



DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES



DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

1. INTRODUCCION

En una primera aproximación al tema, podemos considerar que la dosificación, o diseño racional de mezclas de hormigón, es un proceso por el cual se obtiene la correcta combinación de cemento, agregado, agua y aditivos, cuando sean necesarios, con el fin de producir un hormigón conforme a determinadas especificaciones.

En contra de lo que pueda parecer, lo cierto es que detrás de esta sencilla definición existe un mundo complicado, que no puede reducirse a un conjunto de números, sino que necesita del entendimiento de ciertos principios fundamentales y de algo de práctica para poder ser dominado; realmente, vale el esfuerzo dedicar tiempo a su estudio, pues son evidentes los efectos que la dosificación tiene en el costo del hormigón, así como en algunas de sus propiedades más importantes del estado fresco y endurecido.

Uno de los objetivos de la dosificación es la obtención de un producto que se comportará según algunos requisitos predeterminados, siendo los más importantes, en general, la trabajabilidad del hormigón fresco, la resistencia alcanzada por el hormigón endurecido a una edad determinada y la durabilidad de este hormigón. Asimismo, otro de los propósitos de la dosificación es la producción de una mezcla que cumpla con todos estos requerimientos al menor costo posible; esto implica tomar decisiones con respecto a la selección de ingredientes, ya que además de adecuados deben poderse adquirir a precios razonables.

Una vez que tenemos los materiales que formarán parte del hormigón y conocemos las condiciones con las cuales se trabajará en obra, las variables que generalmente están bajo el control de la persona responsable son: la relación pasta de cemento/agregado en la mezcla, la relación agua/cemento en la pasta de cemento, la relación agregado fino/ agregado grueso en los agregado y el uso de adiciones o aditivos.

Ciertamente, dentro de un volumen fijo no podemos modificar uno de los componentes de manera independiente al resto. Además, el cambio en una variable determinada puede afectar de forma opuesta a ciertas propiedades deseables en un hormigón. Por ejemplo, la adición de agua en un hormigón rígido (contenido de cemento fijo) provocará una mejora en la fluidez del material, pero al mismo tiempo será la responsable de una reducción en la resistencia de éste. Es evidente, por tanto, que el diseño de mezclas implica la nada fácil tarea de equilibrar este tipo de resultados contradictorios.



Es importante tener claros cuáles son nuestros objetivos al dosificar un hormigón; para ello es básico conocer, en primer lugar, cuál va a ser su uso, de qué medios disponemos (o son los adecuados) para su puesta en obra, dónde va a ser ubicado, y, en general, todos aquellos datos que puedan ser útiles a la hora de definir las propiedades que ha de tener nuestro hormigón para cumplir con su función.

Como hemos apuntado anteriormente, existen tres propiedades esenciales que debe cumplir todo hormigón, independientemente que sea un hormigón convencional o no, cuyo logro nos hace pensar que el proceso de dosificación se ha realizado de manera correcta.

Efectivamente, el hormigón debe ser lo suficientemente **trabajable** en su estado fresco para una adecuada puesta en obra, como también ha de proporcionar la **resistencia** que se le exige en estado endurecido y ciertas garantías de **durabilidad** en el tipo de ambiente al que vaya a ser expuesto, durante el periodo de tiempo establecido.

2. ASPECTOS GENERALES A CONSIDERAR:

Economía

El costo de un hormigón está constituido por el costo de los materiales, el costo de la mano de obra y el costo del equipamiento. Sin embargo, con excepción de algunos hormigones o procesos especiales, los dos últimos aspectos son prácticamente independientes de la calidad del hormigón producido. Por lo tanto, es razonable asociar la economía a la reducción del costo de los materiales componentes.

