

PRÁCTICA 9

DISEÑO DE MEZCLAS DE CONCRETO

Esta práctica fue elaborada con recursos del Fondo CONACyT-SENER, a través del proyecto 260155

Laboratorio de Estructuras de
Materiales y Sistemas Estructurales

Facultad de Arquitectura, Universidad
Nacional Autónoma de México

Autores:

Dr. Alberto Muciño Vélez

M. en I. Perla Santa Ana Lozada

Formato:

Luis Francisco López Gutiérrez



ÍNDICE

Objetivo	2
Introducción	2
Material	3
Procedimiento	3
Análisis de Resultados	9
Conclusiones	10
Bibliografía	10

OBJETIVO

Cuantificar y determinar la combinación más práctica de los ingredientes para satisfacer requerimientos técnicos específicos identificando proporciones de agregados finos, gruesos y la relación agua-cemento. El alumno determinará la cantidad de agregados para cumplir un volumen y desarrollar criterios de selección y dosificación en el diseño de mezclas de concreto para trabajos específicos.

PALABRAS CLAVE

- Agregados
- Mezcla
- Trabajabilidad
- Dosificación
- Volumen
- Revenimiento

INTRODUCCIÓN

Diseño de Mezclas

El proceso de selección de los adecuados agregados para el concreto, determinando cantidades y requerimientos específicos de manejabilidad, resistencia y dureza. Actualmente se usa mezclas diseñadas para cuyas especificaciones existen valores límite respecto a un rango de propiedades que deben cumplirse. Estas son la relación máxima de agua/cemento, el contenido mínimo de cemento, la resistencia mínima, la manejabilidad mínima, el tamaño máximo del agregado y el contenido de aire dentro de los límites especificados.

Para lograr características específicas de la mezcla se debe determinar la cantidad de los agregados por conocer propiedades del concreto fresco, propiedades mecánicas del concreto endurecido y la inclusión, exclusión o límites de agregados específicos. Un cálculo adecuado del proporcionamiento del concreto debe poseer, al menos, las siguientes cualidades:

- FRESCO
 - a) Trabajabilidad
 - b) Cohesión
- ENDURECIDO
 - a) Resistente
 - b) Durable
 - c) Apariencia
- ECONÓMICO

MATERIAL

1. Cemento
2. Grava
3. Arena
4. Agua

PROCEDIMIENTOS

El ACI 211.1. Proporcionamiento de mezclas de concreto normal, pesado y masivo, considera nueve pasos.

1. Selección del revenimiento
2. Selección del tamaño máximo nominal del agregado
3. Cantidad de agua de mezclado y contenido de aire
4. Selección de la relación agua/cemento
5. Contenido de cemento
6. Estimación del contenido de grava
7. Estimación del contenido de arena
8. Ajustes por humedad de los agregados
9. Ajustes de las mezclas de prueba

Requerimientos: Diseñar una mezcla de concreto para construcción de muros de cimentación en la Cd. De México. Las especificaciones del proyecto establecen las siguientes características del concreto:

f'c (kg/cm²)	Edad (días)	Colocación	T.M.A (mm)	Revenimiento (cm)
350	28	Tiro directo (con canalón)	¾" (19)	No especificado

Características de los materiales disponibles

- Cemento Portland CPC 40 con densidad aparente de 3.0 g/cm3
- Los agregados de buena calidad que cumplen con los límites granulométricos requeridos por la NMX-C-111.
- Masa específica del agregado grueso de 2,62 g/cm3, absorción de 1,1% y MVSC de 1 610 kg/m3.
- Masa específica de la arena de 2,55 g/cm3, absorción de 2,2% y módulo de finura de 2,60.

Selección del revenimiento

Cuando no se especifica se puede seleccionar un valor apropiado de acuerdo a la siguiente tabla:

Tipos de construcción	Revenimiento, cm	
	Máximo*	Mínimo
Muros de cimentación y zapatas	7.5	2.5
Zapatas, cajones de cimentación y muros de sub-estructura sencillos	7.5	2.5
Vigas y muros reforzados	10	2.5
Columnas para edificios	10	2.5
Pavimentos y losas	7.5	2.5
Concreto masivo	7.5	2.5

* El revenimiento se puede incrementar cuando se emplean aditivos químicos, sin modificar la relación agua/cemento, evitando la segregación o el sangrado excesivo.

