



*Profesor Titular:* Ing. Maximiliano Segerer

*Jefe de Trabajos Prácticos:* Ing. Carlos Aluz

## **ASIGNATURA: TECNOLOGÍA DEL HORMIGÓN**

### **TRABAJO PRÁCTICO N° 7**

## **DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES**

### **MÉTODO ACI 211**

#### **I. OBJETIVOS**

Adquirir habilidades para dosificar hormigones para que cumplan con requisitos de resistencia y durabilidad.

#### **II. DESARROLLO**

El trabajo práctico será desarrollado en clase, a continuación del dictado de la parte teórica de la Unidad 7 “Hormigones”, explicando los diferentes pasos que emplea el Método ACI 211 (adecuado Reglamento CIROSC 201-05) para la determinación de las proporciones de los materiales constituyentes en hormigones expuestos a diferentes condiciones de carga y ambiente de exposición. A continuación se explicarán los ejercicios propuestos, basados en casos reales de obras en la Provincia de Mendoza.

#### **INTRODUCCIÓN TEÓRICA**

#### **III. DOSIFICACIÓN DE HORMIGONES**

En el presente práctico que corresponde a la Unidad 7 “Hormigones de cemento Pórtland”, en primer lugar se da una introducción teórica donde figuran los lineamientos generales sobre dosificación de hormigones como así también los parámetros que influyen en la misma y los criterios generales para la elección de las proporciones. También figuran las principales definiciones dadas por la norma IRAM 1569 y por el reglamento CIRSOC 201-05 en lo que respecta a la dosificación de hormigones y las normas IRAM a consultar para comprender mejor el proceso de dosificación de hormigones.

A continuación se explicarán detalladamente los pasos a seguir para la dosificación de hormigones según el Método del Comité 211 del American Concrete Institute, no sólo explicando los pasos de la determinación de proporciones propiamente dicha, sino también los parámetros a definir según el tipo de obra y condiciones de elaboración y el ajuste progresivo de las mezclas con los valores obtenidos del primer tanteo de dosificación y de las condiciones en obra para optimizar las mezclas progresivamente, en lo que refiere a su trabajabilidad, resistencia, durabilidad y economía. El método ACI 211 ha sido levemente modificado para que se adecue a las disposiciones del Reglamento CIRSOC 201-05, no variando el aspecto conceptual del mismo.

Para finalizar se presentan tres ejemplos de aplicación práctica resuelto, explicados paso a paso, y dos ejercicios propuestos a resolver por los alumnos.

##### **III.1. Conceptos generales de dosificación de hormigones**

- El **proyecto** o **dosificación de un hormigón** consiste en **determinar las cantidades** en que deben mezclarse los **materiales que lo componen** (agregados fino y grueso, cemento, agua y eventualmente aditivos y/o adiciones), de manera que reúna las **condiciones necesarias para comportarse satisfactoriamente** en las estructuras a que está destinado **durante toda su vida útil**

- Las **cinco condiciones fundamentales** que se persiguen en la dosificación de un hormigón en sus dos estados, fresco y endurecido, son: **resistencia, durabilidad, economía, trabajabilidad y uniformidad**. Estas condiciones no se logran sino mediante la correcta aplicación de la Tecnología del Hormigón
- Las proporciones de los materiales componentes pueden establecerse:
  - **Empíricamente**, en forma arbitraria, lo cual no es recomendable ni aceptable actualmente, o
  - **Racionalmente**, en base a **principios técnicos fundados** en el razonamiento, experiencia y leyes experimentales, complementados con cálculos, observaciones y ensayos
- En el segundo caso, y no en el primero, se tienen especialmente en cuenta:
  - Las **características de los materiales disponibles** y sus **costos**
  - Las **condiciones de mezclado, transporte, colocación** y terminación **del hormigón**
  - Las **propiedades deseables en el hormigón endurecido**, entre las que cabe mencionar especialmente a la resistencia, durabilidad y mínimos cambios volumétricos
- Una apreciación clara de los principios básicos y leyes fundamentales que gobiernan las propiedades de las mezclas, permitirá manejarlas en forma adecuada y controlar su producción para lograr la combinación óptima de los materiales, con la que se obtengan las propiedades requeridas a un costo razonable
- Dado que la resistencia del hormigón endurecido da una indicación bastante satisfactoria para juzgar su calidad, desde hace mucho tiempo se acostumbra expresar a ésta en función de aquella a pesar de que se conoce el hecho de que la resistencia es solamente un índice
- Actualmente los nuevos reglamentos europeos condicionan al hormigón por condiciones de:
  - **Resistencia** – Resistencia mínima : Ensayos de resistencia a 28 días
  - **Durabilidad** – Relación agua / material ligante máxima y coeficiente de permeabilidad máximo: Ensayo de permeabilidad a iones cloruros (corrosión)
- A pesar de los grandes avances registrados en el campo de la tecnología del hormigón, **no debe pensarse que es posible proyectar una mezcla con sólo realizar unos pocos cálculos de gabinete y llegar así a las proporciones definitivas** que permitirán obtener el hormigón que reúna en un todo las condiciones exigidas por la estructura. Simplemente, **esto es imposible** tratándose, como se trata, de una ciencia eminentemente experimental
- Los distintos **métodos o procedimientos de dosificación de hormigones** ideados hasta el presente para proyectar las mezclas, sólo permiten una **aproximación**, más o menos rápidamente, a la solución deseada; cualquiera sea el método adoptado, él sólo permitirá obtener una mezcla inicial, son **procesos iterativos**. Después de este primer paso, que es importante, **será necesario preparar la mezcla proyectada, observar y medir sus características, y ajustarla** para llegar así a través de estas etapas, a la mezcla final que debe ser colocada en obra, bajo las condiciones reales
- Es importante llegar al convencimiento de que, **sin labor experimental**, complemento muy importante de la tarea de gabinete, **sólo por casualidad** podrá llegarse, de **primera intención**, a **proyectar la mezcla que reúna las condiciones necesarias**
- Una vez definidas las características del elemento estructural para el cual se proyectará el hormigón, en cualquier método de dosificación se diferencian tres pasos interrelacionados:
  - Selección de los constituyentes del hormigón
  - Determinación de sus cantidades relativas para producir, lo más económicamente posible, un hormigón de las características apropiadas, tanto en estado fresco como endurecido
  - Ajuste de las cantidades estimadas mediante su ensayo en pastones de prueba
- Entre los Métodos de dosificación empleados históricamente, se pueden mencionar:
  - Métodos por volumen, por ejemplo 1:2:4 (cemento, arena y agregado grueso)

