

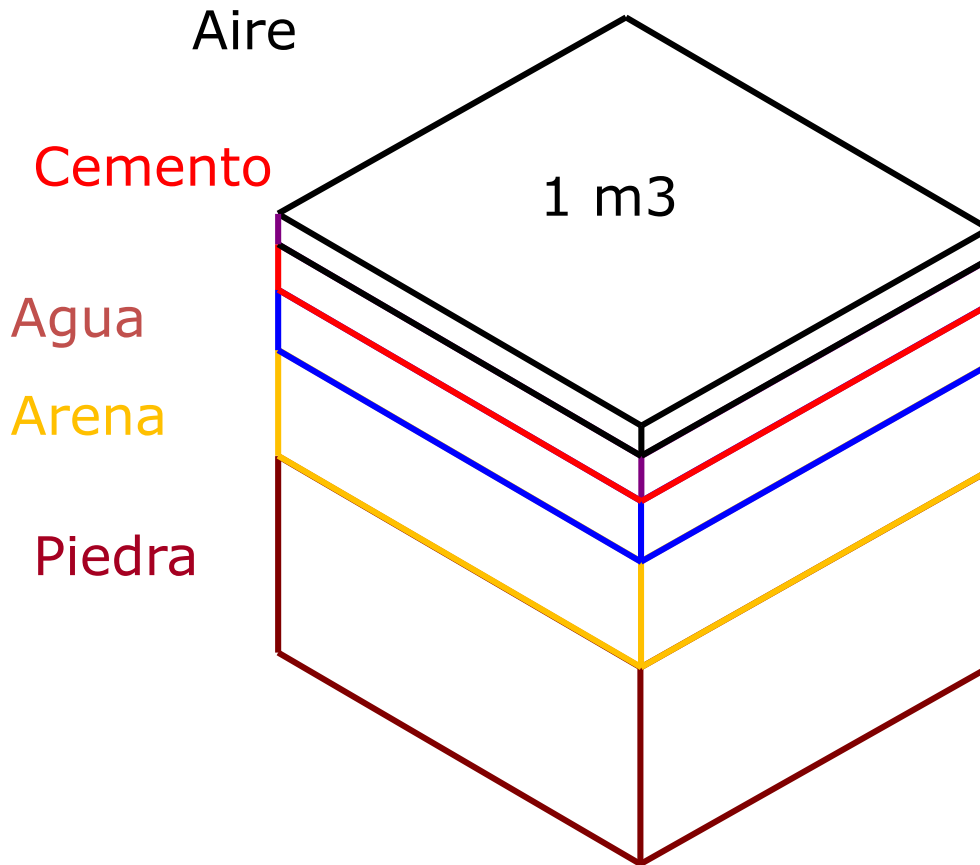
DOSIFICACIÓN DE H°

Conceptos

Ing. Raúl López

Tecnología de los Materiales de Construcción

¿qué significa dosificar un H°?



Encontrar las proporciones de los diferentes materiales para lograr un hormigón que satisfaga las siguientes condiciones:

- Trabajabilidad
- Resistencia
- Durabilidad
- Economía

Normalmente la magnitud de estas características viene dada por el proyecto

TRABAJABILIDAD

Aptitud del hormigón para poder ser mezclado, transportado, colocado, consolidado y terminado con los medios disponibles en obra sin sufrir segregación o exudación excesivas

RESISTENCIA

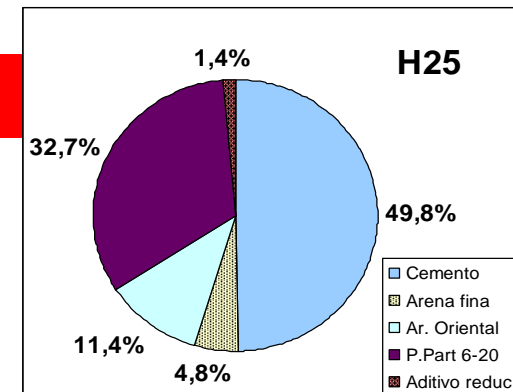
Debe alcanzar la resistencia especificada ($f'c$) con la que se hizo el proyecto
Normalmente se utiliza resistencia a compresión, pero puede especificarse resistencia a flexión (pavimentos)

DURABILIDAD

Aptitud de la estructura para mantenerse en servicio durante la vida útil prevista con un mantenimiento razonable.
Debe considerarse al ambiente en que se encontrará la estructura como una acción sobre la misma

ECONOMÍA

No debe condicionar lo anterior, pero no debe olvidarse para que los proyectos sean realizables.



