura 1.2	Cemento Portland.....	7
Figura 1.3	Ensayo de resistencia del cemento.....	9
Figura 1.4	Cantera de explotación de agregados.....	11
Figura 1.5	Ensayo de asentamiento.....	19
Figura 1.6	Ensayo de resistencia a la compresión.....	21
Figura 3.1	Procesamiento y apilado de agregados.....	34
Figura 3.2	Cuarteo de muestras.....	37
Figura 3.3	Proceso de tamizado.....	40
Figura 3.4	Elementos de ensayo (picnómetro).....	45
Figura 3.5	Material con humedad superficial.....	46
Figura 3.6	Pesaje en agua.....	50
Figura 3.7	Molde de ensayo.....	52
Figura 4.1	Medición de asentamiento del concreto.....	57
Figura 4.2	Preparación de cilindros.....	60
Figura 4.3	Puesta en curado de los cilindros.....	60
Figura 4.4	Ensayo de resistencia a la compresión.....	62
Figura 4.5	Modelos de fallas típicos.....	64
Figura 6.1	Interfaz Dimaci.....	86
Figura 6.2	Datos de ingreso.....	86
Figura 6.3	Generación de reporte.....	86
Figura 6.4	Modelo de reporte.....	87



## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1	Concreto según el tamaño máximo de su agregado.....	2
Tabla 1.2	Concreto según su consistencia. ....	3
Tabla 1.3	Concreto según su resistencia .....	3
Tabla 1.4	Tipos de concreto según su peso unitario.....	4
Tabla 1.5	Categorías de exposición del concreto. ....	5
Tabla 1.6	Requisitos para concreto de acuerdo a su grado exposición.....	6
Tabla 1.7	Tipos de cemento. ....	9
Tabla 1.8	Normas de metodología, ensayo y muestreo del cemento. ....	10
Tabla 1.9	Clasificación de agregados según tamaño. ....	12
Tabla 1.10	Clasificación de agregados según su fuente de obtención. ....	12
Tabla 1.11	Clasificación de agregados según su gravedad específica. ....	13
Tabla 1.12.	Requisitos de gradación para agregado fino.....	14
Tabla 1.13	Requisitos de gradación para agregado grueso.....	15
Tabla 1.14	Normas de metodología, ensayo y muestreo los agregados. ....	16
Tabla 1.15	Normas de metodología, ensayo y muestreo agua para concreto. ..	17
Tabla 1.16	Aditivos para concreto.....	18
Tabla 1.17	Valores sugeridos para el asentamiento del concreto.....	19
Tabla 1.18	Evolución de la resistencia del concreto.....	22
Tabla 1.19	Requisitos de sobrerresistencia. ....	22
Tabla 2.1	Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.....	26
Tabla 2.2	Cantidad de agua aproximada y presencia de aire para diferentes asentamientos dados. ....	26
Tabla 2.3	Relación entre a/c y resistencia a la compresión a los 28 días de edad de curado. ....	27
Tabla 2.4	Máxima relación a/c permitida para concretos con exposición severa.....	27
Tabla 2.5	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto.....	29

Tabla 2.6 Primera estimación del peso de concreto fresco..... 29

Tabla 2.7 Ajuste de agua en litros para modificación de asentamiento. .... 32

Tabla 3.1 Masa mínima de ensayo..... 35

Tabla 3.2 Masa mínima de ensayo..... 39

Tabla 3.3 Tamices de ensayo..... 40

Tabla 3.4 Masa mínima de ensayo..... 49

Tabla 3.5 Capacidad de los moldes..... 53

Tabla 4.1 Edad de ensayo de los cilindros de concreto..... 62



## PREFACIO

El diseño de mezclas de concreto es un proceso de gran importancia en los proyectos de construcción, pues determina las propiedades de resistencia, características de acabado y manejabilidad de uno de los materiales de ingeniería más usado en el mundo, el concreto.

La selección de los componentes del concreto se rige por ciertos estándares de alcance global; estos definen las propiedades y las cantidades de los agregados necesarios para cada concreto que se desee procesar. No obstante, la investigación *Diseño de mezcla de concreto, reemplazando en proporciones el agregado grueso, por arcilla cocida*, desarrollada por los autores de este libro, identifica la ausencia de métodos y procedimientos para diseñar mezclas de concreto teniendo en cuenta las propiedades y condiciones de los materiales de la región fronteriza Nort santandereana. En este sentido, esta obra, *Diseño de mezclas de concreto aplicando el método ACI*, es la respuesta a la necesidad identificada en la investigación, porque hace una exposición de fundamentos conceptuales, metodologías de ensayos y presenta ejemplos de cómo realizar diseños de mezclas y, además, entrega una aplicación para dispositivos móviles y computadoras.

Puntualmente, este libro sintetiza, paso a paso, el diseño de mezclas con el método ACI 211.1 para concretos de peso normal y ofrece una recopilación de las metodologías de muestreo, reducción y ensayos de laboratorios básicos para agregados, así como de las pruebas para determinar propiedades del concreto.

Para complementar la metodología ACI expuesta, se desarrollan algunos ejemplos de aplicación de diseño de mezclas para diversas situaciones y casos puntuales propios del desarrollo de la ingeniería.

Finalmente, se ofrece una aplicación beta, desarrollada por los autores, para usar desde computadoras y dispositivos móviles. Esta aplicación permite realizar aproximaciones de las cantidades estimadas de materiales para diseños de mezclas variando distintos parámetros de los materiales, requerimientos y especificaciones técnicas.

# GLOSARIO

- **Asentamiento:** medida relativa a la trabajabilidad, manejabilidad y consistencia del concreto recién mezclado, obtenida mediante el ensayo del cono de Abrams.
- **Agregados:** material granular usado para elaborar concreto o mortero. La arena, la grava, la piedra triturada o la escoria de alto horno son materiales agregados.
- **Agregado fino:** agregado cuyo tamaño de partículas es inferior a 4,8 mm y superior a 75  $\mu\text{m}$ .
- **Agregado grueso:** 1) agregado predominantemente retenido sobre el tamiz de 4,75 mm. 2) Porción de un agregado retenido sobre el tamiz de 4,75 mm.
- **Agregado natural:** material granular que se explota del lecho de ríos o canteras para la elaboración de concretos u otras actividades.
- **Cemento hidráulico:** cemento que fragua y endurece por reacción química con agua; dicha reacción puede ocurrir por inmersión en agua.
- **Cemento Portland:** cemento hidráulico producido por la pulverización del clínker Portland, usualmente en combinación con sulfato de calcio.
- **Concreto:** material compuesto que consta, esencialmente, de un medio aglutinante dentro del cual están embebidas partículas o fragmentos de



agregados; formado básicamente por una mezcla de cemento hidráulico, material particulado y agua. También se le conoce como hormigón.

- **Curado:** proceso en el que se controlan y mantienen las condiciones de temperatura y humedad en mezclas de concreto con el fin de desarrollar sus propiedades.
- **Ensayo de compresión:** prueba de laboratorio en la que se aplica cargas de compresión para determinar la resistencia de un amplio rango de materiales a este tipo de cargas axiales.
- **Fraguado:** proceso en el que se alcanza, gradualmente, la rigidez en una mezcla de concreto, debido a reacciones químicas ocurridas después de agregar agua.
- **Gravedad específica:** relación de la densidad de una sustancia y la densidad del agua a una temperatura determinada.
- **Masa unitaria:** es la relación de la masa y el volumen de una sustancia que en el Sistema Internacional de Unidades se expresa en .
- **Probeta:** elemento representativo que se toma como muestra para ser sometido a ensayos de laboratorios. Generalmente estos elementos son normalizados con el fin de estandarizar los procedimientos de las pruebas y dar confiabilidad y universalidad a los resultados.
- **Relación agua-cemento:** relación entre la masa de agua  $a$  (sin tener en cuenta la absorbida por los agregados) y la masa del cemento en la mezcla de concreto  $m$ , expresada en forma decimal ( $a/c$ ).
- **Resistencia de diseño:** valor reducido de la resistencia nominal de un elemento estructural. Esta reducción se da al multiplicar la resistencia nominal por un factor menor que la unidad según ciertas condiciones de diseño. También se puede tener la resistencia de diseño al aumentar las cargas o requerimientos de esfuerzos para un determinado elemento.
- **Trabajabilidad:** grado de facilidad de manejo del concreto al ser mezclado, transportado y colocado.
- **Vacíos:** espacio lleno de aire en la mezcla de concreto.

## 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 <sup>3</sup> )	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			<b>Sulfatos solubles en agua (SO<sub>4</sub>) en el suelo, % en peso</b>	<b>Sulfato (SO<sub>4</sub>) disuelto en agua, ppm</b>
	No aplica	S0	(SO <sub>4</sub> ) < 0,10	(SO <sub>4</sub> ) < 150
	Moderada	S1	0,10 ≤ (SO <sub>4</sub> ) < 0,20	150 ≤ (SO <sub>4</sub> ) < 1500
	Severa	S2	0,20 ≤ (SO <sub>4</sub> ) < 2,00	1.500 ≤ (SO <sub>4</sub> ) < 10.000
	Muy severa	S3	(SO <sub>4</sub> ) > 2,00	(SO <sub>4</sub> ) > 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 ( $\text{CaO}$ ), dióxido de sílice ( $\text{SiO}_2$ ), óxido de aluminio ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) y óxido de hierro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ), 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  $\mu\text{m}$ ), 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
<b>Normas generales</b>		
Clasificación y nomenclatura	30	-
Definiciones	31	-
Extracción de muestras	508	C138
Exudación de pastas y morteros	47	C243
<b>Especificaciones</b>		
Especificaciones físicas y mecánicas	121	C150
Cemento blanco	1362	C150
<b>Propiedades químicas</b>		
Actividad puzolánica	1512	-
Actividad puzolánica, resistencia a la compresión	1784	-
Análisis químicos	184	C114
<b>Ensayos sobre cemento</b>		
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
<b>Ensayos sobre la pasta del cemento</b>		
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
<b>Normas generales</b>		
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/m<sup>3</sup> hasta los 2000 Kg/m<sup>3</sup>. Con agregados de gravedad específica 2,5 a 2,75 pueden obtenerse concretos de peso normal desde los 2300 Kg/m<sup>3</sup> hasta los 2500 Kg/m<sup>3</sup>, y finalmente con agregados de gravedad específica mayor a 2,75 se pueden obtener concretos pesados desde los 2900 Kg/m<sup>3</sup>. 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
<b>Ígneas</b>	
Granito	2,65
Sienita	2,74
Diorita	2,9
Gabro	2,96
Periodotita	3,31
Felsita	2,66
Basalto	2,86
Diabasa	2,96
<b>Sedimentarias</b>	
Caliza	2,66
Dolomita	2,7
Arenisca	2,54
Chert	2,5
Conglomerado	2,68
Brecha	2,57
<b>Metamórficas</b>	
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 $\mu\text{m}$	25 a 60
300 $\mu\text{m}$	10 a 30
150 $\mu\text{m}$	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
<b>Normas generales</b>		
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
<b>Especificaciones</b>		
Especificaciones de los agregados para concreto	174	C330
<b>Ensayos sobre agregados</b>		
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.**

<b>Tipo de aditivo</b>	<b>Efecto deseado</b>
<b>Aditivos convencionales</b>	
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.
<b>Aditivos minerales</b>	
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.
<b>Aditivos misceláneos</b>	
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).

## CAPÍTULO 2

# GENERALIDADES DEL DISEÑO DE MEZCLAS

### **Método para seleccionar las proporciones del concreto**

#### ***Aspectos generales del diseño de mezclas***

El diseño de mezclas es el proceso de selección de los materiales y sus proporciones para la producción del concreto según los requerimientos de resistencia, costos, peso, durabilidad y apariencia de acabados.

En cuanto a cantidades y proporciones, ASOCRETO (2011) afirma que el cemento ocupa entre un 7% y 15% del volumen de la mezcla, proveyendo eficientemente propiedades de adherencia y cohesión; asimismo, los agregados, esencialmente grava y arena, ocupan entre el 59% y 76% del volumen. El agua, necesaria para la hidratación del cemento ocupa entre el 14% y 18% del volumen; y, por último, el aire atrapado en las mezclas varía entre el 1% y 3%.

El Instituto Americano del Concreto, ACI por sus siglas en inglés, a través de la norma ACI 211.1 describe dos métodos para seleccionar y ajustar las proporciones para concreto de peso y masa normal. El primer método se basa en un peso estimado de concreto por unidad de volumen; el segundo se basa en los cálculos de volumen absoluto ocupado por los componentes del concreto. Los procedimientos consideran requisitos como manejabilidad, consistencia, resistencia y durabilidad.



## ***Requisitos para mezclas de concretos***

### **Manejabilidad**

La manejabilidad del concreto abarca rasgos de trabajabilidad y consistencia; la trabajabilidad es la capacidad del concreto de ser colocado y consolidado correctamente sin segregación superficial, teniendo en cuenta conceptos como capacidad de moldeo, cohesión y compactabilidad.

La manejabilidad está determinada por: granulometría, forma de las partículas y las proporciones de agregado; la presencia de aire y aditivos químicos; y la consistencia de la mezcla.

### **Consistencia**

Definida como la movilidad relativa de la mezcla de concreto, la cual se mide en términos de asentamiento, se relaciona con la trabajabilidad. Un asentamiento dado depende del requerimiento de agua, que aumenta a medida que los agregados son más angulares y rugosos, y disminuye con el máximo tamaño de agregados bien gradados.