- El método basado en la máxima densidad de los agregados, de Fuller y Thompson, en el que se incluían curvas de granulometrías ideales
- El método de Abrams, basado en el módulo de finura óptimo de los agregados
- El método de Stewart basado en granulometrías discontinuas
- El método de Talbot y Richart en el que la relación vacíos / cemento y cantidad de vacíos del mortero constituían sus principios básicos
- El método de los pastones de prueba
- El método del esqueleto granular compacto (Europa)
- **El método ACI 211 (Comité 211 del American Concrete Institute)**
- El método del ICPA (Instituto del Cemento Pórtland Argentino)

### **III.2. Definiciones según Norma IRAM 1569:91**

- **Dosificación:** Graduación de cantidades, medidas en peso o en volumen aparente, de los distintos componentes integrantes de la mezcla
- **Conglomerante:** Material que, por procesos químicos, une y da cohesión a los agregados en los morteros y hormigones
- **Agregado fino:** Agregado que pasa a través del tamiz IRAM 4,75 mm (N° 4)
- **Agregado grueso:** Agregado retenido por el tamiz IRAM 4,75 mm (N° 4) cuya densidad aparente relativa no sea menor que 2
- **Agua para morteros y hormigones:** Es agua que cumple con la Norma IRAM 1601
- **Aditivos químicos:** Material que, aparte del cemento, los agregados y el agua empleados normalmente en la preparación del hormigón, puede incorporarse antes o durante la preparación del pastón, con el objeto de modificar alguna o varias de sus propiedades en la forma deseada, aportando un volumen desestimable
- **Adiciones minerales pulvurentas:** Son adiciones constituidas por partículas de pequeño tamaño, que se agregan para modificar ciertas propiedades del hormigón y que deben ser tenidas en cuenta como constituyentes volumétricas
- **Consistencia:** Es el grado de fluidez de una mezcla
- **Asentamiento:** Es una medida de la consistencia del hormigón que se expresa por el descenso de una masa plástica, representativa del pastón, al quedar libre del soporte metálico en la que fue moldeada
- **Pastón:** Cantidad más pequeña de hormigón que puede considerarse como unidad de producción
- **Porosidad:** Relación entre el volumen de los poros abiertos y el volumen aparente
- **Relación agua / cemento:** Es la razón entre las cantidades netas en peso de agua y de cemento que entran en una mezcla dada
- **Trabajabilidad:** Mayor o menor facilidad de la mezcla de hormigón fresco para su manipulación y llenado de los moldes sin solución de continuidad
- **Granulometría:** Es la distribución, por tamaños, de las partículas que constituyen un agregado
- **Módulo de finura:** Es el número que se obtiene dividiendo por 100 la suma de los porcentajes totales de una muestra de agregados retenidos sobre cada uno de los tamices de una serie en que la relación de aberturas lineales de dos tamices consecutivos es de 1 a 2, partiendo del tamiz IRAM 149  $\mu\text{m}$  (N°100)
- **Tamaño nominal:** Es la designación de un agregado, expresada por los tamices límite necesarios para su análisis granulométrico
- **Tamaño máximo nominal:** Tamiz IRAM de menor abertura a través del cual puede pasar el 95 % del agregado

**III.3. Normas IRAM a consultar**

1505:05	Agregados. Análisis granulométrico
1509:04	Agregados para hormigones. Muestreo
1520:02	Agregados finos. Determinación de densidades y absorción de agua
1533:02	Agregados gruesos. Determinación de densidades y absorción de agua
1548:03	Agregados. Método de determinación del peso unitario
1627:97	Granulometría de agregados para hormigones
1624:04	Cemento Portland. Determinación del peso específico
1602:88	Hormigón. Método por presión para la determinación del contenido de aire
1663:02	Aditivos para hormigones
1524:04	Hormigones. Preparación y curado en obra de probetas para ensayos de compresión
1536:76	Determinación de la consistencia del hormigón por el método del tronco de cono
1546:92	Hormigones. Método de ensayo de compresión
1662:95	Hormigones. Determinación del tiempo de fraguado por resistencia a la penetración