¿Qué datos necesitamos?

AGREGADOS

- Deben cumplir con los requisitos normativos
- Debo conocer:
 - Granulometría
 - Densidad sss
 - Absorción (para la etapa de producción)

CEMENTO

- Densidad
- Clase resistente

AGUA

- Debe cumplir con los requisitos de la norma IRAM 1601
- Agua potable es considerada apta

ADITIVOS

- Densidad
- Dosificaciones recomendadas
- Reducción de agua, incorporación de aire, etc.

¿Qué datos necesitamos?

CONDICIONES DE PRODUCCIÓN COLOCACIÓN CONSOLIDACIÓN

- Tipo de mezcladora: central, camión motohormigonero
- Forma de colocación: descarga directa, bombeo, otra
- Forma de consolidación: varillado, vibrado

GEOMETRÍA DE LA ESTRUCTURA

- Dimensiones de los elementos estructurales
- Separación mínima entre barras de armadura
- Espesores de recubrimiento requeridos por el proyecto

AMBIENTE DÓNDE ESTARÁ LA ESTRUCTURA

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

- Hay diversos métodos cada uno con sus ventajas y desventajas
 - Los más sencillos son un simple procedimiento matemático pero son limitados
 - Otros, un poco más complejos permiten poner el criterio del ingeniero que, si es experimentado, permitirá alcanzar resultados más certeros
- Hay software muy sofisticado, donde hay que introducir gran cantidad de datos, pero no siempre se logran resultados sensiblemente mejores.

“Lo que es concreto no puede ser abstracto” . K.Mehta

- Necesariamente hay que verificar la dosificación con pastones de prueba

ALGUNOS ASPECTOS GENERALES

- Utilizar el mayor tamaño máximo compatible con la geometría de la estructura **y con la resistencia**
- Utilizar el menor asentamiento compatible con la estructura y condiciones de colocación
- Utilizar el menor contenido de cemento posible ($>280 \text{ kg/m}^3$)
- Utilizar la combinación de agregados que dé la granulometría más gruesa compatible .
- Optimizar el uso de las fracciones de agregados según sus costos relativos que varían de región en región
- La cantidad de arena normalmente es menor que la de agregado grueso
- En la mayoría de los casos económicamente conviene utilizar un aditivo reductor de agua
- Salvo situaciones muy especiales, se usarán los agregados de la zona

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

1. Seleccionar el asentamiento (si no viene especificado en el proyecto)

Tipo de construcción	Asentamiento medido por el método del cono de Abrams [cm]
Muros armados de fundación y cimientos	5 a 12
Fundaciones, cajones y muros de hormigón simple	3 a 10
Losas, vigas y muros armados	8 a 15
Columnas de edificios	8 a 15
Pavimentos	3 a 8
Estructuras de gran espesor (masivas)	3 a 5

Tabla 2 - Elección del asentamiento.

Tipo de consistencia	Asentamiento	Forma recomendada de compactación
Muy seca	*	vibradores internos de alta frecuencia, complementados con el golpeteo de los encofrados y/o con vibradores de encofrados
Seca	2,0 a 5,0 cm	
Plástica	5,0 a 10,0 cm	
Muy plástica	10,0 a 15,0 cm	vibradores internos de alta frecuencia complementado con el golpeteo de los encofrados
Flúida	15,0 a 18,0 cm	vibración interna muy leve y cuidadosa Varillado
Muy Flúida	*	

Tabla 3 – Métodos de compactación recomendados según la consistencia del hormigón

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

Consistencia

La elección de la consistencia o asentamiento del hormigón, dependerá del tipo de estructura a llenar y de los medios de compactación y colocación con los que se cuente.