### **Resistencia**

Aunque la resistencia es una importante característica del concreto, otras características como la durabilidad, permeabilidad y resistencia al desgaste son igual de importantes. La resistencia, a la edad de 28 días, es tomada con frecuencia como un parámetro de diseño estructural, dosificación y evaluación del concreto.

### **Relación agua-cemento**

Se define como  $a/c$  y para un determinado conjunto de materiales y condiciones, la resistencia del concreto es determinada por la cantidad neta de agua usada por cantidad de cemento; esta no toma en cuenta la absorción de los agregados.

Las diferencias para una determinada relación  $a/c$  resultan del tamaño del agregado, gradación, textura, forma, resistencia y rigidez de las partículas; diferencias en los tipos de cemento y fuentes; contenido de aire y aditivos que afecten el proceso de hidratación.

### **Durabilidad**

El concreto debe ser capaz de soportar las condiciones de exposición a las que esté sometido (congelamiento, deshielo, calentamiento y otros agentes de su entorno).

## **Densidad**

Para ciertas aplicaciones, el concreto puede ser usado por sus características de peso.

### ***Datos base para el diseño de mezclas***

En lo posible, las selecciones de proporciones de concreto se deben basar en datos de las experiencias con los materiales a utilizar en mezclas, pero cuando la información sea muy poca o no exista, la ACI 211.1 es una guía que puede ser utilizada. La información necesaria de los materiales disponibles puede ser:

- Análisis granulométricos de los agregados.
- Peso unitario del agregado grueso.
- Densidad aparente y absorción de los agregados.
- Requerimientos agua-mezcla en base a los agregados.
- Relaciones a/c.
- Densidad de materiales cementantes.
- Combinaciones óptimas de agregados para satisfacer la densidad del concreto.

### ***Procedimientos para el diseño de mezclas***

A través de la guía ACI 211.1, el Instituto Americano del Concreto establece una serie de pasos lógicos y directos para diseñar mezclas de concreto, con especificaciones que abarcan variables como la relación a/c, mínimo contenido de cemento, contenido de aire, asentamiento, máximo tamaño del agregado, resistencia y otras propiedades relacionadas con el material cementante, aditivos y agregados. Estos pasos se enuncian a continuación:

#### **Paso 1. Selección de asentamiento**

Si el asentamiento no es especificado, un valor apropiado puede ser seleccionado a partir de la tabla 2.1.

**Tabla 2.1 Asentamientos recomendados para varios tipos de construcción.**

Tipos de construcción	Asentamiento (mm)	
	Máximo	Mínimo
Zapatas y muros de cimentación reforzados	75	25
Zapatas, cajones y muros de subestructura sin refuerzo	75	25
Muros y vigas reforzados	100	25
Columnas	100	25
Pavimentos y losas	75	25
Concreto en masa	50	25

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

## Paso 2. Selección del tamaño máximo del agregado

Los grandes tamaños máximos nominales de un agregado bien graduado, tienen menos vacíos que los tamaños más pequeños, en efecto requieren menos cantidad de mortero por unidad de volumen. Por otra parte, mejores resultados se pueden obtener con la reducción de los tamaños nominales máximos para producir altas resistencias con una relación a/c dada. Esta selección se relaciona con el paso 3, en la cual se hace la estimación del contenido de agua y aire de la mezcla, acorde con el tamaño del agregado, como es explicado en la siguiente sección.

## Paso 3. Estimación de contenido de agua y aire en la mezcla

La cantidad de agua por unidad de volumen requerida, para un asentamiento dado, depende del tamaño nominal máximo, forma y gradación de los agregados principalmente.

La tabla 2.2 muestra la cantidad de agua estimada para mezclas de varios tamaños máximos de agregados sin aire contenido en la mezcla.

**Tabla 2.2 Cantidad de agua aproximada y presencia de aire para diferentes asentamientos dados.**

Agua en l/m <sup>3</sup> para el tamaño nominal máximo indicado								
Asentamiento (mm)	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm	50 mm	75 mm	150 mm
<b>Concreto sin entrada de aire</b>								
25 a 50	208,1	199,2	187,3	178,4	163,5	154,6	130,8	113,0
75 a 100	228,9	217,0	202,2	193,2	178,4	169,5	145,7	124,9
150 a 175	243,8	229,0	214,1	202,2	187,3	178,4	160,5	-
Más de 175	-	-	-	-	-	-	-	-
Cantidad aproximada de aire en mezcla (%)	3	2,5	2	1,5	1	0,5	0,3	0,2

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

#### Paso 4. Selección de la relación $a/c$

La selección de la relación  $a/c$  no solo está determinada por requisitos de resistencia, sino también de durabilidad. La tabla 2.3 muestra las relaciones típicas de acuerdo a los requisitos de resistencia (estimada a edad de 28 días) usando cemento Portland Tipo I, y su comparación con la propuesta por Asocreto (2011).

**Tabla 2.3 Relación entre  $a/c$  y resistencia a la compresión a los 28 días de edad de curado.**

Resistencia a la compresión a los 28 días (MPa)	Relación $a/c$ (ACI)	Relación $a/c$ (ASOCRETO)
42	0,41	-
35	0,48	0,40
28	0,57	0,47
21	0,68	0,57
14	0,82	0,72

Para condiciones de exposición severa, la relación  $a/c$  debe mantenerse baja a pesar de que, según los requisitos de resistencia, podrían darse con una relación  $a/c$  más alta, tal como se indica en la tabla 2.4.

**Tabla 2.4 Máxima relación  $a/c$  permitida para concretos con exposición severa.**

Tipo de estructura	Estructura continuamente o frecuentemente expuesta al hielo y deshielo	Estructura expuesta al agua de mar o sulfatos
Secciones delgadas (postes, cunetas, botaguas, trabajos ornamentales), recubrimientos menores de 25 mm	0,45	0,40
Toda otra estructura	0,50	0,45

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

Los valores que no están en la tabla 2.3 se pueden aproximar, mediante la ecuación 2.1.

$$\frac{f'_{cmáx} - f'_{ci}}{a/c_{máx} - a/c_i} = \frac{f'_{cmáx} - f'_{mín}}{a/c_{máx} - a/c_{i_{mín}}} \quad (2.1)$$

Donde:

$a/c_i$  relación a hallar.

$a/c_{máx}$  relación extremo superior.

$a/c_{mín}$  relación extremo inferior.

$f'_{ci}$  valor de resistencia a hallar (MPa).

$f'_{cmáx}$  valor de resistencia extremo superior (MPa).

$f'_{cmín}$  valor de resistencia extremo inferior (MPa).

### Paso 5. Cálculo del contenido de cemento

La cantidad de cemento se calcula dividiendo el contenido de agua estimado por la relación  $a/c$  mediante la ecuación 2.2.

$$C = \frac{a}{a/C} \quad (2.2)$$

Donde:

$a$ : cantidad de agua por unidad de volumen estimada ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

$C$ : cantidad de cemento por unidad de volumen ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

$a/C$ : relación agua-cemento seleccionada.

### Paso 6. Estimación del contenido de agregado grueso

Agregados de similar tamaño nominal máximo y graduación producen concretos de manejabilidad satisfactoria, que también depende del tamaño nominal máximo y el módulo de finura; en la tabla 2.5 se indica el volumen de agregado grueso por unidad de volumen para concreto.

**Tabla 2.5 Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen de concreto.**

Tamaño nominal máximo del agregado (mm)	Volumen de agregado grueso compactado por unidad de volumen para concreto para diferentes módulos de finura de agregado fino			
	2,40	2,60	2,80	3,00
9,5	0,50	0,48	0,46	0,44
12,5	0,59	0,57	0,55	0,53
19	0,66	0,64	0,62	0,59
25	0,71	0,69	0,67	0,65
37,5	0,75	0,73	0,71	0,69
50	0,78	0,76	0,74	0,72
75	0,82	0,80	0,78	0,76
150	0,87	0,85	0,83	0,81

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

**Paso 7. Estimación del contenido de agregado fino**

La cantidad de agregado fino es estimada por la diferencia entre el peso del concreto fresco y el peso total de los otros materiales, bien sea por el método de peso o el volumen absoluto.

***Método del peso***

Comúnmente, el peso del concreto es conocido con una exactitud razonable debido al conocimiento previo de los materiales; sin embargo, en ausencia de dicha información, la tabla 2.6 puede ser usada para dar una estimación.

**Tabla 2.6 Primera estimación del peso de concreto fresco.**

Tamaño nominal máximo del agregado (mm)	Primera estimación del peso del concreto (Kg/m <sup>3</sup> )
	Sin entrada de aire
9,5	2.283
12,5	2.312
19	2.354
25	2.384
37,5	2.419
50	2.449
75	2.497
150	2.532

Fuente: Adaptado de ACI (2002).

Por otra parte, si teóricamente se requiere una estimación del peso por unidad de volumen, este se puede calcular con la ecuación 2.3.

$$U = 10xG_A x(100 - A) + Cx = \left(1 - \frac{G_A}{G_C}\right) + Wx(G_A - 1) \quad (2.3)$$

Donde:

$A$ : porcentaje de contenido de aire.

$C$ : cemento requerido en la mezcla ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

$G_A$ : gravedad específica media ponderada de agregado grueso y fino combinado.

$G_C$ : gravedad específica del cemento (comúnmente 3,15).

$U$ : peso del concreto fresco por  $\text{m}^3$  ( $\text{Kg}$ ).

$W$ : agua requerida en la mezcla ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

### ***Método del volumen absoluto***

Un procedimiento con más exactitud para calcular la cantidad de agregado fino implica el conocimiento del volumen desplazado por los materiales ya conocidos en la mezcla, que se restan de la unidad de volumen del concreto. El volumen ocupado en el concreto se calcula mediante la ecuación 2.4.

$$V = \frac{W}{D} \quad (2.4)$$

Donde:

$D$ : densidad del material ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

$V$ : volumen ocupado por el material ( $\text{m}^3$ ).

$W$ : cantidad de agregado grueso requerido para la mezcla por unidad de volumen ( $\text{Kg}$ ).

Para el cálculo del volumen de aire en la mezcla (si es considerado), se utiliza la ecuación 2.5.

$$V_v = \%AxU \quad (2.5)$$

Donde:

$\%A$ : porcentaje teórico de aire en la mezcla.

$U$ : unidad de volumen de la mezcla ( $m^3$ ).

$V_v$ : volumen teórico de aire en la mezcla ( $m^3$ ).

### Paso 8. Ajustes por humedad de los agregados

La cantidad de agua en la mezcla debe ajustarse a una cantidad equivalente a la absorción del agregado, esto varía de acuerdo a la humedad natural del agregado y se calcula mediante la ecuación 2.6.

$$W_M = W_D - G \times (A_G - H_G) - F \times (A_F - H_F) \quad (2.6)$$

Donde:

$A_F$ : % de absorción del agregado fino.

$A_G$ : % de absorción natural del agregado grueso.

$F$ : cantidad de agregado fino requerido para la mezcla por unidad de volumen (Kg).

$G$ : cantidad de agregado grueso requerido para la mezcla por unidad de volumen (Kg).

$H_F$ : % de humedad natural del agregado fino.

$H_G$ : % de humedad natural del agregado grueso.

$W_D$ : cantidad de agua estimada para un asentamiento dado (Kg).

$W_M$ : cantidad de agua requerida para la mezcla por unidad de volumen (Kg).

### Paso 9. Ajustes en la mezcla de prueba

Se pueden realizar ajustes por el no cumplimiento de asentamientos u otros factores estimados para la mezcla, partiendo de la cantidad de agua, contenido de aire, relación  $a/c$ .

Una herramienta de utilidad puede ser la tabla 2.7 propuesta por VIDELA (2000). Ofrece valores de adición o sustracción de agua para modificar los valores de asentamiento en mezclas frescas de concreto.