**III.4. Parámetros determinantes en la dosificación****III.4.1. Volumen sólido y esqueleto granular**

- En los problemas vinculados con el proyecto de las mezclas y medición de los materiales necesarios para su preparación, interesa **conocer el espacio que ocupan las partículas sólidas** de los materiales componentes (**cemento, agregados** y, eventualmente, adiciones)
- Dado que la **pasta de cemento es bastante viscosa**, es muy difícil, que ella pueda penetrar dentro de los vacíos conectados a la superficie por vías de muy pequeños diámetros, y mucho menos a los vacíos internos o aislados contenidos en las partículas
- Al introducir la **partícula de agregado en la pasta de cemento ella desplazará un volumen igual al encerrado por su superficie exterior**, independientemente de los poros o vacíos internos y de los conectados a la superficie por medio de capilares. El **volumen desplazado, sería el mismo que el encerrado por una membrana estirada** sobre la superficie exterior de la partícula, siguiendo los lineamientos principales de aquélla. El volumen citado suele ser llamado “volumen aparentemente sólido” o sólo “**volumen sólido**”
- Al emplear **agregados bien graduados**:
  - Se obtiene un hormigón **más compacto**  
**más resistente y durable**  
**más económico**
  - También, se **incrementa levemente la demanda de agua**
- Al aumentar el **contenido unitario de cemento**:
  - Se mejora **la resistencia mecánica**  
**la trabajabilidad de las mezclas frescas**
  - También, se **incrementa el riesgo de fisuración (efecto térmico y retracción)**  
**incrementa el costo del hormigón**
- Al emplear **adiciones minerales activas (P, F, EAH, CV, MS)**
  - Se **completa la granulometría y se obtienen mayores compacidades**  
**incrementa la resistencia química (durabilidad) y mecánica**  
**pueden disminuir los costos de producción**
  - Esta adición puede disminuir **la trabajabilidad**  
**las resistencias a edades tempranas**

### III.4.2. Relación entre la resistencia a rotura del hormigón y la relación agua / cemento

- Sólo una porción relativamente pequeña del **agua de mezclado del hormigón se combina con el cemento**. Se estima que dicha cantidad es del **23 %** del peso del mismo, variando un poco dependiendo de la composición del cemento
- En general se trabaja con una **cantidad de agua del orden de 65 al 45% (relación agua / cemento 0,65 y 0,45** respectivamente), por lo que **la mayor parte se emplea para lubricar las partículas sólidas** y dar así movilidad y trabajabilidad a la mezcla, y luego queda como agua libre no combinada
- **Esta agua libre posteriormente se evapora, y en su lugar quedan poros o vacíos**. Mientras mayor sea la cantidad de agua libre, mayor será el volumen de poros y capilares de la pasta y por lo tanto, del hormigón que la contiene; aumentando además la contracción por fraguado
- La mayor parte de la **destrucción del hormigón** motivada por agentes externos, como se estudiará en la Unidad 8 “Patologías y Durabilidad”, está íntimamente vinculada al proceso de circulación de un líquido dentro de la masa de hormigón, posibilitada por los **capilares** mencionados anteriormente
- En primer lugar, el volumen sólido de los productos que se forman por la hidratación del cemento, es menor que la suma de los volúmenes de agua y sólido del cemento, que entran en la reacción. Así es como resulta imposible que la pasta endurecida de cemento y agua llene íntegramente el espacio que originalmente ocupaba el mismo en estado fresco. La consecuencia es que la pasta endurecida contiene una cierta cantidad de vacíos
- En cuanto al volumen ocupado por los capilares, está comprendido entre el 8 y 15%, y la circulación dentro de tales volúmenes puede producirse tanto por permeabilidad (líquido sometido a una diferencia de presión), por capilaridad o por difusión
- En resumen, se puede afirmar que los **mayores contenidos unitarios de agua** y las mayores relaciones agua / cemento, tenderán a producir **hormigones más porosos**
- **Mayor porosidad puede indicar mayor absorción y permeabilidad**, y cuando la obra entra en contacto con sustancias, especialmente líquidos, capaces de producir ataques de naturaleza química o física, y puede significar una facilidad para la **destrucción de la estructura**
- En general, mientras **mayor es la cantidad de agua en relación a la cantidad de cemento** de la mezcla (mayor **relación agua / cemento**), más poroso será el hormigón, y por lo tanto **menos resistente y menos durable**
- La cantidad de agua de mezclado se disminuye actualmente mediante **aditivos fluidificantes y superfluidificantes** que permiten obtener relaciones agua / cemento tan bajas como 0,25, aumentando de gran manera la resistencia y, sobre todo, la durabilidad (HAP)
- **La ley de Abrams**, enunciada en 1918 expresa la mayor o menor porosidad de la mezcla y, por lo tanto, del hormigón de la que es parte; lo que a su vez se refleja tanto en su capacidad para resistir esfuerzos mecánicos como en otras propiedades deseables del mismo
- La ley de Abrams se enuncia como: “Para un determinado conjunto de cemento - agregados, y para las mismas condiciones de mezclado, curado y ensayo, la resistencia de un hormigón de consistencia plástica debidamente colocado, dependerá principalmente de la razón entre la cantidad neta de agua y la cantidad de cemento contenida en la mezcla”
- La **forma general de la ley de Abrams**, cuya representación gráfica son **diferentes hipérbolas para cada una de las edades**, puede expresarse de la siguiente manera:

$$\text{RESISTENCIA a compresión a la edad } i = \frac{A_i}{B_i^{a/c}}$$

donde **A<sub>i</sub>** y **B<sub>i</sub>** son constantes que dependen de la edad **i** (días) del hormigón y del tipo de cemento entre y otros, y el exponente **a/c** es la relación agua / cemento en peso. Por ejemplo para el método ACI para edad de 28 días, A es igual a 1181 y B a 14,58. Esta curva coincide aproximadamente con la del Cemento CPP 40 empleado en Mendoza a la edad de 28 días

- La **ley de Abrams** para cada conjunto de materiales se determina mediante **una gran cantidad de ensayos**, en los cuales de diferentes pastones conociendo su relación agua / cemento, se moldean probeta y se ensayan a la compresión a diferentes edades. Para el trazado de una curva de Abrams, es necesario al menos tener 20 ensayos para cada una de las edades, con **relaciones agua / cemento comprendidas entre 0,40 y 0,70**, realizando luego una **regresión y curva de tendencia hiperbólica**. Entre los parámetros fundamentales depende del tipo de cemento (incluida el tipo y proporción de adición), pero también depende del contenido y tipo de agregados, su tamaño máximo, empleo de aditivos, etc.
- Al emplear una **baja relación agua / cemento**
  - Se **logra una matriz cementícea compacta e interrumpe la capilaridad aumenta la durabilidad y la resistencia**
  - También, se **disminuye la trabajabilidad y el tiempo de puesta en obra incrementa la velocidad de hidratación y calor generado**
- Empleando un **aditivo fluidificante o superfluidificante**
  - Se **incrementa la trabajabilidad disminuye la relación agua/cemento (aumento resistencia y durabilidad)**
  - Salvo que es **difícil el dosaje óptimo debe ser compatible con el cemento y adiciones minerales**