Seca 1 – 6 cm



Plástica 6- 12 cm



Fluida 12-18 cm

Muros armado de fundación

Fundaciones, cajones y muros de H° simple

Losas , vigas y muros armados.
Columnas de edificios

Pavimentos

Estructuras de gran
espesor (masivas)

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

2. Verificación de la resistencia especificada ($f'c$) según en ambiente en el que se encontrará la estructura (verificación por durabilidad)

$f'c$ es la resistencia es la que usó el proyectista para calcular la estructura
¿Es la correcta para el ambiente en que se encontrará la estructura?

Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo a la clasificación de las Tablas 2.1. y 2.2. y sus complementarias 2.3. y 2.4.									
	A 1	A 2	A 3	M 1	M 2	C 1 (2)	C 2 (2)	Q 1	Q 2	Q 3 (3)
a) Razón a/c máxima ⁽¹⁾										
Hormigón simple	---	---	---	0,45	0,45	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón armado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón pretensado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
b) $f'_{c,min}$ (MPa)										
Hormigón simple	---	---	---	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	25	30	35	40	45	30	35	35	40	45

(1) Cuando se use cemento portland mas una adición mineral activa, se debe reemplazar la razón agua/cemento (a/c), por la razón agua/ material cementicio [a/(c+x)], que tenga en cuenta la suma del cemento pórtland (c) y la cantidad y eficiencia de la adición (x).

(2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 5.3..

(3) Adicionalmente, se debe proteger a la estructura con una membrana, película o material impermeable, capaz de resistir la agresión.

Tabla 4 – Requisitos de durabilidad a cumplir por los hormigones en función del tipo de exposición de la estructura

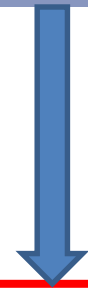
Selección de la resistencia especificada ($f'c$)

Tabla 2.5. Requisitos de durabilidad a cumplir por los hormigones, en función del tipo de exposición de la estructura

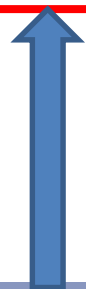
Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo con la clasificación de las Tablas 2.1, y 2.2, y sus complementarias 2.3, y 2.4.									
	A 1	A 2	A 3 y M 1	C L y M 2	M 3	C 1 ⁽²⁾	C 2 ⁽²⁾	Q 1	Q 2	Q 3
a) Razón a/c máxima ⁽¹⁾										
Hormigón simple	----	----	----	0,45	0,45	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón armado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón pretensado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
b) f'_{cm} (MPa)										
Hormigón simple	----	----	----	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	25	30	35	40	45	30	35	35	40	45
Penetración de agua o succión capilar según 2.2.11.										
	no	si	si	si	si	si	si	si	si	si

(1) Cuando se use cemento Portland más una o varias adiciones minerales activas incorporadas directamente en planta elaboradora, se podrá reemplazar la razón agua/cemento (a/c), por la razón agua/material cementicio [a/(c+x)], que tenga en cuenta la suma del cemento Portland (c) y la cantidad de la adición mineral (x), cuando se trate de puzolanas según norma IRAM 1668:1968 o de escorias según norma IRAM 1667:1990.
 (2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 5.3.
 (3) Cuando corresponda se debe proteger a la estructura según 2.2.5.2.c2 ó 2.2.10.3.

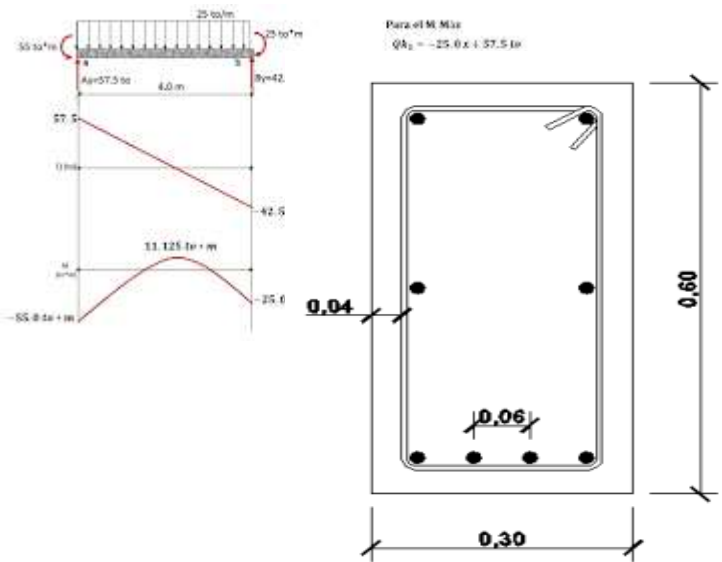
Selección de la resistencia especificada mínima por durabilidad