**Tabla 2.7 Ajuste de agua en litros para modificación de asentamiento.**

		Asentamiento obtenido (mm)																														
		65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150													
Asentamiento buscado (mm)	0	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	
	5	0	-10	-16	-20	-23	-26	-29	-30	-32	-33	-35	-36	-37	-38	-39	-40	-41	-42	-42	-43	-44	-44	-45	-45	-46	-46	-47	-48	-48	-49	-49
	10	10	0	-6	-10	-13	-16	-18	-20	-22	-23	-25	-28	-27	-28	-29	-30	-31	-32	-32	-33	-34	-35	-35	-36	-36	-37	-38	-38	-39	-39	
	15	16	6	0	-4	-5	-10	-12	-14	-16	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-24	-25	-26	-27	-28	-28	-29	-29	-30	-31	-31	-32	-32	-33	-33	
	20	20	10	4	0	-3	-5	-8	-10	-12	-13	-15	-16	-17	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-23	-24	-25	-25	-26	-26	-27	-28	-28	-29	-29	
	25	23	13	8	3	0	-2	-5	-7	-9	-10	-11	-13	-14	-15	-16	-15	-18	-19	-19	-20	-21	-21	-22	-23	-23	-24	-24	-25	-25	-26	
	30	26	16	10	5	2	0	-3	-5	-7	-8	-10	-11	-12	-13	-14	-12	-16	-17	-18	-18	-19	-20	-21	-22	-23	-23	-24	-24	-25	-26	
	35	28	18	12	8	5	3	0	-2	-4	-5	-7	-8	-9	-10	-11	-10	-13	-14	-15	-15	-16	-17	-18	-18	-19	-20	-20	-21	-21		
	40	30	20	14	10	7	5	2	0	-2	-3	-5	-6	-7	-8	-9	-8	-11	-12	-13	-14	-15	-15	-16	-16	-17	-18	-18	-19	-19		
	45	32	22	16	12	9	7	4	2	0	-2	-3	-4	-5	-6	-7	-9	-10	-11	-12	-12	-13	-14	-15	-15	-16	-16	-17	-17	-17		
	50	33	23	18	13	10	8	5	3	2	0	-1	-3	-4	-5	-6	-5	-8	-9	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-13	-14	-14	-15	-15		
	55	35	25	19	15	11	10	7	5	3	1	0	-1	-2	-3	-4	-4	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-13	-14	-14		
	60	36	26	20	16	13	11	8	6	4	3	1	0	-1	-2	-3	-3	-5	-6	-7	-8	-9	-9	-10	-11	-11	-12	-13	-13	-14		
	65	37	27	21	17	14	12	9	7	5	4	2	1	0	-1	-2	-2	-4	-5	-6	-6	-7	-8	-8	-9	-10	-10	-11	-12	-12		
	70	38	28	22	18	15	13	10	8	6	5	3	2	1	0	-1	-3	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-8	-9	-9	-10	-10	-11	-11		
	75	39	29	23	19	16	14	11	9	7	6	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-8	-8	-9	-9		
	80	40	30	24	20	17	15	12	10	8	7	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-3	-3	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-8	-8	-9		
	85	41	31	25	21	18	16	13	11	9	8	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-7	-7	-8	-8	
	90	42	32	26	22	19	17	14	12	10	9	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6	-7	-7	
	95	42	32	27	23	19	18	15	13	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-2	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-6	-6	
	100	43	33	28	23	20	18	15	13	12	10	9	7	6	5	4	3	2	2	1	0	-1	-1	-2	-3	-3	-4	-4	-5	-5	-6	
	105	44	34	28	24	21	19	16	14	12	11	9	8	7	6	5	4	3	2	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	-6	
	110	45	35	29	25	21	20	17	15	13	11	10	9	8	7	5	4	3	2	1	0	-1	-1	-1	-2	-2	-3	-4	-4	-5	-5	
	115	45	35	29	25	22	20	17	15	13	12	11	9	8	7	6	5	4	3	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3	-4	
	120	46	36	30	26	23	21	18	16	14	13	11	10	9	8	7	6	5	4	3	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3	
	125	46	36	31	26	23	22	18	16	15	13	12	11	10	9	7	6	5	4	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	-3	-3		
	130	47	37	31	27	24	22	19	17	15	14	12	11	10	9	8	7	6	5	4	4	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2		
	135	48	38	32	28	24	23	20	18	16	14	13	12	11	10	8	7	6	5	4	4	4	3	2	1	1	0	-1	-1	-2	-2	
	140	48	38	32	28	25	23	20	18	16	15	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	4	4	3	2	1	1	0	-1	-1		
	145	49	39	33	29	25	24	21	19	17	15	14	13	12	11	9	8	7	6	5	4	4	4	3	2	1	1	0	-1	-1		
	150	49	39	33	29	26	24	21	19	17	16	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	5	4	3	2	1	1	0	-1	-1		

Fuente: Videla (2000) Dosificación de Hormigones.

## CAPÍTULO 3

# ANÁLISIS Y ENSAYOS PARA AGREGADOS EN EL DISEÑO DE MEZCLAS

### **Procedimiento de selección de muestras de agregados gruesos y finos para ensayos**

#### ***Referencias normativas***

Las normas que se relacionan a continuación hacen una descripción de las condiciones y los métodos para la selección de muestras para el análisis de los agregados como roca, escoria, grava, gravilla, arena, para estudiar las fuentes potenciales de suministros, el control del producto de las fuentes de suministros, el control de las operaciones en el sitio de construcción y la aceptación o el rechazo de materiales.

- *ASTM D75/D75M Standard practice for sampling aggregate.*
- *INV E-201 Muestreo de agregados para construcción de carreteras.*
- *NTC 129 Ingeniería civil y arquitectura. Práctica para la toma de muestras de agregados.*

#### ***Aspectos generales***

El muestreo de los agregados es muy importante para los ensayos a realizar, pues las muestras deben ser representativas de los materiales, de tal manera que se

pueda tener confiabilidad en los resultados de los ensayos. Esto implica hacer una correcta toma de muestras, tanto en el proceso de recolección como en la cantidad de las mismas.

### **Objetivos**

- Realizar un muestreo representativo de los materiales agregados para su preparación para ensayos.

### **Elementos para el procedimiento**

- Pala.
- Empaque que evite pérdidas o contaminación de la muestra.

### **Elementos personales**

- Botas de seguridad.
- Guantes de seguridad.
- Gafas de seguridad.

### **Consideraciones**

En lo posible, se debe procurar realizar un muestreo de los agregados directamente desde bandas transportadoras o pilas del material, componiendo el tamaño de la misma a partir de tres porciones seleccionadas aleatoriamente en el caso de un muestreo a partir de la banda transportadora, o componiendo la muestra con porciones del tercio superior, medio e inferior de una pila en el caso de muestreo a partir de pilas (ver figura 3.1).

**Figura 3.1** Procesamiento y apilado de agregados.



Cuando el muestreo se realice a partir de una unidad de transporte, por ejemplo, un camión, se debe componer una muestra desde puntos donde se considere que pueden dar estimativos de las características del material. El número de muestras debe ser el suficiente como para dar confiabilidad del muestreo. En la tabla 3.1 se muestran las masas de muestreo recomendadas.

**Tabla 3.1 Masa mínima de ensayo.**

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa de la muestra (Kg)
<b>Agregado fino</b>	
2,36	10
4,75	10
<b>Agregado grueso</b>	
9,5	10
12,5	15
19,0	25
25,0	50
37,5	75
50,0	100
63	125
75	150
90	175

Fuente: Adaptado de Icontec NTC 129, página 4, (1995).

### **Procedimiento**

- Localizar puntos que a simple vista sean representativos del material.
- Tomar una cantidad suficiente para una posterior reducción del material y ensayos.
- Empacar las muestras del material procurando evitar pérdidas o alteraciones en él.

## **Procedimiento de reducción de muestras de agregados gruesos y finos para ensayos**

### **Referencia normativa**

Las normas acá mencionadas describen los procedimientos adecuados para reducir el tamaño de las muestras de agregados traídas del terreno, al tamaño apropiado para efectuar los ensayos necesarios.

- *ASTM C702/C702M Standard practice for reducing samples of aggregate to testing size.*
- *INV E-202 Reducción de muestras de agregados por cuarteo.*
- *NTC 3674 Ingeniería civil y arquitectura. Práctica para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo.*

### **Aspectos generales**

La reducción de la muestra permite obtener una cantidad suficiente para los procedimientos de ensayo a los agregados de manera representativa. Existen diversos métodos para la reducción de las muestras, tanto utilizando equipos mecánicos como procedimientos manuales; el método considerado en este libro para la reducción de muestras será el de cuarteo.

### **Objetivos**

- Reducir la muestra a una cantidad adecuada de los materiales agregados para el ensayo a realizar utilizando el método de cuarteo.

### **Elementos para el procedimiento**

- Superficie de trabajo dura, limpia y horizontal.
- Pala o palustre.
- Recipientes para muestras.

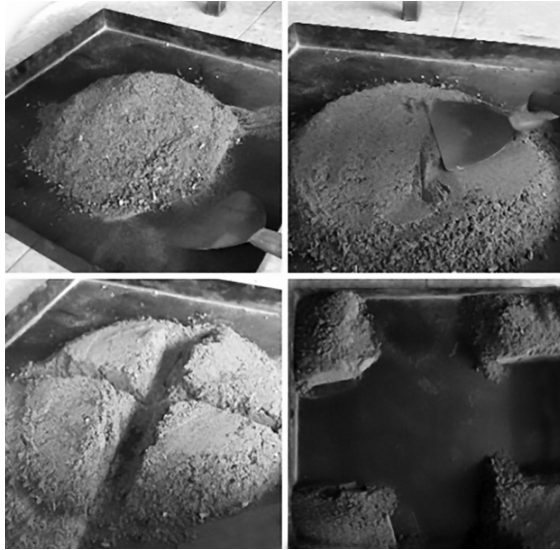
### **Elementos personales**

- Bata de laboratorio.

## **Consideraciones**

Es recomendable realizar el procedimiento de cuarteo sobre una superficie limpia y horizontal, que no interactúe con el material. Además, se debe evitar la pérdida de material y adición de materiales extraños a la muestra. En lo posible realizar el procedimiento con las muestras secas (ver figura 3.2).

**Figura 3.2 Cuarteo de muestras.**



## **Procedimiento**

- Colocar la muestra a cuartear sobre la superficie horizontal.
- Mezclar el material volcando la muestra tres veces, con ayuda de la pala o palustre.
- Formar una pila cónica con el material.
- Alisar el material presionando uniformemente por el vértice hasta obtener una altura y diámetro constante (el diámetro deberá ser de cuatro a ocho veces el espesor).
- Dividir la muestra en cuatro cuartos aproximadamente iguales.
- Seleccionar dos cuartos opuestos diagonales y retirarlos con ayuda de la pala o palustre.
- Repetir el proceso hasta obtener la cantidad deseada para el ensayo a realizar y depositarla en el recipiente para muestras, procurando no perder material.

## **Procedimiento de análisis por tamizado para agregados gruesos y finos**

### **Referencias normativas**

A continuación, se hace una relación de las normas que definen los ensayos para determinar la distribución de las partículas de los agregados finos y gruesos por medio de tamizaje; incluso, se describen los procesos para el diseño y construcción de tamices para estos ensayos.

- *ASTM C136/136M Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregate.*
- *INV E-213 Análisis granulométrico de agregados grueso y fino.*
- *NTC 32 Tejido de alambre y tamices para propósitos de ensayo.*
- *NTC 77 Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos.*

### **Aspectos generales**

El análisis por tamizado permite conocer la distribución física, por tamaños, de las partículas que componen tanto un agregado fino como uno grueso, conocer su gradación, usada para correlacionar e identificar requisitos específicos de aplicación, suministrando información necesaria para el control de producción de materiales y mezclas hechas a partir de los agregados.

### **Objetivos**

- Realizar un proceso de tamizado de materiales agregados para su análisis granulométrico.
- Determinar la distribución granulométrica de los materiales agregados.
- Determinar el módulo de finura del agregado fino.
- Determinar el tamaño máximo nominal del agregado grueso.

### **Elementos para el procedimiento**

- Balanzas.
- Tamices NTC 32.
- Horno.
- Recipientes para muestras.

## Elementos personales

- Bata de laboratorio.

## Consideraciones

Es recomendable realizar un proceso previo de secado a las muestras de ensayo, especialmente en los agregados finos. Las masas mínimas de ensayo secas se muestran en la tabla 3.2.

Los tamices a utilizar en el ensayo corresponden a los definidos en la NTC 174 (tabla 3.2), entendiendo las características físicas de agregado fino y grueso, permitiendo relacionar los resultados con las especificaciones granulométricas de agregados para concreto.

**Tabla 3.2 Masa mínima de ensayo.**

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa de la muestra (Kg)
<b>Agregado fino</b>	
N/A	0,3
<b>Agregado grueso</b>	
9,50	1,0
12,5	2,0
19,0	5,0
25,0	10,0
37,5	15,0
50,0	20,0
63,0	35,0
75,0	60,0
90,0	100,0
100	150,0
125	300,0

Fuente: Adaptado de Icontec NTC 174.

El porcentaje retenido en cada tamiz se calcula con la ecuación 3.0.

$$\% \text{ retenido tamiz} = \frac{M_i}{M_o} \quad (3.0)$$



Donde:

$M_i$ : masa retenida tamiz.

$M_o$ : masa total de ensayo.

Este libro contempla un tamizado en seco (figura 3.3), por lo que se recomienda pesar la masa en el fondo tamiz.

**Figura 3.3 Proceso de tamizado.**



**Tabla 3.3 Tamices de ensayo.**

Tamiz NTC 32	Agregado grueso	Agregado fino
0,15 mm		X
0,30 mm		X
0,60 mm		X
1,18 mm	X	X
2,36 mm	X	X
4,75 mm	X	X
9,5 mm	X	X
12,5 mm	X	
19,0 mm	X	
25,0 mm	X	
37,5 mm	X	
50,0 mm	X	
63,0 mm	X	
75,0 mm	X	
90,0 mm	X	
100 mm	X	

Fuente: Icontec NTC 174.

El módulo de finura se calcula como la suma de los porcentajes retenidos acumulados desde el tamiz 0,15 mm en adelante, incrementando la tasa de 2 a 1, dividido por 100.

El tamaño máximo se define como la abertura del menor tamiz por el que pasa el 100% de la muestra y el tamaño nominal máximo es definido como el siguiente tamiz que le sigue en abertura a aquel cuyo porcentaje retenido acumulado es del 15% o más.

### ***Procedimiento***

- Secar una muestra del material.
- Reducir el material mediante cuarteo a una masa de ensayo igual o superior a la recomendada.
- Pesar la masa inicial de ensayo.
- Pasar el material por los tamices de ensayo en orden de abertura de mayor a menor, procurando que el material más fino que el tamaño de la abertura de cada tamiz, pase al tamiz con abertura inmediatamente menor, sin ser forzado.
- Pesar las cantidades de material retenidas en cada tamiz y en el fondo, procurando evitar pérdidas en su manejo.
- Realizar los cálculos de porcentajes retenidos, retenidos acumulados y pasa tamiz.
- Calcular el módulo de finura (agregado fino).
- Determinar el tamaño nominal máximo (agregado grueso).