Dado que el cemento es más costoso que los agregados, por lo general, la mezcla más económica será aquella con menor contenido de cemento sin sacrificar la calidad del hormigón. Si asociamos la "calidad" a la relación agua/cemento, es evidente que debemos reducir la demanda de agua de la mezcla empleando alguna de o todas las alternativas que se indican a continuación:

- Elegir la mezcla más seca que sea posible colocar y compactar con los medios disponibles
- Optar por el máximo tamaño máximo del agregado compatible con el tamaño del elemento, las armaduras y el recubrimiento
- Optimizar la relación entre agregados finos y gruesos

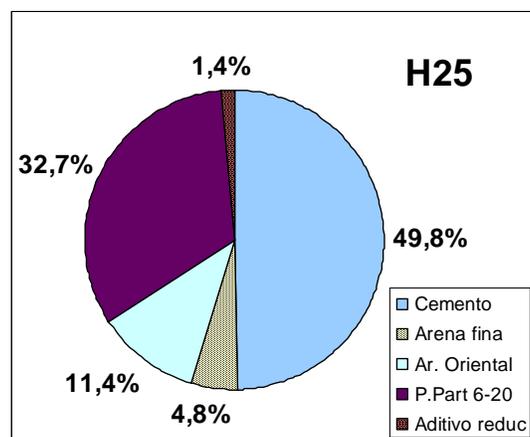
El costo relativo entre las distintas fracciones de agregado también debe tenerse en cuenta y, como esto cambia entre las distintas regiones, la mezcla más económica que satisfaga los requerimientos será distinta en cada caso.



La reducción de la cantidad de cemento (contenido unitario de cemento) tiene otras ventajas adicionales: menor contracción y menor calor de hidratación. Sin embargo, si el contenido unitario de cemento es muy bajo, pueden verse comprometidas la trabajabilidad, la durabilidad y la resistencia a corto plazo.

El gráfico 1, ilustra la incidencia en el costo total de los distintos componentes, para distintas clases de hormigón, elaborados con los mismos conjuntos de materiales y para una misma consistencia (asentamiento). El conjunto de resultados es sólo ilustrativo, ya que las relaciones pueden cambiar en función de características regionales y locales.

Gráfico 1



Materiales componentes

Los materiales que componen el hormigón en general los podemos identificar como:

- Agregados pétreos
- Cemento
- Agua
- Aditivos
- Adiciones minerales

Siendo las características y requerimientos para cada uno de ellos a lo visto en los respectivos capítulos ya desarrollados en el curso. A la hora de dosificar una mezcla de hormigones debe tenerse muy presente los materiales con los que se contará a la hora de la confección del mismo en obra, ya que el cambio de alguno de los materiales podría modificar el producto final obtenido.



Cantidades en peso

Una característica que identifica a los métodos racionales de dosificación es que la determinación de las cantidades de todos y cada uno de los materiales, se realiza exclusivamente en peso a efectos de asegurar la exacta cantidad de cada uno de los materiales.

Ley de Abrams

En general es aceptada la llamada ley de Abrams, que dice “Para mezclas plásticas, con agregados limpios y bien graduados, la resistencia mecánica y otras propiedades del hormigón resultan ser función de la relación que existe entre las cantidades netas en peso de agua de mezclado y de cemento que intervienen en la unidad de volumen del hormigón”.

Agregado S.S.S. - Volumen Sólido

En general cualquiera sea el método de dosificación utilizado, los agregados se consideran en estado saturado superficie seca, por lo que luego en obra será necesario realizar las correspondientes correcciones por humedad.

Trabajabilidad adecuada

El tiempo en que el hormigón se encuentra en su estado fresco es corto, pero decisivo. En efecto, las características que presenta el hormigón en su estado endurecido dependen de manera radical del conocimiento y control de las distintas propiedades que caracterizan al hormigón fresco.

Es imprescindible, por lo tanto, estudiar aquellas propiedades del hormigón fresco que contribuirán a la consecución de una mezcla cuyo transporte, puesta en obra, compactación y acabado superficial pueda realizarse de forma correcta y sin que se produzca segregación.