Se adopta la MAYOR. Criterio conservador



Resistencia especificada por diseño estructural



DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

3. Cálculo de la resistencia de diseño (f'_{cr})

es la mínima resistencia a compresión que debe lograrse en los pastones de prueba de laboratorio a la edad de diseño del hormigón. Si no se especifica lo contrario la edad de diseño será 28 días.

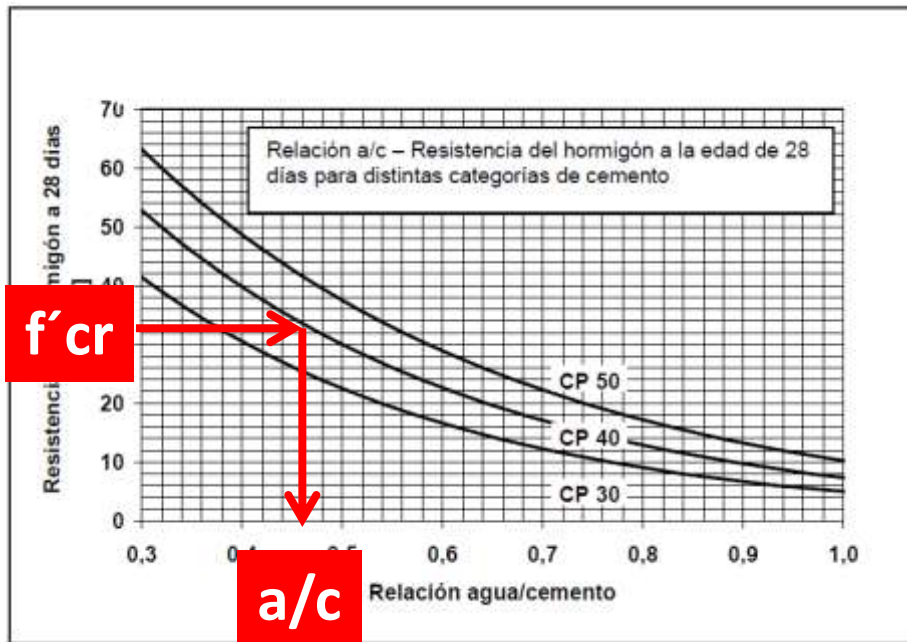
	Modo 1	Modo 2
Cálculo de la resistencia de diseño (f'_{cr})	$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s_n$ $f'_{cr} = f'_c + 2,33 s_n - 3,5$	$f'_{cr} = (f'_c + 5) + 1,34 s_n$ $f'_{cr} = f'_c + 2,33 s_n$

5.2.2.4. En ningún caso la *desviación estándar*, s_n , a utilizar en la estimación de la resistencia de diseño de la mezcla debe ser menor que **3,0 MPa**.

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

4. Determinación de la relación a/c

Criterio de Resistencia



Criterio de Durabilidad

Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo a la clasificación de las Tablas 2.1. y 2.2. y sus complementarias 2.3. y 2.4.									
	A 1	A 2	A 3	M 1	M 2	C 1 (2)	C 2 (2)	Q 1	Q 2	Q 3 (3)
a) Razón a/c máxima ⁽¹⁾										
Hormigón simple	---	---	---	0,45	0,45	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón armado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
Hormigón pretensado	0,60	0,50	0,50	0,45	0,40	0,45	0,40	0,50	0,45	0,40
b) $f'_{c,adm}$ (MPa)										
Hormigón simple	---	---	---	30	35	30	35	30	35	40
Hormigón armado	20	25	30	35	40	30	35	30	35	40
Hormigón pretensado	25	30	35	40	45	30	35	35	40	45

(1) Cuando se use cemento pórtland más una adición mineral activa, se debe reemplazar la razón agua/cemento (a/c), por la razón agua/ material cementicio $[a/(c+x)]$, que tenga en cuenta la suma del cemento pórtland (c) y la cantidad y eficiencia de la adición (x).