#### III.4.3. El contenido de agua y el asentamiento de las mezclas

- Al realizar los cálculos y experiencias relativas al proyecto y ajuste de las mezclas, conviene tener presente una regla de carácter puramente experimental, y que dice lo siguiente: "Para propósitos de orden práctico puede considerarse que las mezclas plásticas preparadas con un mismo conjunto de materiales, aún que difieran en riqueza de cemento y relación agua / cemento, si tienen el mismo contenido unitario de agua alcanzarán aproximadamente el mismo asentamiento"
- Además, cabe recordar que con la incorporación de aditivos fluidificantes en el agua de mezclado, puede reducirse la cantidad de agua y obtener la misma consistencia (asentamiento); o bien, a igual relación agua / cemento (misma cantidad de agua) se obtiene un asentamiento superior

#### III.4.4. Criterios para la elección de las proporciones

- **Elección de la mínima cantidad de agua compatible con una adecuada colocación**, dado que ello tenderá a mejorar su resistencia, durabilidad y otras propiedades deseables; donde también pueden emplearse convenientemente aditivos fluidificantes o superfluidificantes
- **La consistencia más seca (menor asentamiento) que pueda ser colocada eficientemente** para obtener una masa homogénea
- Con el **mayor tamaño máximo de agregado** económicamente disponible y **compatible con el elemento estructural**, adecuado para una colocación satisfactoria
- Con **durabilidad conveniente** para resistir las acciones climáticas y otros agentes destructivos a los que puede estar expuesto
- De la **resistencia requerida** para soportar las cargas sin peligro de averías ni deformaciones excesivas
- Para **Hormigones de Alta Performance**, se debe:
  - Emplear bajas relaciones agua / cemento
  - Emplear adiciones minerales activas (necesario para resistencias > a 70 MPa)
  - Emplear superfluidificante (necesario para resistencias > a 50 MPa)
  - Usar el máximo contenido de cemento compatible
  - Uso del tamaño máximo de agregado entre ¾" y 1"

### III.5. Método del ACI 211 (Comité 211 del American Concrete Institute - 1991)

“Standard practice for selecting proportions for normal, heavyweight and mass concrete”

**Modificado con disposiciones del Reglamento CIRSOC 201-05**

- Las proporciones del hormigón deben elegirse para lograr la **trabajabilidad, durabilidad y resistencia** requeridas, haciendo el uso más **económico** de los materiales disponibles
- Algunas de las tablas del ACI 211 han sido reemplazadas por tablas del Reglamento CIRSOC 201-05, para que el mismo sea aplicable a estructuras en nuestro país
- Se han establecido relaciones básicas que sirven como **guía para aproximarse** a las combinaciones óptimas, pero las **proporciones finales** siempre deben obtenerse **mediante la preparación y ajuste del hormigón en laboratorio y fundamentalmente en obra**

A	Definición de la obra y elemento estructural	1	Geometría del elemento estructural	
		2	Condiciones de elaboración y puesta en obra	
		3	Requisitos por Durabilidad: Condiciones de exposición	
		4	Requisitos por Resistencia: Cálculo estructural	
		5	Conocimiento de normas y reglamentos aplicables	
B	Dosificación racional Método ACI 211 (modificado con disposiciones CIRSOC 201-05)	0	Características físicas de materiales (ensayos de laboratorio)	
		1	Elección de la consistencia	
		2	Definición del Tamaño Máximo Nominal del agregado grueso	
		3	a	Utilización o no de aditivos
			b	Estimación del requerimiento total de agua
		4	a	Condición de exposición del elemento estructural
			b	Resistencia requerida por cálculo
		5	Determinación del contenido unitario de cemento	
		6	Estimación de la cantidad total de agregado grueso	
		7	a	Cálculo de la cantidad de agregado fino por diferencia
			b	Cálculo de las proporciones de todos los componentes
c	Verificación del requisito de cohesividad de la mezcla			
8	Correcciones por estado de humedad de los agregados			
C	Evaluación y Ajustes de pastones	1	Ensayos de laboratorio y análisis de resultados	
		2	Ajustes de la dosificación y volver al punto B	
D	Aceptación de la dosificación - Correcciones en obra	1	Aprobación de la dosificación a emplear en obra	
		2	Correcciones en obra por estado superficial de agregados	
E	Control de calidad en obra - Ajuste de valores adoptados	1	Evaluación periódica de las resistencias	
		2	Ajustes de las proporciones (criterio técnico-económico)	
		3	Valores de desviación estándar (condiciones de elaboración)	

- Cuando el origen de los componentes varía, como en el caso de agregados provenientes de distintas canteras o cementos de diversas fábricas, la resistencia del hormigón puede diferir apreciablemente aunque sea mantenida constante la relación agua / cemento. Por lo tanto, **cuando la obra de hormigón es de cierta magnitud**, es conveniente realizar **ensayos de laboratorio con suficiente anticipación**, para establecer las proporciones deseadas
- En el cuadro anterior se detallan los pasos a seguir en el proceso de dosificación de un hormigón, y el Punto B corresponde al método ACI 211 propiamente dicho, el cual presenta 8 pasos bien definidos, por lo que se respetará el espíritu de la recomendación americana

#### A- Definición de la obra o elemento estructural

##### 1) Geometría del elemento estructural y disposiciones de armado

- Si se trata de una obra de hormigón armado convencional, la separación de las armaduras, el recubrimiento de éstas y las dimensiones del elemento a hormigonar condicionarán la elección del tamaño máximo (T.M.) del agregado grueso a emplear, además de las disposiciones

referentes a las condiciones de elaboración y puesta en obra, ya que algunos métodos de colocación con el bombeo limitan el TM del agregado