La trabajabilidad del hormigón fresco determina la facilidad con la cual una mezcla de hormigón puede ser manejada sin que se produzca segregación y exudación. Ciertamente, un hormigón que es complicado de colocar y compactar no sólo incrementará el costo de su manejo, sino que resultará, además, en una resistencia, durabilidad y apariencia muy pobres. De manera similar, las mezclas que son propensas a segregar y a exudar son más caras de acabar y producirán hormigones menos durables. Es evidente, pues, que la trabajabilidad puede afectar tanto al costo como a la calidad de las mezclas de hormigón.



Resistencia

La resistencia del hormigón endurecido es la propiedad más importante para cumplir con la exigencia estructural, por lo que usualmente es considerada como la propiedad más valiosa del hormigón; sin embargo, no debemos olvidar que en muchas ocasiones otras características, como la durabilidad y la permeabilidad, resultan ser más importantes. Con todo, se trata de una propiedad muy importante, pues proporciona una visión general de la calidad del hormigón al estar directamente relacionada con la estructura de la pasta de cemento hidratada.

El hormigón es un material que resiste a las solicitaciones de compresión, tracción y flexión. La resistencia que presenta frente a los esfuerzos de compresión es la más elevada de todas, siendo unas diez veces superior a la de tracción, y es la que más interés presenta en su determinación, dado que en la mayor parte de las aplicaciones del hormigón se hace uso de esa capacidad resistente y a que, por otra parte, la resistencia a compresión es un índice, muy fácil de determinar, de la magnitud de otras muchas propiedades del mismo.

En general, las especificaciones del hormigón exigen una resistencia a la compresión determinada a los 28 días, obteniéndose ésta de forma nada complicada a través del ensayo a compresión empleando probetas cilíndricas.

No obstante, existen casos en los que el hormigón debe trabajar a flexión, como ocurre en los pavimentos; en éstos la resistencia a flexotracción es la característica fundamental y hasta tal punto es ésta importante, que los hormigones empleados en firmes de carreteras, aeropuertos o viales industriales se definen por este tipo de resistencia. Como comentario, diremos que al ser la determinación de la resistencia a tracción pura de un hormigón muy difícil de llevar a cabo, normalmente se emplea el método indirecto conocido como 'ensayo brasileño' y el de la determinación de la resistencia a flexotracción.

Durabilidad

El concepto de durabilidad del hormigón se asocia a la capacidad del mismo de mantenerse en servicio durante el tiempo para el cual la estructura de la que forma parte ha sido proyectada. En otras épocas se creía que el hormigón tenía una gran durabilidad, pero hoy en día se ve que ésta es limitada, ya sea por causas relacionadas con el medio (heladas, ataque por sulfatos del terreno, etc.) o por causas internas (reacción álcali-árido, etc.).

Una larga vida en servicio se considera sinónimo de durabilidad. Con todo, lo que bajo determinadas condiciones podemos considerar como durable puede que no lo sea en otras distintas, por lo que se hace necesario incluir referencias generales sobre el ambiente al que va a estar expuesto el hormigón durante su vida útil a la hora de definir las propiedades que debe tener el hormigón.



En efecto, en la actualidad las características de durabilidad de los materiales considerados deben ser evaluadas con tanto cuidado como lo son, por ejemplo, sus propiedades mecánicas y su costo; es decir, para muchas condiciones de exposición a las que sometemos a las estructuras de hormigón, tanto la resistencia como la durabilidad deben ser consideradas explícitamente en la etapa de diseño.

Tamaño máximo del agregado grueso (el mayor posible)

En general vamos a tender a utilizar el mayor tamaño máximo compatible con la estructura ya que cuanto mayor es el tamaño del agregado menor es la superficie específica que debe ser cubierta por unidad de volumen, disminuyendo la cantidad de agua necesaria en la mezcla, de manera que, para una trabajabilidad y contenido de cemento especificados, la relación agua/cemento puede ser reducida con el consiguiente incremento de la resistencia.