Selección del Tamaño Máximo del Agregado (TMA)

De acuerdo al ACI-318 el tamaño máximo del agregado no debe exceder:

- 1/5 de la separación menor entre los lados de la cimbra.
- 1/3 del espesor de la losa.
- 3/4 del espacio libre entre varillas, alambres de refuerzo individuales, paquetes de varilla, cables individuales, cables en paquete, o ductos.

Estas limitaciones se pueden omitir si la trabajabilidad y los métodos de compactación permiten colocar el concreto sin cavidades o huecos.

De acuerdo al ACI 304, si el concreto se coloca por medio de bomba, el tamaño máximo del agregado debe limitarse a:

- 1/3 del diámetro interior de la tubería, para agregados triturados angulosos.
- 2/5 del diámetro interior de la tubería, para agregados bien redondeados.

El TMA especificado es: 3/4" (19 mm). Si no se especifica, recurrir a las recomendaciones del ACI 318.

Agua de mezclado y contenido de aire

De la tabla 6.3.3, se estima que el contenido de agua para el revenimiento y tamaño máximo del agregado especificados es de: 205 l/m³*

Tabla 6.3.3 Requisitos aproximados de agua de mezclado y contenido de aire para diferentes revenimientos y tamaños máximos nominales de agregado

Revenimiento, cm	Agua, kg/m ³ para el concreto de agregado de tamaño nominal máximo (mm) indicado							
	9.5*	12.5*	19*	25*	38*	50*	75*	150*
2.5 a 5.0	207	199	190	179	166	154	130	113
7.5 a 10	228	216	205	193	181	169	145	124
15.0 a 17.5	243	228	216	202	190	178	160	-
Cantidad aproximada de aire en concreto sin aire incluido, %	3.0	2.5	2.0	1.5	1.0	0.5	0.3	0.2

*Estas cantidades de agua de mezclado son para usarse en el cálculo del contenido de cemento para mezclas de prueba a una temperatura de 20 a 25°C.

* Son cantidades máximas para agregados gruesos angulosos, razonablemente bien formados y con granulometría dentro de los límites aceptados por las especificaciones.

* El empleo de aditivos químicos reductores de agua, que cumplen ASTM C 494, pueden también reducir el agua de mezclado en un 5% o más.

* Para revenimientos mayores de 18 cm y TMA < 25 mm, es necesario el empleo de aditivos químicos reductores de agua.

† Los valores de revenimiento para concreto con agregado > 40 mm están basados en pruebas de revenimiento, después de quitar las partículas mayores de 40 mm, mediante cribado húmedo.

Relación agua/cemento

De la tabla 6.3.4 (a) De acuerdo a la resistencia especificada y a la tabla, la relación a/c = 0,48.

Resistencia a la compresión a 28 días (kg/cm ²)	Relación agua/cemento	
	Sin aire atrapado	Con aire atrapado
420	0,41	---
350	0,48	0,40
280	0,57	0,48
210	0,68	0,59
140	0,82	0,74

Contenido de cemento

La cantidad de cemento es igual al contenido de agua de mezclado dividido entre la relación agua/cemento.

De la relación:

$$a/c = 0,48 \text{ despejamos el cemento:}$$

$$c = a / 0,48 = 193/0,48$$

$$\text{Cemento} = 402 \text{ kg/m}^3$$

Estimación del contenido de grava.

Tabla 6.3.6 Volumen de agregado grueso por volumen unitario de concreto

Tamaño máximo nominal del agregado, mm	Volumen de agregado grueso* varillado en seco, por volumen unitario de concreto para distintos módulos de finura de la arena			
	2.40	2.60	2.80	3.00
9.5 (3/8")	0.50	0.48	0.46	0.44
12.5 (1/2")	0.59	0.57	0.55	0.53
19 (3/4")	0.66	0.64	0.62	0.60
25 (1")	0.71	0.69	0.67	0.65
38 (1 1/2")	0.75	0.73	0.71	0.69
50 (2")	0.78	0.76	0.74	0.72
75 (3")	0.82	0.80	0.78	0.76
150 (6")	0.87	0.85	0.83	0.81

* Volúmenes seleccionados a partir de relaciones empíricas para producir concreto con un grado de trabajabilidad adecuado para la construcción reforzada común.