(2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 5.3.

(3) Adicionalmente, se debe proteger a la estructura con una membrana, película o material impermeable, capaz de resistir la agresión.

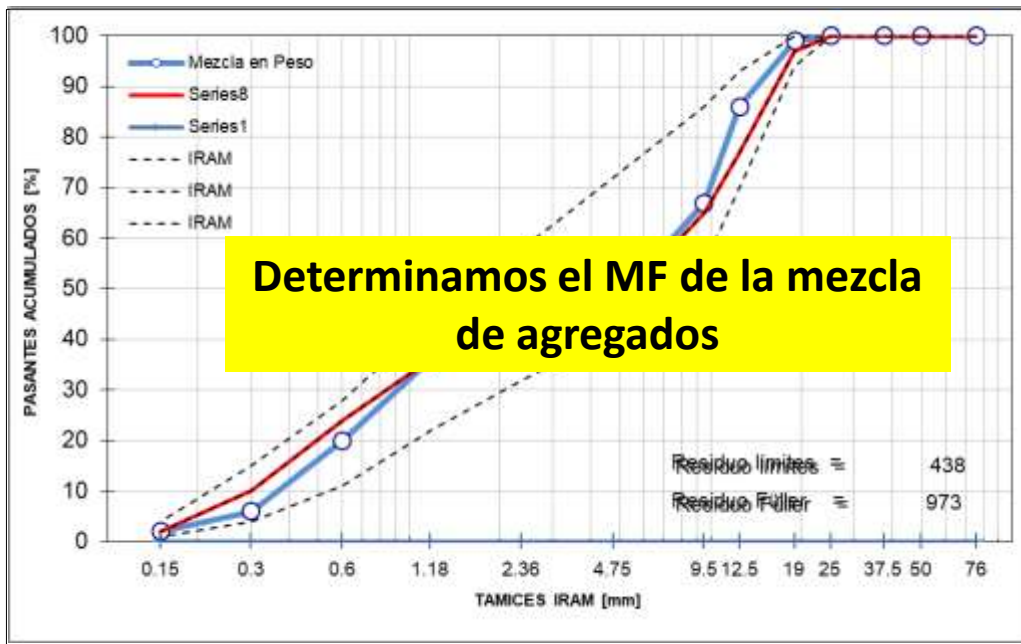
Se adopta la MENOR.
Criterio conservador

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

5. Determinación del Tamaño Máximo

Lo que se busca al limitar el tamaño máximo del agregado es no perder homogeneidad en el hormigón colocado.

6. Determinación de la mezcla de agregados más conveniente



Determinamos el MF de la mezcla de agregados

El aspecto final del hormigón cuando se realice el pastón de prueba definirá la necesidad o no de ajustar la mezcla de agregados

EN GENERAL:

- **contenido de arena** <50%
- Granulometría **dentro del entorno de las curvas A y B.**
- Si las estructuras a construir son de geometría compleja o de espacios reducidos conviene **mezclas más dóciles** y por lo tanto con mayor contenido de arena (curvas más finas).
- Siempre que la geometría de la estructura, los métodos de colocación y la consistencia del hormigón lo permitan utilice **granulometrías más gruesas.**
- **Curvas granulométricas suaves**

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

7. Determinación del Contenido de Aire

7.1. Aire Naturalmente Incorporado (ANI)

Contenidos aproximados de aire naturalmente incorporado en función del T_{máx} de agregado

Tamaño máximo del agregado [mm]	12,5	19	26,5	37,5	50
Aire Naturalmente incorporado [%]*	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5