## 2) Condiciones de elaboración y puesta en obra

- El tipo de estructura a hormigonar (parámetros estudiados anteriormente) y los métodos de transporte, colocación y compactación disponibles permitirán establecer una pauta para el rango "aceptable" de la consistencia y trabajabilidad pretendidas para la mezcla
- El equipo y tecnología disponible de puesta en obra y el control de calidad en la planta elaboradora determina la desviación estándar según el método de elaboración para obtener la resistencia de diseño de la mezcla ( $f'_{cm}$ ) y si la planta cumple con disposiciones de Modo 1

## 3) Requisitos por Durabilidad: Condiciones de exposición

- El análisis de la condición de exposición futura del hormigón permitirá detectar situaciones que podrían comprometer la durabilidad de la estructura
- En casos donde el hormigón este sujeto a un ambiente de cierta agresividad, deberán imponerse relaciones agua / cemento máximas, contenidos unitarios mínimos de cemento y/o cierta resistencia especificada, tal como se estudiará más adelante
- Es muy importante el estudio de parámetros climáticos donde se encontrará la estructura, análisis de suelos para apreciar si son agresivos, si existirán ácidos u otros agentes que tiendan a degradar al hormigón, etc.

## 4) Requisitos por Resistencia: Cálculo estructural

- La resistencia adoptada del cálculo de la estructura o resistencia especificada ( $f'_{c}$ ) la proveerá el proyectista y tendrá en cuenta las necesidades de la estructura en cuanto a la resistencia a los esfuerzos de cargas permanentes o accidentales

## 5) Conocimiento de normas o reglamentos particulares

- No es redundante destacar que el profesional que proyecte el hormigón, debe tener tanto una fuerte base de los conceptos básicos de la Tecnología del Hormigón, como un conocimiento amplio de las normas (por ejemplo normas IRAM) y reglamentos en vigencia, tanto generales como el CIRSOC 201-05, como particulares

## B - Dosificación Racional – Método ACI 211

### 0 - Características de los materiales

- **Agregados**
  - Cumplimiento con las zonas granulométricas de la Norma IRAM 1627 y con límites de sustancias nocivas y otras disposiciones del Reglamento CIRSOC 201-05
  - Módulo de finura del agregado fino
  - Densidades aparentes en estado saturado y superficie seca y absorciones de las diferentes fracciones de agregados fino y grueso
  - El peso de la unidad de volumen de agregado grueso compactado (P.U.C.)
  - El contenido de humedad total de cada fracción de agregado
- **Cemento**
  - Peso específico del cemento (se obtiene aproximación suficiente asignándole el valor de  $3,14 \text{ kg/dm}^3$  si se trata de un CPN o un valor de  $3,04 \text{ kg/dm}^3$  si se trata de un CPP)
- **Aditivos y adiciones**
  - Características y dosis recomendadas por los fabricantes y por la experiencia
  - Se necesitarán seguramente más ensayos para el ajuste de la mezcla
  - **Para Hormigones de Alta Performance y Hormigones Autocompactantes, no es aplicable directamente el método ACI 211, existiendo otros métodos específicos**



## PASO 1 - Elección de la consistencia – TABLAS 1 y 2

- La elección del asentamiento es una medida de la trabajabilidad y puede describirse como una combinación de facilidad de mezclado, puesta en obra, compactación y terminación
- La consistencia a elegir generalmente (salvo en el caso de Hormigones de Alta Performance y Hormigones Autocompactantes) debe ser la mínima posible para condiciones de mezclado, puesta en obra, compactación y terminación adecuadas
- La Tabla 1 corresponde al CIRSOC 201-05 y la Tabla 2 al ACI 211 (modificada)

## PASO 2 - Definición del tamaño máximo nominal

- El tamaño máximo nominal debe ser el mayor posible (mezclas más económicas), siempre que sea compatible con la estructura y medios de colocación y económicamente disponible:
  - 1/3 de la altura de losas
  - 3/4 separación de armaduras y/o espesor de recubrimiento
- T.M.N.  $\leq$  1/5 menor dimensión estructural
  - 2/3 de la separación entre armaduras en elementos verticales
  - Máximo tamaño admisible por métodos de colocación y puesta en obra
- En general el T.M.N. debe ser 13, 19, 25, 38 ó 50 mm

## PASO 3 – Demanda de agua – TABLA 3

### PASO 3.a - Utilización o no de aditivos

- La consistencia depende del tamaño máximo, de la forma de las partículas, de la granulometría, de la temperatura, del contenido de aire y de ciertos tipos de aditivos como superfluidificantes. También, influye si se emplea o no aire incorporado y su contenido es recomendado por CIRSOC 201-05 y figura al pie de la Tabla 3 según el ambiente de exposición C1 (sin sales descongelantes) o C2 (con sales)
- Debe definirse si se empleará o no aire incorporado dependiendo de las condiciones de exposición de la obra
- Aunque no figure en el Método ACI 211, actualmente se emplean masivamente aditivos reductores de agua incorporados en planta, por lo que para su empleo, deberá conocerse mediante experiencias previas o, solo en un primer tanteo, las especificaciones brindadas por el fabricante, cual es la reducción en % de agua, para cierta dosis de aditivo a emplear

### PASO 3.b - Estimación del requerimiento total de agua

- El ACI 211 provee la Tabla 3 relacionando el tamaño máximo de agregado, el aire incorporado y el asentamiento deseado para determinar la cantidad de agua de mezclado
- La Tabla mencionada también estima el contenido de aire incorporado en el hormigón que será empleado al final del proceso del método racional
- Al emplear aditivos reductores de agua (fluidificantes o superfluidificantes) se deberá reducir este requerimiento de agua en el % fijado de reducción de agua en el punto anterior para cierta dosis de aditivo, siempre que este sea incorporado en planta