**Resumen de ensayo**

Ensayo de tamizado de los agregados NTC 77					
Laboratorio:			Fecha:		
Proyecto:			Material:		
Elaboró:			Muestra n.º:		
<b>Peso de la muestra:</b>					
Tamiz NTC 32 (mm)	Peso retenido (g)	% retenido tamiz	% retenido tamiz acumulado	% que pasa tamiz	
63					
50					
37,5					
25					
19					
12,5					
9,5					
4,75					
2,36					
Fondo			TNM		
Total					
<b>Observaciones</b>					

En las siguientes tablas se pueden consignar los datos del ensayo y las observaciones que surjan del desarrollo del mismo.

Ensayo de tamizado de los agregados NTC 77				
Laboratorio:		Fecha:		
Proyecto:		Material:		
Elaboró:		Muestra n.º:		
<b>Peso de la muestra:</b>				
Tamiz NTC 32 (mm)	Peso retenido (g)	% retenido tamiz	% retenido tamiz acumulado	% que pasa tamiz
9,5				
4,75				
2,36				
1,18				
0,6				
0,3				
0,15				
Fondo			TNM	
Total				
<b>Observaciones</b>				

## Procedimiento para el cálculo de densidad y absorción de los agregados finos

### *Referencias normativas*

Las normas que se mencionan a continuación hacen referencia a los métodos de ensayos a los que se recurre para determinar la densidad promedio de una cantidad de partículas de agregado fino, densidad relativa y absorción de los agregados finos.

- *ASTM C128 Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of fine aggregate.*
- *INV E-222 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado fino.*
- *NTC 237 Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino.*

### **Aspectos generales**

La densidad hace referencia a la masa por unidad de volumen de un material. El ensayo de densidad y absorción del agregado fino permite conocer tres tipos de densidades: aparente, nominal y saturada, y superficialmente seca.

El método ACI considera la densidad aparente en condición seca para sus procedimientos de diseño. Esta característica por lo general es tomada en cuenta para el cálculo del volumen ocupado por los agregados en la mezcla de concreto, para dosificación con base en volumen absoluto.

Por otra parte, la absorción hace referencia al cambio en masa de los agregados cuando los poros saturables presentes en ellos han sido llenados con agua, comparados con una condición seca. En este libro solo se considera la densidad aparente seca del agregado fino, necesaria para el método de diseño de mezclas ACI.

### **Objetivos**

- Determinar la densidad aparente del agregado fino.
- Determinar la absorción del agregado fino.

### **Elementos para el procedimiento**

- Balanzas.
- Picnómetro.
- Cono de humedad superficial y pisón.
- Horno.
- Recipientes para muestras.

### **Consideraciones**

Es recomendable realizar un proceso previo de sumergimiento de la muestra en agua por un periodo tal, que se saturen la totalidad de los poros, debido a que el ensayo requiere inicialmente una masa de agregado en condición saturada y

superficialmente seca, por lo que es necesario la verificación de dicha condición con el cono de humedad superficial.

Al obtener el material en condición saturado y superficialmente seco se procede a tomar una masa de mínimo 500 g, posteriormente, utilizando los elementos de ensayo (figura 3.4) se calcula la densidad aparente y absorción del material mediante las ecuaciones 3.1 y 3.2.

**Figura 3.4 Elementos de ensayo (picnómetro).**



$$D_A = 997.5 * \frac{A}{B + S - C} \quad (3.1)$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{S - A}{A} * 100\% \quad (3.2)$$

Donde:

*A*: masa en el aire de la muestra seca al horno (g).

*B*: masa del picnómetro aforado con agua (g).

*C*: masa del picnómetro aforado con la muestra y agua (g).

*D<sub>A</sub>*: densidad aparente del agregado fino (Kg/m<sup>3</sup>).

*S*: masa de la muestra saturada y superficialmente seca (g).

### **Ensayo de cono de humedad superficial**

La prueba o ensayo mediante el cono de humedad superficial (figura 3.5) permite verificar si el material de ensayo ha alcanzado la condición saturada y superficialmente seca. El procedimiento se describe a continuación:

**Figura 3.5 Material con humedad superficial.**

- Realizar un secado previo del material sumergido en agua, decantando el agua del recipiente.
- Extender la muestra del material en una superficie plana, no absorbente, exponiéndola a una corriente de aire tibio y mezclándola frecuentemente para un secado homogéneo del agua superficial.
- Colocar una porción del material suelto en el cono, de manera que rebose el molde, sosteniéndolo firmemente.
- Apisonar ligeramente el agregado dentro del molde con 25 caídas leves del pisón, procurando que cada caída del mismo respecto a la superficie del material sea de 5 mm durante el procedimiento.
- Verificar la humedad superficial de material, retirando el material que esté alrededor de la base del molde y levantándolo verticalmente, si aún hay humedad superficial en la muestra, esta conservará la forma del molde, por lo que se deberá secar la muestra y repetir el ensayo hasta que, al retirar el molde el material se asiente levemente.

### **Procedimiento**

- Pesar el picnómetro vacío y lleno de agua hasta la marca de graduación.
- Obtener mínimo 500 g de material saturado y superficialmente seco (previamente saturado), verificando la condición mediante el cono de humedad superficial.
- Introducir la muestra del material al picnómetro con la ayuda de un embudo, evitando pérdida del material.
- Llenar de agua, hasta la marca de graduación, el picnómetro con la muestra, procurando eliminar las burbujas de agua mediante el agitado leve del recipiente.

- Pesar el picnómetro aforado con la muestra y lleno de agua.
- Vaciar la totalidad del picnómetro en un recipiente y poner la muestra al horno hasta su secado.
- Pesar la muestra seca del material.
- Calcular la densidad aparente y absorción del material.

### **Resumen de ensayo**

En las siguientes tablas se pueden consignar los datos del ensayo como información del laboratorio, material analizado, identificación de la muestra; incluso, se pueden consignar observaciones que surjan del desarrollo de la prueba.

Ensayo de densidad y absorción NTC 237	
Laboratorio:	Fecha:
Proyecto:	Material:
Elaboró:	Muestra n.º:
Muestra de agregado	
Masa del picnómetro con agua (g)	
Masa de la muestra saturada y sup. seca (g)	
Masa del picnómetro con muestra y agua (g)	
Masa de la muestra seca (g)	
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	
% de absorción	
Observaciones	

## **Procedimiento para el cálculo de densidad y absorción de los agregados gruesos**

### **Referencias normativas**

Las normas que se enuncian en este apartado describen los procedimientos para estimar la gravedad específica *bulk*, *bulk* saturada y superficialmente seca y aparente, así como la absorción, después que los agregados de tamiz n.º han estado sumergidos en agua durante 15 horas.



- *ASTM C127 Standard test method for relative density (specific gravity) and absorption of coarse aggregate.*
- *INV E-223 Densidad, densidad relativa (gravedad específica) y absorción del agregado grueso.*
- *NTC 176 Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso.*

## **Aspectos generales**

La densidad hace referencia a la masa por unidad de volumen de un material. El ensayo de densidad y absorción del agregado fino permite conocer tres tipos de densidades: aparente, nominal y saturada y superficialmente seca.

El método ACI considera la densidad aparente en condición seca para sus procedimientos de diseño. Esta característica por lo general es tenida en cuenta para el cálculo del volumen ocupado por los agregados en la mezcla de concreto, para dosificación con base en volumen absoluto.

Por otra parte, la absorción hace referencia al cambio en masa de los agregados cuando los poros saturables presentes en ellos han sido llenados con agua, comparados con una condición seca.

En este libro solo se considera la densidad aparente seca del agregado grueso, necesaria para el método de diseño de mezclas ACI.

## **Objetivos**

- Determinar la densidad aparente del agregado grueso.
- Determinar la absorción del agregado grueso.

## **Elementos para el procedimiento**

- Balanzas.
- Canasta metálica.
- Paño absorbente.
- Horno.
- Recipientes para muestras.

### Consideraciones

Es recomendable realizar un proceso previo de sumergimiento de la muestra en agua por un periodo tal, que se saturen la totalidad de los poros, debido a que el ensayo requiere inicialmente una masa de agregado en condición saturada y superficialmente seca.

Al obtener el material en condición saturado y superficialmente seco, se procede a componer una masa de ensayo de acuerdo a la tabla 3.4.

**Tabla 3.4 Masa mínima de ensayo.**

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Masa de la muestra (Kg)
12,5 o menor	2,0
19,0	3,0
25,0	4,0
37,5	5,0
50,0	8,0
63,0	12,0
75,0	18,0
90,0	25,0
100	40,0
112	50,0
125	75,0
150	125,0

Fuente: Icontec NTC 176.

Posteriormente, utilizando los elementos de ensayo (figura 3.6) se calcula la densidad aparente y absorción del material mediante las ecuaciones 3.3 y 3.4.

$$D_A = 997.5x \frac{A}{B - C} \quad (3.3)$$

$$\% \text{ de absorción} = \frac{B - A}{A} x 100\% \quad (3.4)$$

Donde:

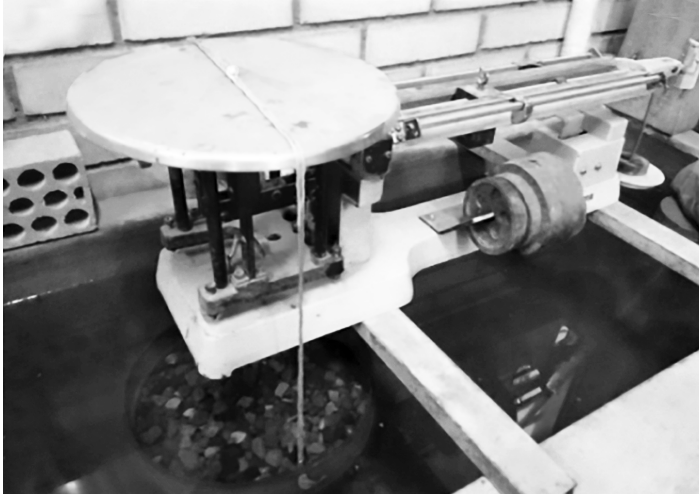
*A*: masa en el aire de la muestra seca al horno (g).

*B*: masa en el aire de la muestra saturada y superficialmente seca (g).

$C$ : masa en el agua de la muestra(g).

$D_A$ : densidad aparente del agregado grueso ( $\text{Kg}/\text{m}^3$ ).

**Figura 3.6 Pesaje en agua.**



### ***Procedimiento***

- Secar manualmente con ayuda del paño absorbente el material (partícula a partícula), para la remoción de la humedad superficial.
- Obtener una masa de ensayo del material saturado y superficialmente seco (previamente saturado).
- Pesar la muestra saturada y superficialmente seca al aire.
- Pesar la muestra en agua con ayuda de la canasta metálica.
- Colocar la muestra en un recipiente al horno hasta su secado.
- Pesar la muestra seca del material.
- Calcular la densidad aparente y absorción del material.

Ensayo de densidad y absorción NTC 176	
Laboratorio:	Fecha:
Proyecto:	Material:
Elaboró:	Muestra n.º:
Muestra de agregado	
Masa de la muestra saturada y sup. seca (g)	
Masa de la muestra en agua (g)	
Masa de la muestra seca (g)	
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	
% de absorción	
Observaciones	

### **Resumen de ensayo**

En la siguiente ficha se pueden consignar los datos del ensayo como información del laboratorio, material analizado, identificación de la muestra; incluso, se pueden consignar observaciones que surjan del desarrollo de la prueba.

## **Procedimiento para el cálculo de masa unitaria de los agregados**

### **Referencias normativas**

Las normas aquí mencionadas describen el ensayo para determinar la densidad en masa de los agregados en condición compactada o suelta, y el cálculo de los huecos en agregados finos, gruesos o una mezcla de ambos, basándose en una misma determinación. Esta práctica es aplicable a aquellos agregados que no excedan de 125 mm. como tamaño máximo nominal.

- *ASTM. C29/C29M Standard test method for bulk density (“unit weight”) and voids in aggregate.*
- *INV E-217 Densidad bulk (peso unitario) y porcentaje de vacíos de los agregados en estado suelto y compacto.*
- *NTC 92 Ingeniería civil y arquitectura. determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados.*

## **Aspectos generales**

La masa unitaria hace referencia a la relación peso entre un volumen determinado, calculada para un material, que varía de acuerdo a si este se encuentra suelto o con algún grado de compactación, por lo que puede ser usada para determinar la cantidad en volumen para compra y dosificación.

La norma NTC y ASTM contemplan el análisis de los materiales secos, el cual es utilizado en el método de diseño ACI.

## **Objetivos**

- Determinar la masa unitaria de los agregados.

## **Elementos para el procedimiento**

- Balanzas.
- Molde metálico.
- Varilla de apisonamiento punta redonda.
- Pala o cucharón.

## **Consideraciones**

El material de ensayo debe haber sido previamente secado en horno hasta obtener una masa constante. Por otra parte, para garantizar la obtención de datos confiables respecto al material, se recomienda que el molde de ensayo (ver figura 3.7) debe tener una altura entre el 80 y 150% del diámetro, a su vez debe tener una capacidad no menor al 95% de los valores descritos en la tabla 3.5.

**Figura 3.7 Molde de ensayo.**



**Tabla 3.5 Capacidad de los moldes.**

Tamaño máximo nominal del agregado (mm)	Capacidad del molde (l)
12,5 o menor	2,8
25,0	9,3
37,5	14,0
75,0	28,0
112	70,0
150	100,0

Fuente: Icontec NTC 92.