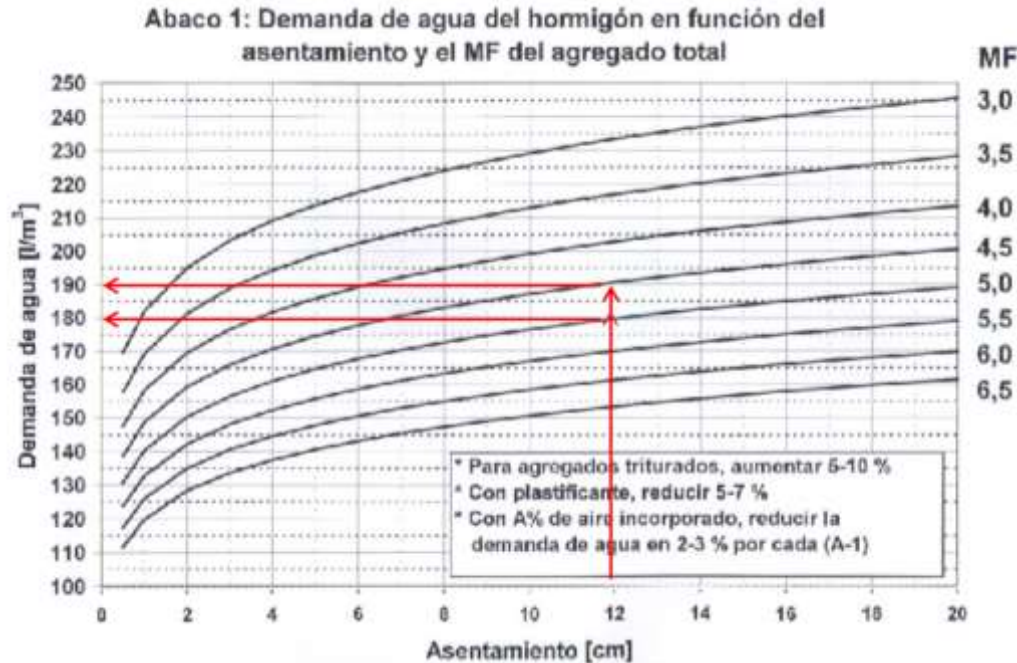
El aire se expresa como un porcentaje en volumen respecto al metro cúbico de H°, es decir que 2% de aire es 2% en 1000 litros de hormigón, 20 litros de aire.

7.2. Aire Total = ANI + Aire intencionalmente incorporado (por durabilidad)

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Total de aire natural e intencionalmente incorporado al hormigón, de acuerdo con el tipo de exposición o para hormigones especiales (Capítulo 2, Tablas 2.5. y 2.7.)	
	Exposición tipo C1 y hormigón a colocar bajo agua	Exposición tipo C2
mm	% en volumen	% en volumen
13,2	5,5 ± 1,5	7,0 ± 1,5
19,0	5,0 ± 1,5	6,0 ± 1,5
26,5	4,5 ± 1,5	6,0 ± 1,5
37,5	4,5 ± 1,5	5,5 ± 1,5
53,0	4,0 ± 1,5	5,0 ± 1,5

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

8. Determinación del Contenido de Agua (CUA)



AJUSTES:

- Si los agregados son triturados +5-10%
- Si se incorpora aire -2 o 3% cada A% - 1%
- Si se usa un aditivo -x% en función del aditivo

9. Determinación del Contenido de Cemento (CUC) y de aditivos (m_{ad})

$$CUC \left[\frac{kg}{m^3_{H^o}} \right] = \frac{CUA}{\frac{a}{c}} \left[\frac{kg}{m^3_{H^o}} \right] \quad m_{ad} \left[\frac{kg}{m^3_{H^o}} \right] = CUC \left[\frac{kg}{m^3_{H^o}} \right] \times \frac{Ad[\%]}{100}$$

A los efectos de proteger las armaduras contra la corrosión, el contenido mínimo de cemento debe ser igual a **280 kg/m³** de hormigón