Dosificación preliminar

Otro aspecto importante a tener en cuenta es que cualquiera sea el método de dosificación que se utilice, las cantidades que el mismo arroja son una primera aproximación a la dosificación definitiva, ya que siempre será necesario realizar por lo menos un pastón de prueba a los efectos de verificar tanto en estado fresco como endurecido las propiedades previstas para el hormigón.

Hormigones especiales

Para el caso de la dosificación de los denominados hormigones denominados especiales (masivo, autocompactable, alta resistencia, etc.), se deberá analizar cada caso en particular debido a las particularidades que cada uno ofrece.

3. METODOLOGÍA A EMPLEAR PARA LOGRAR UNA CORRECTA DOSIFICACIÓN, SEGÚN CIRSOC 201/2002:

La determinación de la composición y proporciones de los materiales del hormigón se debe realizar de acuerdo con uno de los siguientes procedimientos:

- a) racional mediante pastones de prueba
- b) racional utilizando información de obras anteriores
- c) empírico



a) Dosificación racional mediante pastones de prueba

Las proporciones de las mezclas para las diferentes clases de hormigones, materiales y condiciones de elaboración con que se ejecutará la obra, se deben establecer experimentalmente, en base a la preparación y ensayo de pastones de prueba, elaborados bajo las siguientes condiciones:

1) se deben emplear tres (3) razones agua/cemento distintas, que comprendan a la elegida de acuerdo a las siguientes condiciones:

- la necesaria para alcanzar la resistencia de diseño de la mezcla.
- la menor de las máximas especificadas por durabilidad y por características especiales de la estructura.
- con contenidos de materiales cementicios que produzcan un intervalo de resistencias que comprenda a la resistencia de diseño f'_{cr} .

2) el asentamiento del hormigón debe ser el especificado para la estructura donde se empleará el hormigón.

3) el contenido de aire incorporado debe ser el especificado para la estructura a construir.

4) la temperatura de la mezcla fresca en el laboratorio debe estar comprendida dentro de un intervalo de $\pm 5^{\circ}\text{C}$ respecto de la máxima temperatura que se prevé que tendrá el hormigón en el momento de ser mezclado y colocado en obra.

5) para cada relación agua/cemento se deben moldear por lo menos tres (3) probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura o, si corresponde, un mínimo de cuatro (4) probetas cilíndricas de 10 cm de diámetro y 20 cm de altura, para la edad de diseño y para cada edad de ensayo adicional que se desee. Las probetas se deben preparar, curar y acondicionar para su ensayo en un todo de acuerdo con lo establecido en las normas IRAM 1524 ó 1534.

Los ensayos de resistencia a la compresión se deben realizar en las condiciones que establece la norma IRAM 1546, a la edad de diseño que corresponda.

6) con los resultados de los ensayos se debe trazar una curva que relacione las razones agua/cemento del hormigón con las resistencias medias de rotura a la compresión a la edad de diseño, obtenidas con las mezclas mencionadas en 1).

De la curva trazada para la resistencia de diseño de la mezcla se debe obtener la razón agua/cemento a utilizar en la obra. El valor obtenido no debe exceder la máxima razón establecida por consideraciones de durabilidad.