Para la determinación de la masa unitaria compactada del material existen dos métodos, el de apisonamiento para agregados con tamaños máximos nominales no mayores a 37,5 mm, y el de golpeteo para mayores a 37,5 mm e inferiores a 150 mm. El método de paleo se utiliza para la determinación de la masa unitaria suelta de los agregados. En cualquiera de los casos, el cálculo de las masas unitarias se realiza mediante la ecuación 3.5.

$$M_{A-G-P} = \frac{G-T}{V} \quad (3.5)$$

Donde:

$G$ : masa del agregado más molde (kg).

$M$ : masa unitaria del agregado .

$T$ : masa del molde (kg).

$V$ : volumen del molde .

### Método de apisonamiento

- Llenar una tercera parte del molde con el material, nivelando la superficie con los dedos.
- Apisonar la capa mediante 25 golpes con la varilla de apisonamiento, de manera vigorosa, distribuidos uniformemente en la superficie.
- Repetir el proceso con la segunda y tercera capa hasta llenar el molde.
- Enrasar la superficie con los dedos o con la plantilla recta, de tal manera que los vacíos sobre la superficie puedan ser llenados con el material que sobresale sobre la misma.

### Método de paleo

- Llenar completamente el molde con el material.
- Enrasar la superficie con los dedos o con la plantilla recta, de tal manera que los vacíos sobre la superficie puedan ser llenados con el material que sobresale sobre la misma.

### Procedimiento

- Pesar el molde vacío.
- Llenar el molde con el material de acuerdo al método seleccionado.
- Pesar el molde con la muestra.
- Calcular la masa unitaria suelta o compactada según lo requerido.

Ensayo de masa unitaria NTC 92	
Laboratorio:	Fecha:
Proyecto:	Material:
Elaboró:	Muestra n.º:
Muestra de agregado	
Masa de la muestra saturada y sup. seca (g)	
Masa de la muestra en agua (g)	
Masa de la muestra seca (g)	
Densidad aparente (kg/m <sup>3</sup> )	
% de absorción	
Observaciones	

### Resumen de ensayo

En el siguiente formato se pueden consignar los datos del ensayo como información del laboratorio, material analizado, identificación de la muestra; incluso, se pueden consignar observaciones que surjan del desarrollo de la prueba.

## CAPÍTULO 4

# METODOLOGÍA DE ENSAYOS PARA CONCRETOS

### **Procedimiento de ensayo del asentamiento de mezclas de concreto**

#### ***Referencias normativas***

Estas normas tienen por objeto establecer el método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto en las obras y en el laboratorio.

- ASTM. (2015). *C143/C143M Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete.*
- INV E-404 *Asentamiento del concreto de cemento hidráulico (slump).*
- NTC 92 Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto.

#### ***Aspectos generales***

El ensayo de asentamiento se realiza a mezclas recién batidas para conocer la consistencia de la misma. Es de gran importancia, pues dependiendo del revenimiento se eligen métodos de colocación y compactación del material.



Además de ofrecer información sobre la trabajabilidad y manejabilidad, el exceso o falta de agua en las mezclas permite hacer las estimaciones necesarias para garantizar la máxima densidad y compacidad del elemento a fundir en concreto.

### **Objetivos**

- Determinar el asentamiento de la mezcla de concreto.

### **Elementos para el procedimiento**

- Molde.
- Varilla de compactación punta redonda.
- Pala o cucharón.

### **Elementos personales**

- Botas de seguridad.
- Guantes de seguridad.
- Gafas de seguridad.

### **Consideraciones**

La cantidad de muestra para ensayo debe corresponder a una cantidad lo suficientemente representativa de la mezcla batida. El molde de ensayo puede ser metálico o plástico y debe estar libre de impurezas en su superficie.

La superficie sobre la que se apoye el molde debe ser plana y no absorbente, el molde debe ser sujetado con los pies, de tal manera que este no se mueva al momento de empezar a llenarlo.

Desde el inicio del ensayo, hasta el levantamiento del molde no deben transcurrir más de dos minutos y medio.

Así como se muestra en la figura 4.1, el asentamiento corresponde a la diferencia de altura de la muestra al retirar el molde, con la altura del mismo y se calcula mediante la ecuación 4.1.

$$A = H_f - H_i \quad (4.1)$$

Donde:

$A$ : asentamiento de la mezcla (mm).

$H_i$ : posición inicial de la mezcla (mm).

$H_f$ : posición final de la mezcla (mm).

**Figura 4.1 Medición de asentamiento del concreto.**



### **Procedimiento**

- Colocar el molde en el suelo, y sujetarlo firmemente con los pies.
- Llenar una tercera parte del molde con muestra.
- Apisonar con la varilla de compactación la superficie, distribuyendo uniformemente 25 golpes, inclinando levemente la varilla para asegurar una compactación hasta el fondo.
- Repetir el proceso con la segunda y tercera capa, dejando en esta última, material apilado suficiente sobre el borde del molde para asegurar el llenado.
- Alisar la superficie con ayuda de la varilla de compactación.
- Levantar el molde de un solo movimiento uniforme hacia arriba, sin producir movimiento lateral o torsión en el concreto.
- Medir la diferencia de altura de la muestra respecto al molde.

## Resumen de ensayo

La tabla que se muestra a continuación está diseñada de manera que recopile los datos del ensayo de laboratorio de manera clara y concisa; se puede incluir información sobre el laboratorio, materiales, así como la identificación de la muestra.

Ensayo de asentamiento NTC 396	
Laboratorio:	Fecha:
Proyecto:	Material:
Elaboró:	Muestra n.º:
Mezcla	
Altura del molde (mm)	
Altura de la muestra asentada (mm)	
Asentamiento (mm)	
Observaciones	

## Procedimiento de elaboración de cilindros de concreto para ensayo de resistencia a la compresión

### Referencias normativas

Las normas a las que acá se hace referencia establecen los métodos para la elaboración y curado de muestras de concreto en el laboratorio bajo estricto control de materiales y condiciones de ensayo, usando concreto compactado por apisonado o vibración.

- *ASTM. (2015). C31/C31M Standard practice for making and curing concrete test specimens in the field.*
- *INV E-402 Elaboración y curado de especímenes de concreto en laboratorio para ensayos de compresión y flexión.*
- *NTC 1377 Ingeniería civil y arquitectura. Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos en el laboratorio.*

## ***Aspectos generales***

El proceso de elaboración y curado de cilindros para ensayos de resistencia a la compresión es parte esencial del proceso de evaluación de las mezclas. Como se ha mencionado anteriormente, esta propiedad mecánica del concreto se determina al aplicar cargas axiales de compresión sobre muestras cilíndricas. Es por esto que, unos cilindros elaborados con los procedimientos adecuados, brindan confiabilidad tanto para el proceso de ensayo como para el proceso de selección de materiales.

## ***Objetivos***

- Elaborar cilindros de concreto para ensayos de resistencia a la compresión

## ***Elementos para el procedimiento***

- Moldes cilíndricos.
- Varilla de compactación punta redonda.
- Aceite desmoldante.
- Pala o cucharón.
- Martillo o mazo de goma.

## ***Elementos personales***

- Botas de seguridad.
- Guantes de seguridad.
- Gafas de seguridad.

## ***Consideraciones***

Los moldes requeridos para la elaboración de cilindros de concreto pueden ser metálicos o plásticos, siempre y cuando cumplan con los requisitos técnicos, no interactúen nocivamente con la muestra durante el periodo de endurecimiento, ni presente deformidades en sus caras que puedan afectar el cuerpo del cilindro a fundir.

Es recomendable que la relación diámetro altura de los moldes sea de 1:2, pues esta relación permite evaluar con mayor confiabilidad los resultados de resistencia a la compresión (ver figura 4.2), asimismo el aceite desmoldante utilizado para lubricar el cilindro no debe reaccionar o afectar el cilindro en su periodo de endurecimiento.

**Figura 4.2 Preparación de cilindros.**

El periodo recomendado desde la fundida del cilindro hasta el desmolde e inicio del curado es de  $24 \text{ h} \pm 8$ ; este debe hacerse inmediatamente después del desmoldado, garantizando que ambiente o tanque curado (curado húmedo), no pueda afectar nocivamente el proceso de endurecimiento por la presencia de sustancias dañinas en el agua (figura 4.3).

**Figura 4.3 Puesta en curado de los cilindros.**

### **Procedimiento**

- Colocar el molde en el suelo, sobre una superficie horizontal.
- Lubricar el molde con el aceite desmoldante.
- Llenar una tercera parte del molde con muestra.
- Apisonar con la varilla de compactación la superficie, distribuyendo uniformemente 25 golpes, y golpear con el mazo el exterior del cilindro para cerrar los espacios o huecos dejados por el apisonamiento.

- Repetir el proceso con la segunda y tercera capa.
- Enrasar la superficie con ayuda de la varilla de compactación y dar un acabado suavizado a la misma.
- Desmoldar los cilindros luego de un periodo prudente, marcarlos y llevarlos a su lugar de curado.
- Mantener los cilindros en curado hasta que se vaya a realizar el ensayo.

## **Procedimiento de ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto**

### ***Referencias normativas***

Este ensayo se refiere a la determinación de la resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto, tanto cilindros moldeados como núcleos extraídos.

- ASTM. (2015). *C143/C143M Standard test method for slump of hydraulic-cement concrete*.
- INV E-410 *Resistencia a la compresión de cilindros de concreto*.
- NTC 673 Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto.

### ***Aspectos generales***

El ensayo de resistencia a la compresión de cilindros de concreto, es uno de los variados ensayos para evaluar el comportamiento mecánico del material, de este se obtiene información muy valiosa de la calidad de los materiales, el proceso de mezclado, dosificación, colocación del concreto, verificación de las especificaciones, evaluación de los aditivos, entre otros.

El ensayo de resistencia a la compresión consiste en la aplicación de una carga axial en la cara del cilindro. Se suele realizar a cilindros de edades de 3, 7, 14, 21 y 28 días, siendo los ensayos a 7 y 28 días de edad los más utilizados.

### ***Objetivos***

- Determinar la resistencia a compresión del cilindro de concreto.

### ***Elementos para el procedimiento***

- Máquina de compresión con accesorios.

### ***Elementos personales***

- Botas de seguridad.
- Guantes de seguridad.
- Gafas de seguridad.

### ***Consideraciones***

Los cilindros de concreto se ensayan en condición húmeda y con edades de curado de acuerdo a la pertinencia del estudio con tolerancias de acuerdo a la tabla 4.1.

**Tabla 4.1 Edad de ensayo de los cilindros de concreto.**

Edad de ensayo	Tolerancia admisible
24 h	$\pm 0,5$ h
3 d	$\pm 2$ h
7 d	$\pm 6$ h
28 d	$\pm 20$ h
90 d	$\pm 2$ d

Fuente: Icontec NTC 673.

Es importante garantizar la planitud de sus caras, de tal manera que la carga aplicada sobre la cara del cilindro se distribuya de manera uniforme y la falla se dé acertadamente como se muestra en la figura 4.4.

**Figura 4.4 Ensayo de resistencia a la compresión.**



Existen métodos de refrentado de las caras de los cilindros con morteros de azufre y yeso de alta resistencia, pero en la actualidad muchos laboratorios utilizan cabezales de neopreno, para un refrentado no adherido cuando las caras de los cilindros no presentan deformaciones considerables, con los que se obtienen resultados igualmente confiables respecto al refrentado adherido. El cálculo de la resistencia a la compresión se realiza de acuerdo a la ecuación 3.6.

$$F_i = \frac{Q_M}{A_C} \quad (3.6)$$

Donde:

$A_C$  : área de la sección transversal del cilindro ( $cm^2$ ).

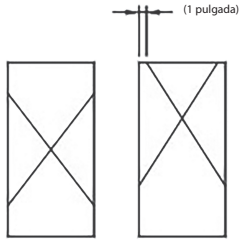
$F_i$  : resistencia a la compresión del cilindro ( $Kg/cm^2$ ).

$Q_M$  : carga máxima aplicada sobre el cilindro ( $Kgf$ ).

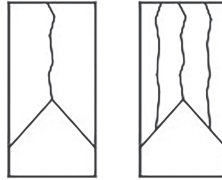
Para efectos de determinar la resistencia, es aconsejable que como mínimo se rompan tres cilindros para así considerar como válida una muestra dada de concreto. Además del resultado de ensayo, se puede evaluar la forma de la falla y hacer estimaciones sobre las propiedades del concreto evaluado. Algunos modelos de fallas típicas se muestran en la figura 4.5.

- Tipo 1. Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, fisuras a través de los cabezales menores de 25 mm (1 pulgada).
- Tipo 2. Conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales; el cono no está bien definido en el otro extremo.
- Tipo 3. Fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos; conos mal formados.
- Tipo 4. Fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos; golpee suavemente con un martillo para distinguirla del tipo 1.
- Tipo 5. Fracturas en los lados de las partes superior e inferior (ocurre comúnmente con cabezales no adheridos).
- Tipo 6. Similar al Tipo 5 pero el extremo del cilindro es puntiagudo.



**Figura 4.5 Modelos de fallas típicas. Fuente: Icontec NTC 673.****Tipo 1**

Conos razonablemente bien formados en ambos extremos, fisuras a través de los cabezales de menos de 25 mm (1 pulgada).