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

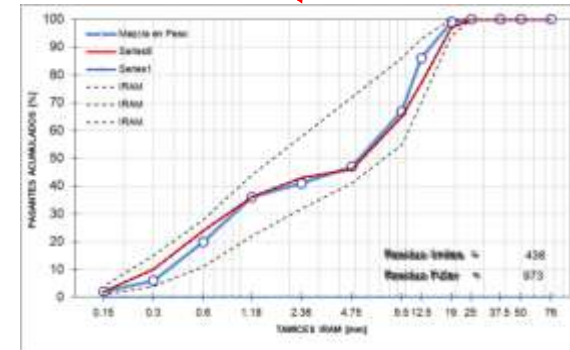
10. Determinación de la masa de los diferentes agregados

$$V_{pasta} = \frac{CUC}{\rho_{cto}} + \frac{CUA}{\rho_{AGUA}} + \frac{m_{aditivo}}{\rho_{aditivo}} + V_{aire}$$

$$V_{agregados} = 1 \text{ m}^3 - V_{pasta}$$

$$V_{agregados} = P_t \times \sum \frac{\%agregado_i}{\rho_{SSS_i}} \therefore P_t$$

$$P_i = P_t \times \%agregado_i$$



DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

11. Verificación del contenido de material pulverulento

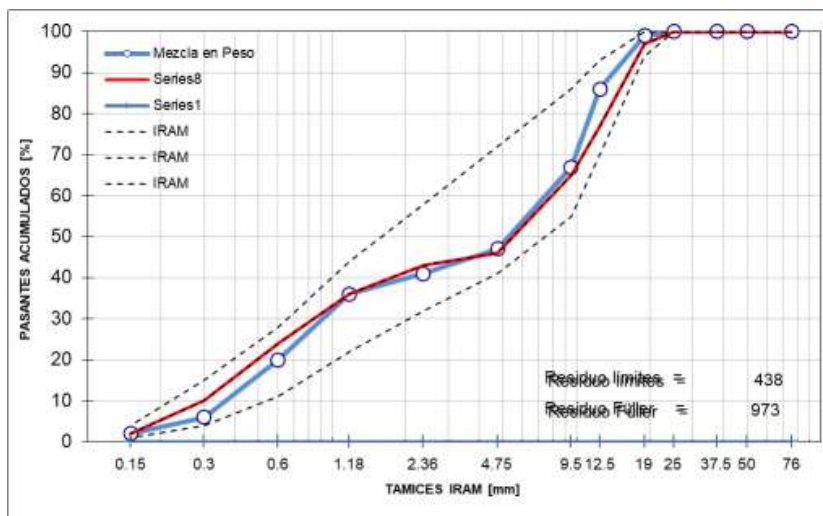
Indispensable para permitir que el hormigón fresco tenga adecuada cohesión que impida su segregación y excesiva exudación

Tamaño máximo nominal del agregado grueso	Contenido de material que pasa por el tamiz IRAM 300 μm (N° 50) (mm) (kg por metro cúbico de hormigón).
13,2	480
19,0	440
26,5	410
37,5	380
53,0	350

DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

12. Dosificación

	Dosificación [kg/m ³]	Densidad [kg/m ³]	Volumen [m ³]
Cemento	370	3020	0,123
Agua	192	1000	0,192
Arena	763	2635	0,290
Agregado grueso	1012	2695	0,376
Aire incorporado	20 litros		0,020
Volumen total			1,001



DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES

13. Verificación Empírica - Pastón de prueba

La dosificación teórica deberá necesariamente verificarse en un pastón de prueba para verificar las propiedades reales del hormigón, fundamentalmente:

- demanda de agua,
- trabajabilidad (consistencia/fluidez, cohesión, estabilidad)
- resistencia.



Si alguna de las propiedades no fuera satisfactoria o fuera excesiva se deberá hacer un ajuste de la dosificación y volver a probarla hasta converger en el hormigón deseado.

A su vez esta dosificación ajustada podrá sufrir alguna modificación cuando se produzca a escala industrial.