7) la mezcla resultante se debe ajustar posteriormente con los materiales y equipos disponibles en la obra, antes de iniciar su producción industrial. Las proporciones finales se establecerán de modo tal que no sea excedida la máxima relación agua/cemento determinada según 6), cuando el asentamiento sea el máximo especificado.

b) Dosificación racional basada en información de experiencias previas

La dosificación del hormigón se puede calcular mediante métodos racionales aplicados a la información experimental obtenida en obra o en laboratorio, siempre que se cumpla que :

- 1) La relación agua/cemento sea elegida teniendo en cuenta que debe ser:
 - o la necesaria para alcanzar la resistencia de diseño de la mezcla.
 - o la menor de las máximas especificadas por durabilidad y por características especiales de la estructura.
- 2) La información necesaria se haya obtenido mediante ensayos realizados dentro de los últimos doce (12) meses.
- 3) Los materiales, equipos y condiciones de diseño, sean similares a las que se utilizarán en la obra que motiva la dosificación a realizar.
- 4) La mezcla sea finalmente ajustada en obra.

c) Dosificación del hormigón sin armar establecida en forma empírica

Para los hormigones clase H-15, exclusivamente, se pueden adoptar dosificaciones empíricas basadas en proporciones preestablecidas, si se cumple que:

- 1) La condición de exposición de la estructura sea del tipo A1.
- 2) Se utilicen los contenidos mínimos de cemento indicados en la siguiente tabla:

Contenido mínimo de cemento para hormigones simples dosificados en forma empírica

Clase de hormigón	Contenido mínimo de cemento por metro cúbico de hormigón (kg) según la consistencia del hormigón		
	Consistencias seca y plástica	Consistencia muy plástica	Consistencia fluida
H-15	300	320	350



- 3) No se utilicen aditivos ni adiciones minerales de ningún tipo.
- 4) La consistencia del hormigón pertenezca a las consistencias seca, plástica, muy plástica y fluida con exclusión de las consistencias muy seca y muy fluida.
- 5) El cemento se deberá medir en bolsa entera o en peso.

4. ESQUEMA GENERAL A SEGUIR PARA REALIZAR LA DOSIFICACIÓN RACIONAL DE HORMIGONES:

1. Datos: A la hora de iniciar un proceso de dosificación se deberá contar con una serie de datos tanto de materiales disponibles como de estructura y puesta en obra, como por ejemplo:
 - MATERIALES PÉTREOS (densidades, granulometrías, etc.)
 - CEMENTO (tipo, densidades, etc.)
 - ADITIVOS (tipos, dosificación aconsejada por el fabricante)
 - ESTRUCTURA (tipo, resistencia del H^0)
 - DISTRIBUCIÓN DE ARMADURAS
 - CONDICIONES DE EXPOSICIÓN
 - MEDIOS Y FORMAS DE COMPAC. DEL H^0 , etc.
2. Métodos de dosificación: La resolución del proporcionamiento de cada uno de los materiales podrá ser resuelto por cualquier método que hubiera sido debidamente probado, como por ejemplo:
3. Luego de la resolución del problema de proporcionamiento de los materiales, nos encontramos en presencia de lo que llamamos dosificación provisoria, con la que deberemos realizar un pastón de prueba a efectos de verificar si los parámetros previstos tanto en estado fresco como endurecido (asentamiento, resistencia a la compresión, etc.), se cumplen. En ese caso estamos en presencia de la dosificación definitiva.

En caso que alguno de dichos parámetros no se cumpliera, deberá realizarse el recalcu con los nuevos parámetros y así obtener una nueva dosificación preliminar que nuevamente se deberá verificar realizando un nuevo pastón de prueba. Esta iteración debe repetirse hasta tanto se verifique una mezcla que cumpla las condiciones impuestas, para así llegar a la dosificación definitiva.
4. Por último y a la hora de trabajar en obra se deben realizar las correspondientes correcciones por estado de humedad de los áridos.



5. MÉTODO SIMPLIFICADO DE DISEÑO DE UNA MEZCLA APLICANDO PRINCIPIOS INDICADOS EN EL CIRSOC 201-2002

1.- Estimación de la resistencia de diseño de la mezcla (f'_{cr})

Siguiendo al CIRSOC 201/2002, para la estimación de la resistencia de diseño de una mezcla se debe tener en cuenta los modos de control:

Modo de Control 1: (a)

$$f'_{cr} = f'_c + 1,34 s$$

$$f'_{cr} = f'_c + 2,33 s - 3,5$$

Modo de Control 2:

$$f'_{cr} = (f'_c + 5) + 1,34 s$$

Las plantas de producción de hormigón deben llevar registros que permitan la determinación de S.