**Tipo 2**

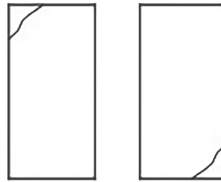
Conos bien formados en un extremo, fisuras verticales a través de los cabezales, cono no bien definido en el otro extremo.

**Tipo 3**

Fisuras verticales encolumnadas a través de ambos extremos, conos mal formados.

**Tipo 4**

Fractura diagonal sin fisuras a través de los extremos; golpee suavemente con un martillo para distinguirla del Tipo 1

**Tipo 5**

Fracturas en los lados en las artes superior o inferior (ocurre comúnmente con cabezales no adheridos)

**Tipo 6**

Similar a Tipo 5 pero el extremo del cilindro es puntiagudo

Adicionalmente si se requiere calcular la densidad del cilindro, se toman las medidas de altura, diámetro y peso del espécimen.

## Procedimiento

- Retirar el cilindro del ambiente de curado.
- Efectuar el proceso de refrentado (si es necesario).
- Realizar mediciones de dimensiones y peso del cilindro.
- Someter el cilindro a ensayo en la máquina.
- Calcular la resistencia a la compresión y densidad del cilindro.

## **Resumen de ensayo**

La información obtenida de la prueba de laboratorio puede ser condensada en la siguiente ficha.

<b>Ensayo de asentamiento NTC 673</b>	
<b>Laboratorio:</b>	<b>Fecha:</b>
<b>Proyecto:</b>	<b>Material:</b>
<b>Elaboró:</b>	<b>Muestra n.º:</b>
<b>Cilindro</b>	
Carga máxima aplicada (Kgf)	
Área de la cara (cm <sup>2</sup> )	
Altura (cm)	
Diámetro (cm)	
Peso (Kg)	
Resistencia a la compresión (Kg/cm <sup>2</sup> )	
Densidad del cilindro (Kg/m <sup>3</sup> )	
<b>Observaciones</b>	



## CAPÍTULO 5

# EJEMPLOS DE APLICACIÓN DEL DISEÑO DE MEZCLAS POR EL MÉTODO ACI

### Ejercicios de diseños de mezcla

#### Ejemplos del proceso de diseño de mezclas

A continuación se proponen cinco situaciones que requieren del diseño de mezclas y cuya solución se obtiene aplicando los métodos mencionados en los capítulos que preceden este apartado. Se aborda lo referente a la determinación de las cantidades de agua, agregados y aditivos, se calculan humedades y se estiman tiempos de procesamiento.

#### **EJEMPLO 1**

Se requiere realizar un diseño de mezcla para fundir columnas. La resistencia requerida ( $f'_{cr}$ ) para los elementos corresponde a 28 MPa, teniendo en cuenta que estos elementos no estarán expuestos a condiciones especiales.

En ensayos realizados a los materiales, los agregados se encontraban en los límites granulométricos señalados por la NTC correspondiente, además de no presentar impurezas considerables, contando con sanidad y resistencia propia adecuada para ser utilizados en concretos, además en ensayos se obtuvieron los siguientes resultados:

Propiedades físicas	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	3150	2500	2600
Peso unitario seco compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1550
Humedad natural (%)	-	3,0	0,5
Absorción (%)	-	2,0	1,2
Módulo de finura	-	2,6	-
Tamaño nominal máximo (mm)	-	-	19

- Realizar el diseño de mezcla.

**Solución:**

1. Debido a que los elementos a fundir son columnas, se requiere que la mezcla presente una consistencia fluida, por lo que de acuerdo a la tabla 2.1, se elige un asentamiento de 75 a 100 mm.
2. El tamaño nominal máximo del agregado según los ensayos es de 19 mm.
3. La cantidad de agua y aire en la mezcla se estima de 202,2 litros de agua y un valor de 2% teórico de aire por m<sup>3</sup>, de acuerdo a la tabla 2.2.
4. La resistencia requerida ( $f'_{cr}$ ) es de 28 MPa, que en la tabla 2.3 corresponde a un valor de 0,47 para cementos nacionales.
5. Utilizando la ecuación 2.2, se realiza el cálculo del cemento de la siguiente manera:

$$C_i = \frac{a}{a/C} = \frac{202,2 \text{ l} \times 0,99 \text{ kg/l}}{0,47} = 425,91 \text{ kg}$$

6. Con un módulo de finura de 2,6 y un tamaño nominal máximo de 19 mm, de acuerdo a la tabla 2.5, se estima un volumen de agregado grueso compactado de 0,64 por unidad de volumen.
7. El cálculo del agregado fino se realiza por la metodología del volumen absoluto, pues ofrece mayor exactitud en el cálculo de los volúmenes de materiales, mediante la ecuación 2.4.

$$V = \frac{W}{D}$$

- Volumen de cemento:

$$V_{Grueso} = \frac{425,91 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0,1352 \text{ m}^3$$

- Volumen de agua:

$$V_{Agua} = 202,21 \times 0,99 \text{ kg/m}^3$$

- Volumen de agregado grueso:

$$V_{Grueso} = \frac{1550 \text{ kg/m}^3 \times 0,64 \text{ m}^3}{2600 \text{ kg/m}^3} = 0,3815$$

- Volumen de aire (teórico), mediante la ecuación 2.5:

$$V_{Aire} = 0,02 \times 1 \text{ m}^3 = 0,02 \text{ m}^3$$

- Volumen de agregado fino:

$$V_{Fino} = 1 \text{ m}^3 - 0,1352 \text{ m}^3 - 0,2022 \text{ m}^3 - 0,3815 \text{ m}^3 - 0,02 \text{ m}^3$$

$$V_{Fino} = 0,2611 \text{ m}^3$$

Una vez hallado el volumen de arena, se hace una primera estimación de la cantidad de materiales en peso:

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)
Cemento	3150	0,1352	425,91
Agua	997,5	0,2022	201,69
Agregado grueso	2600	0,3815	991,90
Agregado fino	2500	0,2611	652,75
Aire	-	0,0200	-
<b>Total</b>		<b>1</b>	<b>2.299,25</b>

8. Los ajustes por humedad se realizan de acuerdo a las condiciones de humedad de los agregados:

Material	% absorción	% humedad	% absorción - humedad
Agregado grueso	1,2	0,5	0,7
Agregado fino	2,0	3,0	-1,0

Según lo calculado anteriormente, el agregado grueso presenta una humedad inferior a su absorción, por lo que hay que adicionar a la mezcla agua para satisfacer tal absorción.

Por otra parte, el agregado fino presenta una humedad superior a su absorción, esto debido a la interacción partícula-agua, por lo que hay que calcular el agua en exceso, que puede afectar la relación  $a/c$ , su resistencia y la trabajabilidad deseada en la mezcla. Se calcula como se muestra a continuación:

Material	Peso por m <sup>3</sup> (Kg)	% absorción - humedad	Agua en exceso o adición
Agregado grueso	991,90	0,7	6,94
Agregado fino	652,75	-1,0	-6,52

Con el ajuste por humedades el agua de mezclado sería:

$$\text{Agua de mezclado} = 201,69 \text{ kg} + 6,94 \text{ kg} - 6,52 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezclado} = 202,11 \text{ kg}$$

Puesto que se calculó el agua en adición o en exceso para mezclas con agregados en condición de humedad natural, se procede a calcular la cantidad en peso de los agregados en esta condición:

Material	Peso por m <sup>3</sup> seco (Kg)	% humedad	Peso por m <sup>3</sup> húmedo (Kg)
Agregado grueso	991,90	0,5	996,85
Agregado fino	652,75	3,0	672,33

Finalmente, las cantidades iniciales para un m<sup>3</sup> de la mezcla, con agregados en condición de humedad natural son:

Cemento (kg)	Agua (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Peso estimado de la mezcla (kg)
425,91	202,11	672,33	996,85	2297,2

## EJEMPLO 2

Se prepararon tres muestras de mezcla para la verificación de asentamiento del diseño de mezcla del Ejemplo 1 y se pudo constatar que el asentamiento del diseño fue de 60 mm en promedio. Esto se dio por las características propias del agregado grueso como el alto porcentaje de caras fracturadas y angulares, resultando poco trabajable; por lo que se optó por realizar un ajuste a la cantidad de agua de mezclado donde se recomendaba adicionar 7 litros de agua por m<sup>3</sup>, según la tabla 2.7.

- Realizar el diseño de mezcla con el ajuste de la cantidad de agua de mezclado.

**Solución:**

Empezando desde el paso 3 del Ejemplo 1:

1. La cantidad de mezclado se había estimado en 202,2 litros, adicionando los 7 litros recomendados por la tabla 2.7.

$$\text{Agua de mezclado} = 202,7 + 7 = 209,7$$

2. La resistencia requerida de 28 MPa requiere una relación a/c de 0,47 para cementos nacionales.
3. Con la ecuación 2.2 se calcula la cantidad de cemento:

$$C = \frac{a}{a/C} = \frac{209,2 \text{ l} \times 0,99 \text{ kg/l}}{0,47} = 440,65 \text{ kg}$$

4. De acuerdo a la tabla 2.5, se estima un volumen de agregado grueso compactado de 0,64 por unidad de volumen.
5. Se calculan los volúmenes de materiales:



- Volumen de cemento:

$$V_{Grueso} = \frac{440,65 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0,1398 \text{ m}^3$$

- Volumen de agua:

$$V_{Agua} = 209,21 \times 0,2092 \text{ m}^3$$

- Volumen de agregado grueso:

$$V_{Grueso} = \frac{1550 \text{ kg/m}^3 \times 0,64 \text{ m}^3}{2600 \text{ kg/m}^3} = 0,3815 \text{ m}^3$$

- Volumen de aire (teórico):

$$V_{Aire} = 0,02 \times 1 \text{ m}^3 = 0,02 \text{ m}^3$$

- Volumen de agregado fino:

$$V_{Fino} = 1 \text{ m}^3 - 0,1398 \text{ m}^3 - 0,2029 \text{ m}^3 - 0,3815 \text{ m}^3 - 0,02 \text{ m}^3$$

$$V_{Fino} = 0,2495 \text{ m}^3$$

Estimando las cantidades en peso materiales en peso:

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)
Cemento	3150	0,1398	440,65
Agua	997,5	0,2092	208,68
Agregado grueso	2600	0,3815	991,90
Agregado fino	2500	0,2495	623,75
Aire	-	0,0200	-
<b>Total</b>		<b>1</b>	<b>2.264,98</b>

Se calcula la cantidad de agua en adición o exceso.

Material	Peso por m <sup>3</sup> (kg)	% absorción - humedad	Agua en exceso o adición
Agregado grueso	991,90	0,7	6,94
Agregado fino	623,75	-1,0	-6,23

Con el ajuste por humedades el agua de mezclado sería:

$$\text{Agua de mezclado} = 208,68 \text{ kg} + 6,94 \text{ kg} - 6,23 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezclado} = 209,39 \text{ kg}$$

Se procede a calcular la cantidad en peso de los agregados en condición de humedad natural:

Material	Peso por m <sup>3</sup> seco (Kg)	% humedad	Peso por m <sup>3</sup> húmedo (Kg)
Agregado grueso	991,90	0,5	996,85
Agregado fino	623,75	3,0	642,46

Finalmente, las cantidades iniciales para un m<sup>3</sup> del nuevo diseño de mezcla son:

Cemento (kg)	Agua (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado Grueso (kg)	Peso estimado de la mezcla (kg)
440,65	209,39	642,46	996,85	2289,35

### EJEMPLO 3

Se requiere realizar un diseño de mezcla de concreto de peso normal, para un elemento que requiere una resistencia especificada ( $f'c$ ) de 21 MPa, no se cuenta con datos históricos de diseño o registro de experiencia con los materiales; se busca una mezcla con consistencia de seca a semiseca para ser utilizada como pavimento, se cuenta con la información básica de materiales agregados que cumplen con la normativa, los datos son los siguientes:

Propiedades físicas	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	3150	2650	2750
Peso unitario seco compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1670
Humedad natural (%)	-	3,8	0,2
Absorción (%)	-	2,3	1,0
Módulo de finura	-	2,5	-
Tamaño nominal máximo (mm)	-	-	25,0

- Realizar el diseño de mezcla de concreto que cumpla con la resistencia requerida ( $f'_{cr}$ ).

**Solución:**

1. Debido a que se requiere la mezcla con una consistencia de seca a semiseca, un asentamiento de 25 a 50 mm es apropiado.
2. El tamaño nominal máximo del agregado grueso del que se dispone es de 25 mm.
3. La cantidad de agua y aire en la mezcla se estima de 178,4 litros de agua y un valor de 1,5% teórico de aire por  $m^3$ , de acuerdo a la tabla 2.2.
4. La resistencia especificada ( $f'_c$ ) es de 21 MPa, debido a que no se tiene experiencia de diseño con los materiales, se debe determinar el valor de la resistencia requerida ( $f'_{cr}$ ), según la tabla 1.18, corresponde a:

$$f'_{cr} = f'_c + 8,3$$

$$f'_{cr} = 21 + 8,3 = 29,3 \text{ MPa}$$

El valor de la relación correspondiente a 29,3 MPa puede hallarse de manera aproximada, con dos valores extremos entre los que se encuentre 29,3, con la ecuación 2.2:

$$\frac{f'_{cmáx} - f'_{cr}}{a/c_{máx} - a/c_r} = \frac{f'_{cmáx} - f'_{mín}}{a/c_{máx} - a/c_{mín}}$$

$$\frac{35 - 29,3}{0,40 - a/c_r} = \frac{35 - 28}{0,40 - 0,47}$$

$$a/c_r = 0,45$$

5. Utilizando la ecuación 2.2, se realiza el cálculo del cemento de la siguiente manera:

$$C = \frac{a}{a/c} = \frac{179,4 \text{ l} \times 0,99 \text{ kg/l}}{0,45} = 392,48 \text{ kg}$$

6. Con un módulo de finura de 2,5 y un tamaño nominal máximo de 25 mm, de acuerdo a la tabla 2.5 se estima un volumen de agregado grueso compactado de 0,70 por unidad de volumen.