* Para concretos menos trabajables, como los requeridos en la construcción de pavimentos de concreto, se pueden incrementar en un 10% aproximadamente.

* Para colados con bomba o áreas congestionadas, se puede reducir el volumen de agregado hasta en un 10%.

El módulo de finura de la arena es de 2,60, el tamaño máximo de la grava de 19 mm (3/4") y su MVSC de 1 610 kg/m³, por lo tanto de la tabla 6.3.6, tenemos:
Volumen de agregado grueso varillado seco = 0,64

$$\text{Masa Volumétrica Seca Compacta} = 1\,610 \text{ kg/m}^3 = \frac{\text{Masa (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}} = \frac{X}{0,64}$$

Despejando, tenemos :

$$\text{Contenido de grava} = 1\,610 \times 0,64 =$$

$$\text{Contenido de grava} = 1\,030 \text{ kg/m}^3$$

Estimación del contenido de arena

La cantidad de arena se determina por diferencia del volumen absoluto de los componentes del concreto.

$$\text{Masa específica (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Masa (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}} \quad \text{Volumen (m}^3\text{)} = \frac{\text{Masa (kg)}}{\text{Masa específica (kg/m}^3\text{)}}$$

VOLUMEN ABSOLUTO DE LOS COMPONENTES POR m³ DE CONCRETO

Volumen de cemento	=	402 / 3,00 = 134 L/m ³
Volumen de agua	=	193 / 1,00 = 193 L/m ³
Volumen de grava	=	1 030 / 2,62 = 393 L/m ³
Vacios (2%)	=	20 L/m ³
SUMA		= 740 L/m³

$$1\ 000 \text{ litros} = 1 \text{ m}^3$$

$$\text{Masa específica (kg/m}^3\text{)} = \frac{\text{Masa (kg)}}{\text{Volumen (m}^3\text{)}}$$

$$\text{Masa (kg)} = \text{Masa específica (kg /m}^3\text{)} \times \text{Volumen (m}^3\text{)}$$

$$\text{Volumen de arena} = 1\ 000 - 740 = 260 \text{ L/m}^3$$

$$\text{Contenido de arena} = 2,55 \times 260 = 663 \text{ kg/m}^3$$

$$1\ 000 \text{ litros} = 1 \text{ m}^3$$

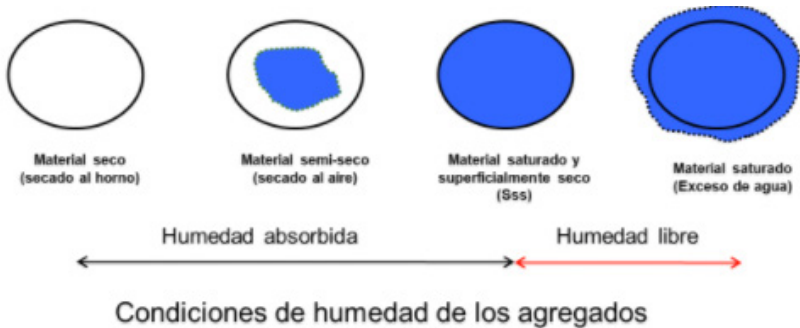
Proporcionamiento

Las cantidades TEÓRICAS calculadas de materiales para elaborar un metro cúbico de concreto en condición saturado y superficialmente seco son:

Cemento	=	402 kg
Agua	=	193 L
Grava	=	1 030 kg
Arena	=	663 kg
Suma	=	2 288 kg

Ajustes por humedad de los agregados

Se debe considerar la humedad de los agregados para realizar una dosificación real durante la elaboración de la mezcla.