Cuando no se cuente con registros para poder determinar la desviación estándar, el hormigón se debe proyectar adoptando la *resistencia media de rotura a compresión dada en la Tabla 1*

2.-Elección de la relación a/c:

- Resistencia (Gráfico 2)

Con al resistencia de diseño calculada (f'_{cr}), entrar al grafico y estimar la relación a/c

- Condiciones de exposición (Tabla 2, 3, 4, 5)

Con los datos de la condición de exposición a la que estará sometida la estructura y aplicando las tablas, estimar la relación a/c por durabilidad.

Se debe adoptar la menor de las relaciones calculadas, ya que así se cumplen ambas condiciones.

3.-Elección del tamaño máximo

- $1/3 - 1/5 < \text{dim. Estructura}$
- Menor $3/4$ de la sep. entre Armaduras – recubrimiento

Igual que en el caso anterior, se debe adoptar la menor de las relaciones calculadas, ya que así se cumplen ambas condiciones.



4.-Elección del asentamiento (tabla 6):

Se debe elegir un asentamiento en función de la estructura a la que vaya a estar destinado el hormigón y del medio de compactación a utilizar

5.-Cálculo de la cantidad de agua (A) (tabla 7)

Ingresando con el asentamiento y el tamaño máximo del agregado grueso, obtenemos la cantidad de agua necesaria para la mezcla.

La misma tabla nos muestra los valores estimados de aire naturalmente incorporado. Para el caso de la adición intencional de aire (y si no se disponen de datos de laboratorio), la tabla también nos da valores de aire incorporado orientativos.

6.-Calculo de la cantidad de cemento (C)

Habiendo ya calculado la relación agua/cemento y la cantidad de agua, podemos calcular el peso de cemento:

$$\text{CEMENTO (C)} = A \text{ (Kg.)} / a/c$$

7.-Cálculo de la cantidad de árido grueso (tabla 8) (m3)

Para la determinación de la cantidad de árido grueso ingresamos a tabla N° 3 con los valores de tamaño máximo del agregado grueso y el modulo de finura del agregado fino (interpolamos linealmente en caso de no haber coincidencia con los valores de la tabla) y obtenemos la cantidad en volumen del agregado grueso, por lo que al disponer de la densidad relativa del mismo, podemos calcular el peso:

$$G \text{ [Kg.]} = Vg \text{ [m3]} \times P. \text{ Esp. [Kg./m3]} \times 1000$$

8.-Cálculo de la cantidad de árido fino

Al disponer de los valores antes calculados y como los mismos lo están hecho para un metro cúbico, podemos por diferencia calcular la cantidad de árido fino en volumen:

$$Vf = 1 \text{ m}^3 - Va - Vc - Vg - Vaire$$

$$F \text{ [kg]} = Vf \text{ [m}^3] \times P. \text{ Esp. [kg/m}^3] \times 1000$$

A modo de resumen se presentan los valores calculados:

DOSIFICACIÓN:

AGUA:	A kg/m ³
CEMENTO:	C kg/m ³
ARIDO GRUESO:	G kg/m ³
ARIDO FINO:	F kg/m ³

$$\text{Densidad teórica (kg/m}^3\text{): } A + C + G + F$$



6. TABLAS Y GRAFICOS

Tabla 1. Resistencia media de rotura a compresión

Resistencia especificada ($f'c$) (MPa)	Resistencia de diseño de la mezcla (resistencia media) ($f'cr$) (MPa)
Igual o menor que 20	$f'c + 7.0$
Entre 20 y 35 inclusive	$f'c + 8.5$
Mayor de 35	$f'c + 10.0$