## PASO 4 - Definición de la relación agua / cemento y resistencia – ABACO 1 y TABLAS 5

### PASO 4.a - Requisitos por durabilidad (ambiente de exposición) – TABLAS 5

- El CIRSOC 201-05 (Tablas 5) impone el diseño por **resistencia y durabilidad** de las estructuras de hormigón, por lo que debe considerarse el **ambiente de exposición de la obra en condiciones de servicio**
- En las Tablas 5 figuran las **relaciones agua / cemento máxima y resistencias mínimas** para tipos de estructuras y condiciones de exposición, fijando el requisito por durabilidad según el CIRSOC 201-05

- En función del ambiente de exposición del elemento estructural en estudio, se determina y anota la relación agua / cemento máxima y la resistencia especificada mínima  $f'_c$  por diseño por durabilidad

#### PASO 4.b - Resistencia de diseño – ABACO 1

- Cabe destacar que los métodos de dosificación determinan las proporciones deseadas para una resistencia media del hormigón y el control se realiza con la resistencia especificada
- Por lo tanto, además de definir la resistencia dada por el cálculo (que será la resistencia especificada) se deberá estimar la desviación estándar prevista teniendo en cuenta la dispersión esperada según el método de elaboración del hormigón
- Se deberá elegir la **resistencia especificada máxima** de las 2 requeridas por resistencia y durabilidad (condición más desfavorable)
- Para ello, se deben comparar las resistencias obtenidas por durabilidad y dada por el cálculo:
  - En el caso que la resistencia mínima obtenida por diseño por durabilidad (paso anterior) sea superior a la resistencia dada por el cálculo, se empleará la del diseño por durabilidad
  - En el caso que la resistencia mínima obtenida por diseño por durabilidad (paso anterior) sea inferior o igual a la resistencia dada por el cálculo, se empleará esta última
- Se debe conocer si la planta de hormigón cumple con los requisitos establecidos para que califique en Modo 1 de control de calidad, sino se emplearán las fórmulas dadas para el Modo 2
- La resistencia media  $f'_{cm}$  se calcula mediante las expresiones para **Modo 1** (CIRSOC 201):
  - El mayor de los valores que arrojen:  $f'_{cm} = f'_c + 1,34 s$  -  $f'_{cm} = f'_c + 2,33 s - 3,5$
- La resistencia media  $f'_{cm}$  se calcula mediante las expresiones para **Modo 2** (CIRSOC 201):
  - El mayor de los valores que arrojen:  $f'_{cm} = (f'_c + 5) + 1,34 s$  -  $f'_{cm} = f'_c + 2,33 s$
- Con esta resistencia media se entra al **Ábaco 1** y se determina la **relación agua / cemento** requerida para la resistencia media de dosificación
- El **Ábaco 1** es de aplicación para hormigones con **cemento CPx 40 y sin aire incorporado**
- Si se **emplea un aditivo incorporador de aire** por condiciones de exposición, se recomienda **incrementar la resistencia media de diseño un 12%** como primer tanteo
- El dimensionamiento o estimación de la resistencia puede hacerse a 3, 7, 14, 28 ó 90, siendo la más común **28 días** (el ábaco tiene diferentes curvas para estas edades)
- Para resistencias superiores a 50 MPa el método ACI 211 pierde su eficacia

#### PASO 4.c – Relación agua / cemento de dosificación – ABACO 1

- Se deberá elegir la **relación agua / cemento mínima** de las 2 requeridas por resistencia y durabilidad (condición más desfavorable)
- Para ello, se deben comparar las relaciones agua / cemento obtenidas por diseño por durabilidad y la obtenida según el **Ábaco 1**:
  - En el caso que la relación agua / cemento obtenida por diseño por durabilidad sea superior o igual a la relación agua / cemento obtenida del **Ábaco 1**, se empleará esta última
  - En el caso que la relación agua / cemento obtenida por diseño por durabilidad sea inferior a la relación agua / cemento obtenida del **Ábaco 1**, se empleará la primera debiendo obtener una nueva resistencia media de diseño con el **Ábaco 1**, que al ser de menor relación agua / cemento, será una resistencia media de dosificación mayor

#### PASO 5 - Contenido unitario de cemento

- El contenido mínimo de cemento será el máximo de:

- El calculado en base al contenido de agua estimado y la relación agua / cemento determinada anteriormente. Es decir, se realiza el cociente entre el requerimiento de agua obtenido en el Paso 3 y la relación agua / cemento mínima en el Paso
- El contenido unitario mínimo de cemento, si es aplicable, dependiendo del tipo de estructura y condiciones de exposición. En regla general mayor a **280 kg/m<sup>3</sup>** para elementos de hormigón armado y para ataques muy fuertes químicos mayor a 380 kg/m<sup>3</sup> (CPP ARS) y 350 kg/m<sup>3</sup> (CPN ARS), además de cumplir con especificaciones particulares
- Si el contenido unitario mínimo fijado para una estructura es mayor que el determinado por el cálculo, debe reestablecerse la relación agua / cemento según el Paso 4.b

#### **PASO 6 - Estimación de la cantidad de agregado grueso – ABACO 2**

- La selección de la cantidad del agregado grueso es basada empíricamente en una óptima trabajabilidad de la mezcla. El Comité ACI 211 recomienda el porcentaje por unidad de volumen del agregado grueso basado en el tamaño máximo nominal y el módulo de fineza del agregado fino
- Con el Ábaco 2 se estima la cantidad  $b / b_o$  (cantidad de agregado grueso / cantidad de agregado total) que indica la proporción óptima de agregado grueso respecto al agregado total
- Se obtiene la cantidad de agregado grueso de la dosificación multiplicando este porcentaje ( $b / b_o$ ) por el P.U.C. del agregado grueso