7. El cálculo del agregado fino se realiza por la metodología del volumen absoluto, mediante la ecuación 2.4.

$$V = \frac{W}{D}$$

- Volumen de cemento:

$$V_{Grueso} = \frac{392,48 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0,1246 \text{ m}^3$$

- Volumen de agua:

$$V_{Agua} = 178,41 \times 0,1784 \text{ m}^3$$

- Volumen de agregado grueso:

$$V_{Grueso} = \frac{1670 \text{ kg/m}^3 \times 0,70 \text{ m}^3}{2750 \text{ kg/m}^3} = 0,4251 \text{ m}^3$$

- Volumen de aire (teórico):

$$V_{Aire} = 0,015 \times 1 \text{ m}^3 = 0,015 \text{ m}^3$$

- Volumen de agregado fino:

$$V_{Fino} = 1 \text{ m}^3 - 0,1246 \text{ m}^3 - 0,1784 \text{ m}^3 - 0,4251 \text{ m}^3 - 0,015 \text{ m}^3$$

$$V_{Fino} = 0,2569 \text{ m}^3$$

Una vez hallado el volumen de arena, se hace una primera estimación de la cantidad de materiales en peso:

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)
Cemento	3150	0,1246	392,48
Agua	997,5	0,1784	177,95
Agregado grueso	2750	0,4251	1169,03
Agregado fino	2650	0,2569	680,79
Aire	-	0,0150	-
<b>Total</b>		<b>1</b>	<b>2.420,25</b>

8. Los ajustes por humedad se realizan de acuerdo a las condiciones de humedad de los agregados:

Material	% absorción	% humedad	% absorción – humedad
Agregado grueso	1,0	0,3	0,7
Agregado fino	2,3	3,8	-1,5

Se calcula la cantidad en peso del agua de mezclado:

Material	Peso por m <sup>3</sup> (kg)	% absorción – humedad	Agua en exceso o adición
Agregado grueso	1169,03	0,7	8,18
Agregado fino	680,79	-1,5	-10,21

Con el ajuste por humedades, el agua de mezclado sería:

$$\text{Agua de mezclado} = 177,95 \text{ kg} + 8,18 \text{ kg} - 10,21 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezclado} = 175,92 \text{ kg}$$

Se procede a calcular la cantidad en peso de los agregados en condición de humedad natural:

Material	Peso por m <sup>3</sup> (kg)	% absorción – humedad	Agua en exceso o adición
Agregado grueso	1169,03	0,3	1172,53
Agregado fino	680,79	3,8	706,66

Finalmente, las cantidades iniciales para un m<sup>3</sup> de la mezcla, con agregados en condición de humedad natural son:

Cemento (kg)	Agua (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Peso estimado de la mezcla (kg)
392,48	175,92	706,66	1172,53	2447,59

**EJEMPLO 4**

Se busca realizar un diseño de mezcla de concreto simple, para un elemento estructural que estará expuesto a condiciones de sulfatos y congelamiento; se ha previsto que la resistencia requerida para este ( $f'_{cr}$ ), debe ser mínimo 30 MPa. Adicionalmente, se requiere una trabajabilidad alta para la mezcla de consistencia muy fluida. Se cuenta con la información básica de materiales agregados que cumplen con la normativa y los datos son los siguientes:

Propiedades físicas	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	3150	2500	2600
Peso unitario seco compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1600
Humedad natural (%)	-	2,8	0,9
Absorción (%)	-	2,1	1,2
Módulo de finura	-	2,4	-
Tamaño nominal máximo (mm)	-	-	9,5

- Realizar el diseño de mezcla cumpliendo los parámetros de resistencia y durabilidad.

**Solución:**

1. Debido a que se requiere la mezcla con una trabajabilidad alta y una consistencia muy fluida, el asentamiento puede ser mayor a 150 mm.
2. El tamaño nominal máximo del agregado grueso del que se dispone es de 9,5 mm.
3. La cantidad de agua y aire en la mezcla se estima de 243,8 litros de agua y un valor de 3,0% teórico de aire por m<sup>3</sup>, de acuerdo a la tabla 2.2.
4. Debido a que es un elemento estructural que se encuentra expuesto a condiciones de sulfatos y congelamiento, hay dos requisitos de relación  $a/c$  mínimos, 0,5 y 0,45 respectivamente, según la tabla 2.4. Esto significa que la relación  $a$  a elegir no debe ser mayor a este valor, para el cumplimiento de ambos requisitos.

La resistencia requerida ( $f'_{cr}$ ) es de mínimo 30 MPa y por ello se debe comprobar que la relación  $a/c$  sea adecuada para lograr tal resistencia, de lo contrario se debe usar una relación menor.

$$\frac{f'_{cm\acute{a}x} - f'_{cr}}{a/c_{m\acute{a}x} - a/c_r} = \frac{f'_{cm\acute{a}x} - f'_{m\acute{i}n}}{a/c_{m\acute{a}x} - a/c_{m\acute{i}n}}$$

$$\frac{35 - f'_{cr}}{0,40 - 0,45} = \frac{35 - 28}{0,40 - 0,47}$$

$$f'_{cr} = 30MPa$$

5. Utilizando la ecuación 2.2, se realiza el cálculo del cemento de la siguiente manera:

$$C = \frac{a}{a/C} = \frac{243,8l \times 0,99 \text{ kg/l}}{0,45} = 536,36 \text{ kg}$$

6. Con un módulo de finura de 2,4 y un tamaño nominal máximo de 9,5 mm, de acuerdo a la tabla 2.5, se estima un volumen de agregado grueso compactado de 0,50 por unidad de volumen.
7. El cálculo del agregado fino se realiza por la metodología del volumen absoluto, empleando la ecuación 2.4.

$$V = \frac{W}{D}$$

- Volumen de cemento:

$$V_{Grueso} = \frac{536,36 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0,1702m^3$$

- Volumen de agua:

$$V_{Agua} = 243,81 \times 0,2438m^3$$

- Volumen de agregado grueso:

$$V_{Grueso} = \frac{1600 \text{ kg/m}^3 \times 0,50m^3}{2600 \text{ kg/m}^3} = 0,3077m^3$$

- Volumen de aire (teórico):

$$V_{Aire} = 0,03 \times 1 m^3 = 0,03 m^3$$

- Volumen de agregado fino:

$$V_{Fino} = 1m^3 - 0,1702m^3 - 0,2438m^3 - 0,3077 m^3 - 0,03 m^3$$

$$V_{Fino} = 0,2483 m^3$$

Una vez hallado el volumen de arena, se hace una primera estimación de la cantidad de materiales en peso:

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)
Cemento	3150	0,1702	536,36
Agua	997,5	0,2438	243,19
Agregado grueso	2600	0,3077	800,02
Agregado fino	2500	0,2483	620,75
Aire	-	0,0300	-
<b>Total</b>		<b>1</b>	<b>2.200,32</b>

8. Los ajustes por humedad se realizan de acuerdo a las condiciones de humedad de los agregados:

Material	% absorción	% humedad	% absorción - humedad
Agregado grueso	1,2	0,9	0,3
Agregado fino	2,1	2,8	-0,7

Se calcula la cantidad en peso del agua de mezclado:

Material	Peso por m <sup>3</sup> (kg)	% absorción - humedad	Agua en exceso o adición
Agregado grueso	800,02	0,7	5,60
Agregado fino	620,75	-1,5	-10,06

Con el ajuste por humedades, el agua de mezclado sería:

$$\text{Agua de mezclado} = 243,19\text{kg} + 5,60 \text{ kg} - 10,06 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezclado} = 238,73 \text{ kg}$$

Se procede a calcular la cantidad en peso de los agregados en condición de humedad natural:



Material	Peso por m <sup>3</sup> seco (kg)	% humedad	Peso por m <sup>3</sup> húmedo (kg)
Agregado grueso	800,02	0,9	807,22
Agregado fino	620,75	2,8	689,53

Finalmente, las cantidades iniciales para un m<sup>3</sup> de la mezcla, con agregados en condición de humedad natural son:

Cemento (kg)	Agua (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Peso estimado de la mezcla (kg)
536,36	238,73	689,53	807,22	2271,84

### EJEMPLO 5

Se necesita realizar una mezcla de concreto en masa, con una resistencia no menor a 28 MPa, de trabajabilidad media, se tiene como requisito economizar al máximo los costos de producción de concreto; en la región donde se llevará a cabo el proyecto se ofrecen agregados gruesos de los siguientes tamaños: 12,5 mm, 19, mm, 25 mm, 50 mm y 150 mm, y arena con módulos de finura de 2,4 2,6, 2,8 y 3,0, todos producidos y procesados de una única fuente, para diversas aplicaciones, los cuales cumplen con los requisitos normativos; los resultados de ensayos a materiales en promedio son los siguientes:

Propiedades físicas	Cemento	Agregado fino	Agregado grueso
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	3150	2500	2700
Peso unitario seco compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1800
Humedad natural (%)	-	3,2	1,0
Absorción (%)	-	2,0	1,2
Módulo de finura	-	-	-
Tamaño nominal máximo (mm)	-	-	-

- Realizar el diseño de mezcla de la manera más económicamente posible.

#### Solución:

1. Debido a que se requiere la mezcla con una trabajabilidad media y una el asentamiento puede ser entre 75 y 100 mm.

2. El tamaño nominal máximo del agregado grueso para disminuir al máximo el costo de producción el concreto es el de 150 mm, pues tamaños más grandes de agregados tienden a requerir menos cemento.
3. La cantidad de agua y aire en la mezcla se estima de 124,9 litros de agua y un valor de 0,1% teórico de aire por  $m^3$ , de acuerdo a la tabla 2.2.
4. La relación  $a/c$  recomendada para cementos nacionales es de 0,47, para una resistencia de 28 MPa.
5. Utilizando la ecuación 2.2, se realiza el cálculo del cemento de la siguiente manera:

$$C = \frac{a}{a/C} = \frac{124,9l \times 0,99 \text{ kg/l}}{0,45} = 263,08 \text{ kg}$$

6. Se escoge un agregado fino con módulo de finura de 3,0, de este modo el volumen compactado de agregado grueso por unidad de volumen es mayor, según tabla 2,5 es de 0,81..
7. El cálculo del agregado fino se realiza por la metodología del volumen absoluto, empleando la ecuación 2.4.

$$V = \frac{W}{D}$$

- Volumen de cemento:

$$V_{Grueso} = \frac{263,08 \text{ kg}}{3150 \text{ kg/m}^3} = 0,0835m^3$$

- Volumen de agua:

$$V_{Agua} = 124,09,81 \times 0,1249m^3$$

- Volumen de agregado grueso:

$$V_{Grueso} = \frac{1800^{kg/m^3} \times 0,81m^3}{2700^{kg/m^3}} = 0,5400m^3$$

- Volumen de aire (teórico):

$$V_{Aire} = 0,001 \times 1 m^3 = 0,002 m^3$$

- Volumen de agregado fino:

$$V_{Fino} = 1m^3 - 0,0835 m^3 - 0,1249 m^3 - 0,5400 m^3 - 0,002 m^3$$

$$V_{Fino} = 0,2505 m^3$$

Una vez hallado el volumen de arena, se hace una primera estimación de la cantidad de materiales en peso:

Material	Densidad (Kg/m <sup>3</sup> )	Volumen (m <sup>3</sup> )	Peso (Kg)
Cemento	3150	0,0835	263,08
Agua	997,5	0,1249	124,59
Agregado grueso	2700	0,5400	1458,02
Agregado fino	2500	0,2505	626,50
Aire	-	0,0020	-
<b>Total</b>		<b>1</b>	<b>2.472,16</b>

8. Los ajustes por humedad se realizan de acuerdo a las condiciones de humedad de los agregados:

Material	% absorción	% humedad	% absorción - humedad
Agregado grueso	1,2	1,0	0,2
Agregado fino	2,0	3,2	-1,2

Se calcula la cantidad en peso del agua de mezclado:

Material	Peso por m <sup>3</sup> (kg)	% absorción - humedad	Agua en exceso o adición
Agregado grueso	1458,02	0,2	2,91
Agregado fino	626,50	-1,2	7,58

Con el ajuste por humedades, el agua de mezclado sería:

$$\text{Agua de mezclado} = 124,59 \text{ kg} + 2,91 \text{ kg} - 7,58 \text{ kg}$$

$$\text{Agua de mezclado} = 119,92 \text{ kg}$$

Se procede a calcular la cantidad en peso de los agregados en condición de humedad natural:

Material	Peso por m <sup>3</sup> seco (kg)	% humedad	Peso por m <sup>3</sup> húmedo (kg)
Agregado grueso	1458,02	1,0	1472,60
Agregado fino	626,50	3,2	646,59

Finalmente, las cantidades iniciales para un m<sup>3</sup> de la mezcla, con agregados en condición de humedad natural son:

Cemento (kg)	Agua (kg)	Agregado fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Peso estimado de la mezcla (kg)
263,08	119,92	626,50	1458,02	2273,01



## CAPÍTULO 6

# DIMACI – SOFTWARE PARA EL DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

### **Software beta para el diseño de mezclas Método ACI - Dimaci**

La herramienta en versión beta de un software para el diseño de mezclas de concreto (Dimaci), realizada por los autores y el estudiante de ingeniería de sistemas Daniel Méndez, puede ser usada de manera sencilla para realizar estimaciones o aproximaciones de las cantidades iniciales de materiales para el diseño de mezclas.