ANEXOS

Tabla 2.1. Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras

1	2	3	4	5	6
EXPOSICIÓN					
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde se pueden dar las clases de exposición
A 1	No agresiva		Ninguno	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios no sometidos a condensaciones • Elementos exteriores de edificios, revestidos • Hormigón masivo interior • Estructuras en ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual < 250 mm. 	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios protegidos de la intemperie • Columnas y vigas exteriores revestidas con materiales cerámicos o materiales que demoran la difusión del CO₂. • Elementos estructurales de hormigón masivo que no están en contacto con el medio ambiente. Parte interior de los mismos.
A 2	Ambiente Normal	Temperatura moderada y fría, sin congelación. Humedad alta y media o con ciclos de mojado y secado	Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Interiores de edificios expuestos al aire con HR ≥ 65 % o a condensaciones • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual < 1.000 mm. • Elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos 	<ul style="list-style-type: none"> • Sótanos no ventilados • Fundaciones • Tableros y pilas de puentes • Elementos de hormigón en cubiertas de edificios • Exteriores de edificios. • Interiores de edificios con humedad del aire alta o media • Pavimentos • Losas para estacionamientos
A 3	Clima cálido y húmedo		Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> • Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥ 1.000 mm • Temperatura media mensual durante más de 3 meses al año ≥ 25° C. 	



Tabla 2.1. Clases de exposición generales que producen corrosión de armaduras (continuación)

1	2	3	4	5	6
EXPOSICIÓN					
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde se pueden dar las clases de exposición
C L	Húmedo o sumergido, con cloruros de origen diferente del medio marino		Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • Superficies de hormigón expuestas al rociado o la fluctuación del nivel de agua con cloruros • Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales 	<ul style="list-style-type: none"> • Piletas de natación sin revestir. • Fundaciones en contacto con aguas subterráneas • Cisternas en plantas potabilizadoras • Elementos de puentes
M 1	Marino	Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • A más de 1 km. de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales. 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcciones alejadas de la costa pero en la zona de influencia de los vientos cargados de sales marinas (*).
M 2		Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • A menos de 1 km. de la línea de marea alta y contacto permanente o frecuente con aire saturado con sales 	<ul style="list-style-type: none"> • Construcciones próximas a la costa.
M 3		Sumergidos	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • Sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de defensas costeras • Fundaciones y elementos sumergidos de puentes y edificios en el mar
		Sumergidos	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> • En la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar 	<ul style="list-style-type: none"> • Estructuras de defensas costeras, fundaciones y elementos de puentes y edificios

(*) La distancia máxima depende de la dirección de los vientos predominantes. Cuando ellos provengan del mar, como ocurre en la mayor parte del litoral de la Provincia de Buenos Aires, esta zona está entre 1 km y 10 km. En la mayor parte de la Patagonia esta zona es inexistente. El Director del Proyecto deberá acotar los límites de aplicación de esta zona de agresividad.



Tabla 2.2. Clases específicas de exposición que pueden producir degradación distinta de la corrosión de armaduras

1	2	3	4	5	6
Desig.	Clase	Subclase	Tipo de proceso	Descripción del medio ambiente	Ejemplos ilustrativos de estructuras donde pueden darse las clases de exposición
C 1	Congelación y deshielo	Sin sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo	Elementos en contacto frecuente con agua, o zonas con humedad relativa ambiente media en invierno superior al 75 %, y que tengan una probabilidad mayor que el 50 % de alcanzar al menos una vez temperaturas por debajo de -5 °C	<ul style="list-style-type: none"> • Superficies expuestas a la lluvia o a atmósferas húmedas. • Estructuras que contienen agua o la conducen.
C 2		Con sales descongelantes	Ataque por congelación y deshielo y por sales descongelantes	Estructuras destinadas al tráfico de vehículos o peatones en zonas con más de 5 nevadas anuales o con temperatura mínima media en los meses de invierno inferior a 0°C	<ul style="list-style-type: none"> • Pistas de aterrizaje, caminos y tableros de puentes. • Superficies verticales expuestas a la acción directa del rociado con agua que contiene sales descongelantes. • Playas de estacionamiento y cocheras en los edificios.
Q 1	Ambientes con agresividad química	Moderado	Ataque químico	<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad lenta (Ver Tablas 2.3 y 2.4). 	
Q 2		Fuerte		<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad media (Ver Tablas 2.3 y 2.4). • Exposición al agua de mar 	
Q 3		Muy fuerte		<ul style="list-style-type: none"> • Suelos, aguas o ambientes que contienen elementos químicos capaces de provocar la alteración del hormigón con velocidad rápida (Ver Tablas 2.3 y 2.4). 	