#### **PASO 7 – Estimación de la cantidad de agregado fino**

##### **PASO 7.a - Cálculo de la cantidad de agregado fino**

- La determinación de la cantidad de agregado fino se realiza por **diferencia de volúmenes absolutos** de los otros componentes, a 1 m<sup>3</sup> de mezcla proyectada
- Se calculan los volúmenes de cada uno de los componentes como el cociente entre su peso (estimado por este método de dosificación) y su densidad aparente en estado saturado y superficie seca para el caso de los agregados; y como el cociente entre su peso y su peso específico real para el caso del agua y cemento
- Así se determina los volúmenes sólidos de agregado grueso, cemento y agua, mientras que el volumen del aire de la mezcla (natural o intencionalmente incorporado) fue estimado en porcentaje cuando se determinó el contenido de agua, por lo que se calcula el volumen que ocupará en la mezcla en base a este porcentaje
- Se suman todos los volúmenes y la diferencia a la unidad de medida (1 m<sup>3</sup>) es el volumen de agregado fino el cual multiplicado por su densidad aparente en estado saturado y superficie seca será el peso de agregado fino

##### **PASO 7.b - Cálculo de las proporciones de todos los componentes**

- En esta etapa, se tienen todas las **proporciones en peso** de los materiales constituyentes del hormigón para un estado de agregados saturados y de superficie seca, es decir, que no aportan ni absorben agua a la mezcla
- Se puede realizar una verificación, que consiste en sumar todas las proporciones en peso de los materiales constituyentes en kg/m<sup>3</sup> y obtener la densidad del hormigón fresco, aplicable para los materiales corrientemente empleados en la Provincia de Mendoza, pudiendo constatar:
  - Para hormigones sin aire incorporado la densidad debería ser 2340 kg/m<sup>3</sup> ± 40 kg/m<sup>3</sup>
  - Para hormigones con aire incorporado la densidad debería ser 2280 kg/m<sup>3</sup> ± 40 kg/m<sup>3</sup>

##### **PASO 7.c – Verificación del requisito de cohesividad de la mezcla**

- El Reglamento CIRSOC 201-05 establece que para que el hormigón sea cohesivo, debe poseer un contenido mínimo de finos pasantes tamiz IRAM 300 μm (tamiz #50)

- La verificación consiste en sumar, en función de las proporciones de todos los componentes determinadas en el paso anterior, el contenido de finos pasantes tamiz IRAM 300  $\mu\text{m}$ , es decir, sumar la proporción de cemento, eventualmente adiciones, la proporción del agregado fino pasante tamiz #50 en función de su curva granulométrica (multiplicar el % que pasa por el tamiz #50 por la proporción de agregado fino determinada en el Paso 7.b) y, eventualmente, la proporción del agregado grueso pasante tamiz #50; expresando las proporciones en  $\text{kg/m}^3$
- De esta manera, se compara el valor obtenido anteriormente con los mínimos fijados en la Tabla 4, en función del tamaño máximo del agregado:
  - Si cumple con el requisito, es decir, es mayor el contenido de finos de la mezcla que el mínimo de la tabla, se pasa al Paso 8, con las proporciones calculadas en el Paso 7.b.
  - Si no cumple con el requisito, es decir, es menor el contenido de finos de la mezcla que el mínimo de la tabla, se deben realizar ajustes. Estos ajustes, consisten en volver al Paso 7.b. e incrementar levemente el contenido de agregado fino y disminuir el contenido de agregado grueso, hasta verificar el cumplimiento de la Tabla 4. Por ejemplo, se incrementa en  $50 \text{ kg/m}^3$  el contenido de agregado fino y se disminuye en  $50 \text{ kg/m}^3$  el contenido de agregado grueso, dejando constantes las demás cantidades del Paso 7.b. Se recalcula según el presente párrafo la verificación de la cohesividad del hormigón y así hasta cumplir

### PASO 8 - Correcciones por el estado superficial de humedad de los agregados

- Cuando los agregados no se encuentran en estado saturado y de superficie seca, lo que ocurre siempre en la práctica, debe considerarse el aporte de agua que los mismos provocarán en la mezcla. Es decir, se deberá calcular la cantidad de agua disponible en la mezcla
- Con los datos de absorción y humedad total de los agregados, se puede calcular, en proporción a su peso y mediante desecación a estufa, el agua que aportan los agregados, denominada humedad superficial
- Con la humedad superficial de los agregados se corregirá el peso de los agregados a introducir y se puede calcular la cantidad de agua aportada por los agregados. Este valor será sustraído a la cantidad de agua a incorporar en la mezcla
- Se propone a continuación una metodología para corregir las dosificaciones:
  - Determinación de la humedad superficial de agregados
    - Humedad Total (HT%)  $\rightarrow$  Secado a masa constante (ensayo de rutina)
    - Absorción (A%)  $\rightarrow$  Valor obtenido de ensayos de laboratorio
    - 1<sup>era</sup>)** Humedad Superficial (HS%) = Humedad Total (HT%) - Absorción (A%)
  - Determinación de cantidad real de agregados en estado húmedo
    - PAF<sub>sss</sub> y PAG<sub>sss</sub>  $\rightarrow$  Proporciones de dosificación del Paso 7.b.
    - PAF<sub>húm</sub> y PAG<sub>húm</sub>  $\rightarrow$  Cantidades reales a introducir en la mezcla
    - 2<sup>da</sup>)** PAF<sub>húm</sub> = PAF<sub>sss</sub> X (1 + HS AF)    **3<sup>era</sup>)** PAG<sub>húm</sub> = PAG<sub>sss</sub> X (1 + HS AG)
  - Determinación de cantidad real de agua a introducir en la mezcla
    - Agua dosificación  $\rightarrow$  Proporciones de dosificación del Paso 7.b.
    - 4<sup>ta</sup>)** Agua aportada AF y AG = (PAF<sub>húm</sub> - PAF<sub>sss</sub>) + (PAG<sub>húm</sub> - PAG<sub>sss</sub>)
    - 5<sup>ta</sup>)** Agua real a introducir en mezcla = Agua dosificación - Agua aportada AF y AG