Ajuste del agua debido a la absorción y humedad de los agregados

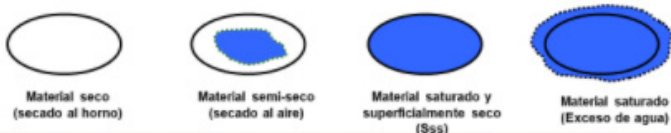
El agua de absorción NO forma parte del agua de mezclado, por lo tanto debe quedar excluida en el ajuste del agua adicional.

$$\text{Grava} = 1,1\% (\text{absorción}) - 0,30\% (\text{humedad}) = + 0,8\% \times 1\,030 = + 8 \text{ L}$$

$$\text{Arena} = 2,2\% (\text{absorción}) - 4,10\% (\text{humedad}) = - 2,0\% \times 663 = - 13 \text{ L}$$

$$\text{Grava} = 1\,030 - 8 = 1\,022 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Arena} = 663 + 13 = 676 \text{ kg/m}^3$$



Por lo tanto, el requerimiento de agua de mezclado, será:

$$\text{Agua corregida} = 193 + 8 - 13 = \mathbf{188 \text{ litros/m}^3}$$

Proporcionamiento ajustado

Las cantidades TEÓRICAS calculadas de materiales para elaborar un metro cúbico de concreto, corregidos por humedad, queda de la siguiente manera:

Cemento	=	402 kg
Agua	=	188 L
Grava	=	1 022 kg
Arena	=	676 kg
Suma	=	2 288 kg

Las proporciones de las mezclas calculadas, deben ser verificadas mediante mezclas de prueba, ya sea en el laboratorio o en condiciones reales de producción y efectuar los ajustes necesarios para cumplir los requisitos:

Ajuste del agua de mezclado y cantidad de cemento (a/c)

Masa unitaria y contenido de aire

Rendimiento volumétrico (1 m³ = 1 000 litros); tolerancia -1% a +2 % (NMX-C-155, vigente)

Trabajabilidad de la mezcla (relación grava/arena)

Segregación y sangrado

Requerimientos para el acabado

Resistencia (compresión, flexión)

Si consideramos ensayar el proporcionamiento obtenido en el laboratorio, para un volumen de 50 litros de mezcla.

Las cantidades reales de materiales a ensayar para una mezcla de 50 litros serán:

Cemento	=	402 x 0,05 =	20,1 kg
Agua	=	188 x 0,05 =	9,4 L
Grava	=	1 022 x 0,05 =	51,1 kg
Arena	=	676 x 0,05 =	33,8 kg

Para obtener el revenimiento deseado, se tuvo que adicionar + 0,150 L de agua, por lo que para mantener la relación a/c = 0,48 se requirió agregar + 0,312 kg de cemento quedando entonces la mezcla de la siguiente manera:

Cemento	=	20,100 + 0,313 =	20,413 kg
Agua	=	9,400 + 0,150 =	9,550 L
Grava	=	51,100 + 0,000 =	51,100 kg
Arena	=	33,800 + 0,000 =	33,800 kg

SUMA = 114,863 kg

ANÁLISIS DE RESULTADOS

Al evaluar la mezcla, concluimos que:

La trabajabilidad	ok
Cohesión	ok
Apariencia	ok

Acabado ok

Masa unitaria (real) 2 282 kg/m³

Calculamos el rendimiento de la mezcla de prueba para realizar el ajuste por rendimiento (1 m³ = 1 000 litros)

Rendimiento de la mezcla = $(114,863 / 2\,282) \times 1\,000 = 50,334$ litros

Rendimiento de la mezcla = 0.050334 m³

CONCLUSIONES

Finalmente, las cantidades para elaborar un metro cúbico de concreto, serán:

Cemento	= 20,412 / 0,050334 = 405 kg
Agua	= 9,550 / 0,050334 = 190 L
Grava	= 51,100 / 0,050334 = 1 015 kg
Arena	= 33,800 / 0,050334 = 672 kg
SUMA	= 2 282 Kg

BIBLIOGRAFÍA

Neville, A. M. Tecnología del concreto. Edit. Trillas. Ciudad de México. Versión autorizada en español de la primera edición 1998 (reimp. 2010) 329p. Traducción de: Concrete Technology. Incluye bibliografías e índices