Gráfico 2: Relación a/c – Resistencia del hormigón a la edad de 28 días para distintas categorías de cemento

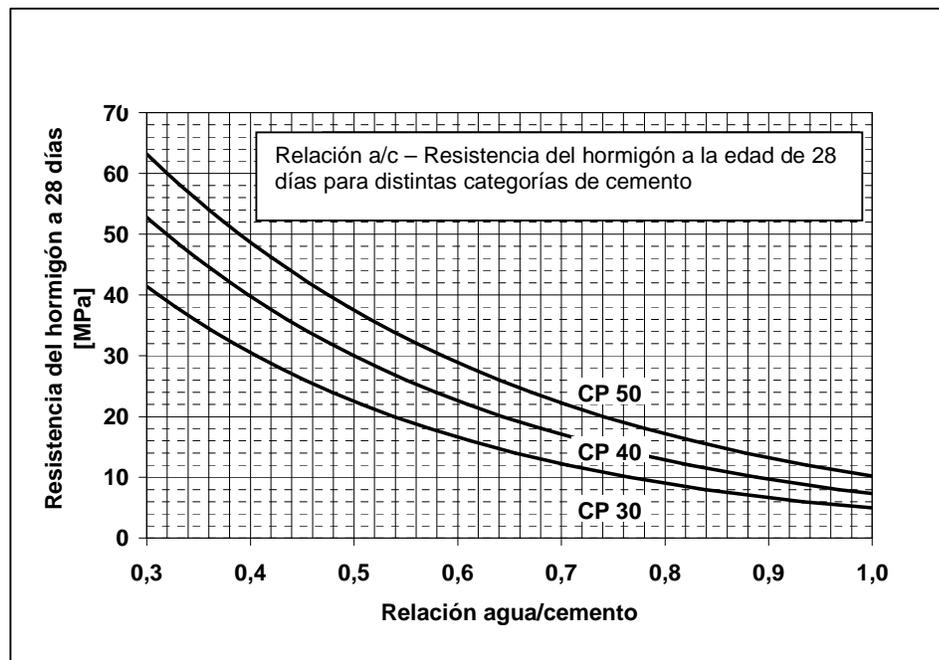




Tabla 2 Requisitos de durabilidad a cumplir por los hormigones, en función del tipo de exposición de la estructura

Requisitos	Tipos de exposición de las estructuras, de acuerdo 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.

Tabla 3 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
A 3	Climas tropical y subtropical		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 6 meses al año ≥ 25° C. 	<ul style="list-style-type: none"> • Pavimentos • Losas para estacionamientos



Notas de cátedra. Tecnología de los Materiales de Construcción
DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES

Tabla 4 . 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
M 1	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
A 3	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 1		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.
		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
M 2		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 Prov. De Buenos Aires, esta zona está entre 1 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 5 !. 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.
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). 	



Tabla 6 Elección del asentamiento

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	
CONSISTENCIA	ASENTAMIENTO	COMPACTACION
Seca	0 a 1	Fuerte vibrado
Semi-seca	1 a 5	Vibrado
Plástica	5 a 10	Varillado o Vibrado
Húmeda	10 a 15	Fácilmente colable (leve vibrado o varillado)
Fluida	Más de 15	Auto-compactable