El software cuenta con la información de la metodología ACI para realizar cálculos muy aproximados de las mezclas de concreto a partir de los datos de los materiales agregados como densidad, peso unitario, tamaño máximo nominal, módulo de finura, densidad y absorción; datos de las mezclas como la consistencia deseada, la aplicación del concreto, las condiciones de exposición, la relación a/c o la resistencia.

La aplicación se encuentra disponible y funcionando, en versión beta, en la dirección web: [http://sandbox1.ufps.edu.co/~ufps\\_21/DIMACI/](http://sandbox1.ufps.edu.co/~ufps_21/DIMACI/) para móvil y computador. Además, proporciona la información en tipo informe, junto a una curva aproximada de la evolución de la resistencia del concreto a diferentes edades. El proceso de diseño mediante el software Damaci se muestra desde la figura 13.1 hasta la figura 13.5

Figura 6.1 Interfaz Dimaci.

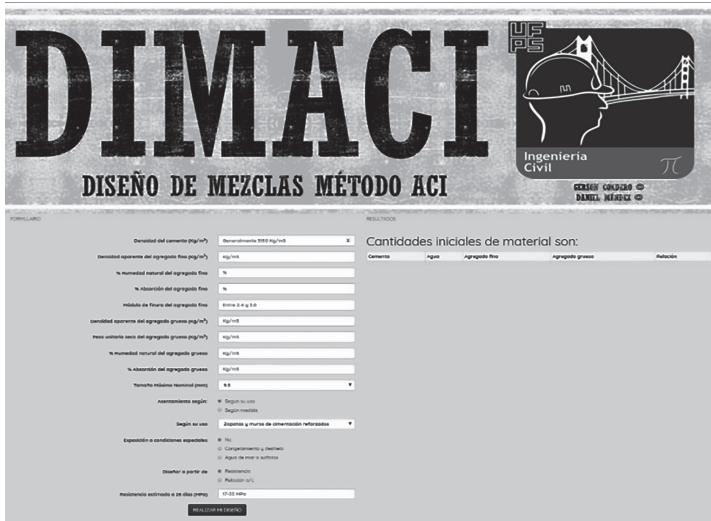


Figura 6.2 Datos de ingreso.

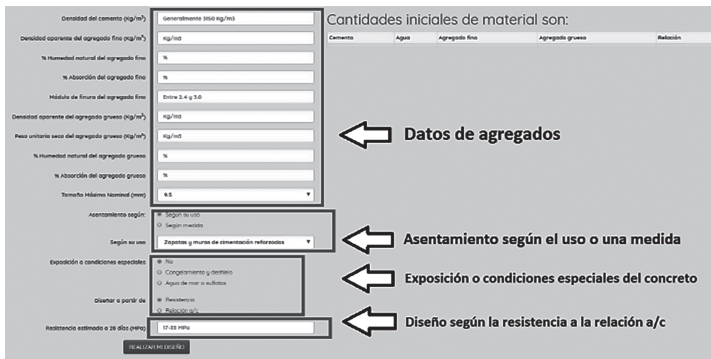


Figura 6.3 Generación de reporte.



Figura 6.4 Modelo de reporte.

	<h2>Diseño de mezcla método ACI</h2>
	<p>Gerson Cordero: 26-06-2017</p>

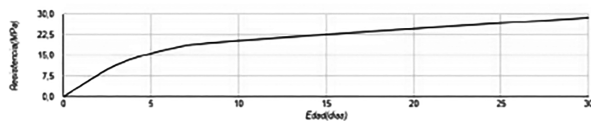
### Datos necesarios para el diseño

Propiedades física	Cemento	Agregado Fino	Roca triturada
Densidad aparente (Kg/m <sup>3</sup> )	3150	2500	2800
Peso unitario seco compactado (Kg/m <sup>3</sup> )	-	-	1550
Humedad natural (%)	-	3	0.5
Absorción (%)	-	2	1.2
Módulo de finura	-	2.6	-
Tamaño nominal máximo (mm)	-	-	19

### Cantidades iniciales

Agua (kg)	Cemento (kg)	Agregado Fino (kg)	Agregado grueso (kg)	Relacion a/c	Asentamiento (mm)	F'c (Mpa)
202.63	427.5	670.91	906.06	1:1.57:2.33	75-100	28.6

### Resistencia proyectada



### Observaciones

Cálculos realizados con base en el método ACI, las cantidades iniciales de materiales son una aproximación a las reales, los agregados se consideran en condición húmeda. Hecho con DIMACI





# BIBLIOGRAFÍA



- AASHTO (2015). *Standard specifications for transportation materials and methods of sampling and testing, Thirty-fifth Edition* [Norma de especificaciones para transporte y método de muestreo y ensayo, Trigésima Quinta Edición]. Washington D.C., Estados Unidos: American Association of State Highway and Transporting Officials.
- ACI (2002). *Standard Practice for Selecting Proportions for Normal, Heavyweight, and Mass Concrete ACI 211.1-91 (reapproved 2002)* [Norma para la selección de proporciones para concreto de peso y masa normal ACI 211.1-91 (reaprobada 2002)]. Estados Unidos: American Concrete Institute.
- AIS (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente NSR-10*. Bogotá, Colombia: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica -AIS- .
- Alta Arquitectura (S.F). *Estrutura de concreto armado, metálica ou de madeira?* [En línea] Recuperado de <http://altaarquitectura.com.br/estrutura-concreto-armado-metalica-madeira/> [Accedido: 21-dic-2018]
- ASOCRETO (2011). *Tecnología de concreto Tomo I y II*. Colombia: Asocreto.
- ASTM (2015). *American Standars for Testing and Materials*. [Normas de ensayos y materiales]. Estados Unidos: American Society for Testing and Materials.
- COMFER SAS (S.F). *Materiales para construcción*. [En línea]. Recuperado de: <http://www.comferconstruccionyseguiridad.com/>. [Accedido: 12-nov-2017].
- CORTÉS, M. e IGLESIAS, M. (2004). *Generalidades sobre metodología de la investigación*, trabajo de fin de grado, Universidad Autónoma del Carmen. México: Universidad Autónoma del Carmen.

- GIRALDO, O. (1987). *Guía práctica para el diseño de mezclas de hormigón*. Medellín: Universidad Nacional de Colombia.
- HERNÁNDEZ, R.; FERNÁNDEZ, C. & BAPTISTA, P. (1991). *Metodología de la investigación*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana de México.
- ICONTEC (1992). *NTC-396 Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar el asentamiento del concreto*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (1994). *NTC-1776 Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar por secado el contenido total de humedad de los agregados*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (1995). *NTC-92 Ingeniería civil y arquitectura. determinación de la masa unitaria y los vacíos entre partículas de agregados*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (1995). *NTC-129 Ingeniería civil y arquitectura. Práctica para la toma de muestras de agregados*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (1995). *NTC-237 Ingeniería civil y arquitectura. Método para determinar la densidad y la absorción del agregado fino*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (1995). *NTC-3674 Ingeniería civil y arquitectura. Práctica para la reducción del tamaño de las muestras de agregados, tomadas en campo*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (1997). *NTC-30 Cemento Portland, clasificación y nomenclatura*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (1999). *NTC-176 Ingeniería civil y arquitectura. Método de ensayo para determinar la densidad y la absorción del agregado grueso*.

- Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (1999). *NTC 385-99 Ingeniería civil y arquitectura. Terminología relativa al concreto y sus agregados*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (2000), *NTC-174 Concretos. Especificaciones de los agregados para concreto*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (2000), *NTC-550 Concretos. Elaboración y curado de especímenes de concreto en obra*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (2001). *NTC-3459 Concretos. Agua para la elaboración de concreto*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (2002). *NTC-32 Tejido de alambre y tamices para propósitos de ensayo*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (2007). *NTC-5551 Concretos. Durabilidad de estructuras de concreto*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (2007). *NTC-77 Concretos. Método de ensayo para el análisis por tamizado de los agregados finos y gruesos*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (2008). *NTC-5653 Determinación de la gravedad específica, absorción y vacíos en el concreto endurecido*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- ICONTEC (2010). *NTC-673 Concretos. Ensayo de resistencia a la compresión de especímenes cilíndricos de concreto*. Bogotá, Colombia: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación –ICONTEC–.
- INVIAS (2013). *Normas de ensayo de materiales para carreteras*. Bogotá, Colombia: Instituto Nacional de Vías.

- QUIROZ, M. & SALAMANCA, L. (2006). *Apoyo didáctico para la enseñanza y aprendizaje en la asignatura de Tecnología del Hormigón*, trabajo de fin de grado, Universidad Mayor de San Simón. Cochabamba, Bolivia.
- SANDINO, A. (1988). *Tecnología del concreto*. Bogotá: Universidad Nacional de Colombia.
- SÁNCHEZ DE GUZMAN, D. (2004). *Nuevas tendencias en la especificación y diseño de mezclas de concreto*. Memorias técnicas: X Reunión del concreto. Cartagena.
- VALCUENDE, M.; MARCO, E.; JARDÓN, R. & GIL, A. (2006). *Evolución de la resistencia del hormigón con la edad y la temperatura*. Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- VIDELA, C. (2000). *Dosificación de hormigones*. Santiago de Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile.
- VIZCONDE, H. (2013). *Diseño de mezclas método ACI*. Lima: ACI Perú.



Este libro fue compuesto en caracteres Minion a 11 puntos, impreso sobre papel Bond de 75 gramos y encuadernado con el método hot melt, en diciembre de 2018, en Bogotá, Colombia.

# DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO APLICANDO EL MÉTODO ACI

El concreto es uno de los materiales de ingeniería más utilizado en los proyectos de construcción como edificios, canales, puentes, vías, embalses, acueductos, viviendas, entre otros; los cuales requieren el cumplimiento de condiciones diferenciadas, para las que es imprescindible la adecuada selección de los componentes del concreto para lograr, a partir de sus propiedades mecánicas, su manejabilidad, costos y proceso de producción; que permitan adaptarlos con gran facilidad a un amplio espectro de aplicaciones. Para lograr este propósito, el diseño de mezclas cumple una función muy importante, pues es donde se definen las propiedades que tendrá este material compuesto en cada proyecto de ingeniería.

La obra permite contextualizar al lector con las generalidades del concreto, la importancia del proceso de diseño de mezclas, seguido de un análisis de los agregados del concreto y una reseña de los principales ensayos de laboratorio con los cuales se determinan las propiedades mecánicas de este material. Para finalizar, se ofrece una serie de ejemplos de diseño de mezclas a través del método ACI y se muestra este proceso por medio de una aplicación virtual producto de este libro.

Esta investigación va dirigida a estudiantes de programas técnicos o tecnológicos en obras civiles, estudiantes de ingeniería civil, profesionales y egresados de este programa. Es importante resaltar que los métodos descritos, se adaptan a las condiciones de los materiales y a los medios regionales y nacionales.

## Incluye

- ▶ Contextualización sobre la importancia del concreto como material de ingeniería y descripción detallada del diseño de mezclas de concreto.
- ▶ Los materiales, métodos y condiciones de trabajo están adaptadas a la realidad regional y nacional.
- ▶ Compilación de ejemplos de diseño de mezclas por el método ACI para diversas condiciones.
- ▶ Método de diseño de mezclas por aplicación virtual, disponible para computadoras y teléfonos móviles.

### Gerson David Cordero Estévez

Ingeniero Civil egresado de la U. Francisco de Paula Santander, con proyecto de calificación meritoria sobre el Estudio de agregados gruesos en el diseño de mezclas de concreto. Con este proyecto participó en la VII Edición de los Premios CEMEX-TEC y fue reconocido como uno de los mejores en el ENSI 2017. Participe en investigaciones y ponencias nacionales e internacionales relacionadas con el estudio del concreto, miembro del comité organizador del Primer Congreso Nacional de Ingeniería Civil en Cúcuta, la Feria Regional de la Industria de la Construcción y de la Primera Semana de la Seguridad Vial de la UFPS.

### Javier Alfonso Cárdenas Gutiérrez

Ingeniero Civil egresado de la U. Francisco de Paula Santander, especialista en Alta Gerencia, especialista tecnológico en Gestión Ambiental y Magíster en Administración de Empresas con enfoque en Dirección de Proyectos. Docente auxiliar de la U. Francisco de Paula Santander, Director del Departamento de Construcciones Civiles, Vías y Transporte y actualmente Director del plan de Estudios en Ingeniería Civil de la UFPS.

### Jhan Piero Rojas Suárez

Ingeniero Civil egresado de la U. Francisco de Paula Santander, especialista en Sistemas de Información Geográfico de la U. Distrital Francisco José de Caldas, especialista en Sistemas Gerenciales de Ingeniería de la U. Pontificia Javeriana, Magíster en Ingeniería Civil de la U. de los Andes y estudiante de Doctorado en Proyectos en la U. Internacional Iberoamericana. Ha ocupado cargos como Director del Departamento de Construcciones Civiles, Vías y Transporte, Decano de la Facultad de Ingeniería, Vicerrector Administrativo y Académico, y Rector encargado. Actualmente es Vicerrector Asistente de Investigación y Extensión de la misma institución.