Tabla 7: Cantidad de agua

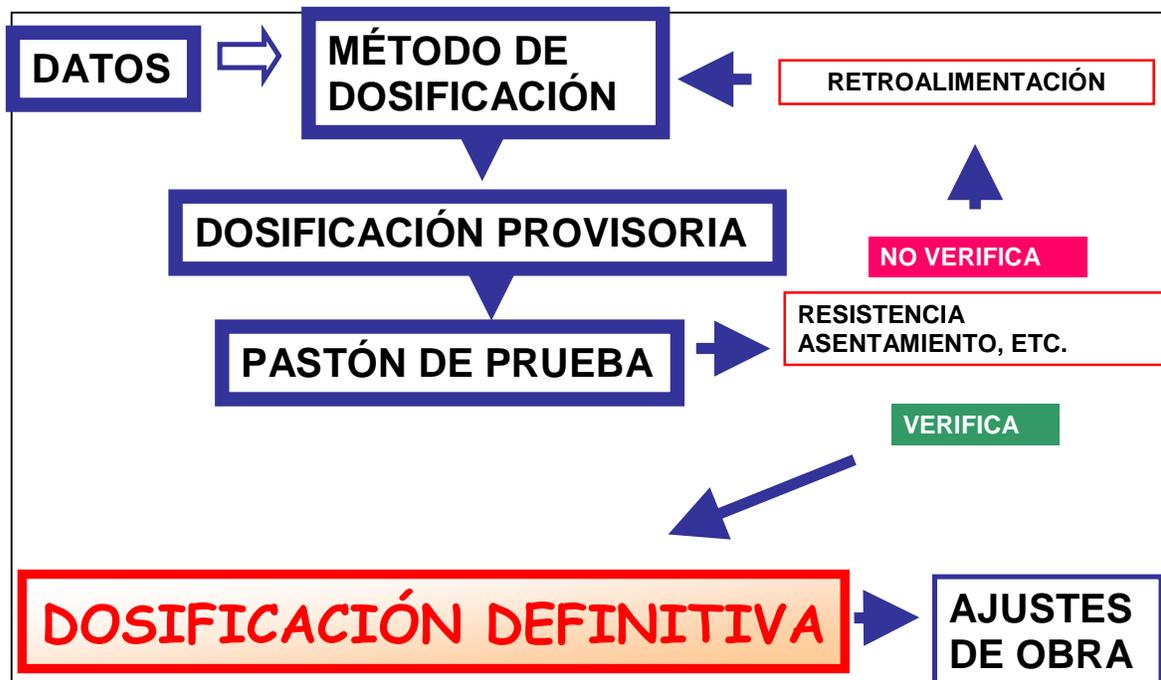
Asentamiento Ø	Agua (Kg/m ³ de hormigón) según T _{máx} (mm)							
	10	12.5	20	25	40	50	75	150
	<i>Aire naturalmente incorporado</i>							
3 a 5	205	200	185	180	160	155	145	125
8 a 10	225	215	200	195	175	170	160	140
15 a 18	240	230	210	205	185	180	170	-
% de aire naturalmente incorporado	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Asentamiento Ø	Agua (Kg/m ³ de hormigón) según T _{máx} (mm)							
	10	12.5	20	25	40	50	75	150
	<i>Con aire intencionalmente incorporado</i>							
3 a 5	180	175	165	160	145	140	135	120
8 a 10	200	190	180	175	160	155	150	135
15 a 18	215	205	190	185	170	165	160	-
% de aire intencionalmente incorporado	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3



Tabla 8: Cálculo de la cantidad de árido grueso (m3)

Tmáx. (mm)	MÓDULO DE FINURA				
	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2
10	0.275	0.264	0.253	0.242	0.231
12.5	0.325	0.314	0.303	0.292	0.281
20	0.364	0.352	0.341	0.330	0.319
25	0.319	0.380	0.369	0.358	0.347
40	0.419	0.408	0.396	0.386	0.375
50	0.430	0.419	0.408	0.396	0.386
75	0.446	0.435	0.424	0.413	0.402
150	0.479	0.468	0.457	0.446	0.435

Esquema general para realizar la dosificación racional de hormigones





BIBLIOGRAFÍA

1. Diseño racional de mezclas de hormigón – ICPA
2. Dosificación Racional de Hormigones. Ing. Ricardo Rissi. Universidad Nacional de Córdoba
3. CIRSOC 201-2002
4. Diseño de hormigones dirigido a la aplicación- Universidad Politécnica de Cataluña – España.
5. Normas - IRAM