### C - Evaluación de la dosificación – Ajustes de pastones de prueba

#### 1) Ensayos de laboratorio

- No es redundante repetir, que el proceso de dosificación racional del ACI, da una primera aproximación de las proporciones a emplear y deberán realizarse los ensayos. Los métodos de dosificación son **procesos iterativos** para converger rápidamente a las proporciones deseadas

- El parámetro que el método ACI 211 no puede estimar con certeza y que es fundamental para la determinación de las proporciones del hormigón, es el requerimiento de agua para un asentamiento dado. Conviene, antes de moldear probetas, actuar como se propone.
- En el caso que con la cantidad de agua estimada en el Paso 3, incluyendo el agua aportada por los agregados con la corrección del Paso 8, y eventualmente el empleo de aditivos, se consiga:
  - una **consistencia** (generalmente asentamiento) **más seca** que la deseada; deberá aumentarse la cantidad de agua (por ejemplo en 10 litros/m<sup>3</sup>) o emplear un aditivo reductor de agua en mayor dosis. Con esta cantidad de agua debe reformularse completamente la dosificación y volver a realizar un pastón de prueba con las nuevas proporciones
  - una **consistencia** (generalmente asentamiento) **más fluida** que la deseada; deberá disminuirse la cantidad de agua (por ejemplo en 10 litros/m<sup>3</sup>). Con esta cantidad de agua debe reformularse la dosificación y volver a realizar un pastón de prueba
  - una **consistencia similar** que la deseada; podrá proseguirse, para realizar pequeños ajustes (por ejemplo en 5 litros/m<sup>3</sup>) en los próximos pastones de prueba
- Una vez obtenida la **relación consistencia vs. contenido de agua, y eventualmente aditivos plastificantes**; los ensayos básicos a realizar son: consistencia, temperatura, contenido de aire incorporado, peso unitario y moldeo de probetas para su posterior rotura a edades de 7 y 28 días (o la edad de diseño). También, pueden realizarse dependiendo de la complejidad de la obra: tiempo de fraguado, exudación, cambios volumétricos y ensayos varios de durabilidad

## 2) Ajustes de dosificación y volver al punto B)

- Mediante el análisis de los resultados, se deben ir ajustando las mezclas para obtener las propiedades deseadas en obra. Se deberán redeterminar las cantidades y volver a empezar

## D - Aceptación de la dosificación y correcciones en obra

### 1) Análisis de los ensayos satisfactorio: Aprobación de la dosificación

- En función de la **relación entre resistencia a compresión y relación agua / cemento** para al menos tres pastones elaborados con:
  - Un pastón con la **relación agua / cemento de diseño** (Paso 4)
  - Un pastón con una **relación agua / cemento de diseño + 0,05**
  - Un pastón con una **relación agua / cemento de diseño - 0,05**
- Se **determina la relación a / c que cumpla con los requisitos de durabilidad y resistencia**, realizando **pequeños ajustes en la dosificación**, como correcciones por peso unitario

### 2) Correcciones en obra diariamente por el estado superficial de los agregados (ya descrito)

## E - Control de calidad en obra y ajuste de los valores adoptados

- Una vez iniciada la obra, deben emplearse los resultados de ensayos de control de calidad en estado fresco y endurecido para reajustar en procesos sucesivos las proporciones de la mezcla, ya que se dispondrá de datos propios, obviamente más ajustados que las estimaciones adoptadas previamente en el desarrollo del método analítico
- Si las resistencias obtenidas demuestran que la mezcla tiene mejor performance de la esperado, es posible reducir los costos mediante una disminución en el contenido de cemento
- Un control de calidad eficiente permite reducir las dispersiones las cuales deberán irse ajustando, ya que en el laboratorio fue estimada dependiendo del método de elaboración y puesta en obra

**TABLA 1 - Intervalos de consistencia del hormigón, ensayos aplicables y tolerancias**

Consistencia	Intervalo			Ensayo de evaluación aplicable
	Remoldeo (V) (s)	Asentamiento (A) [cm]	Extendido (E) [cm]	
Muy seca	$5,0 < V \leq 30,0$	--	--	Tiempo de remoldeo en el dispositivo VeBe. Norma IRAM 1767.
Seca	--	$2,0 < A \leq 5,0$	--	Asentamiento del Cono de Abrams. Norma IRAM 1536.
Plástica	--	$5,0 < A \leq 10,0$	--	Asentamiento del Cono de Abrams. Norma IRAM 1536.
Muy plástica	--	$10,0 < A \leq 15,0$	$50 < E \leq 55$	Asentamiento del Cono de Abrams. Norma IRAM 1536. Extendido en la Mesa de Graf. Norma IRAM 1690.
Fluida	--	$15,0 < A \leq 18,0$	$55 < E \leq 60$	Asentamiento del Cono de Abrams. Norma IRAM 1536. Extendido en la Mesa de Graf. Norma IRAM 1690.
Muy fluida	--	--	$60 < E \leq 65$	Extendido en la Mesa de Graf. Norma IRAM 1690.

Consistencia	Remoldeo (V) (s)		Asentamiento (A) [cm]		Extendido (E) [cm]	
	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia	Intervalo	Tolerancia
	Muy seca	$5,0 < V \leq 30,0$	$\pm 2,0$	--	--	--
Seca	--	--	$2,0 < A \leq 5,0$	$\pm 1,0$	--	--
Plástica	--	--	$5,0 < A \leq 10,0$	$\pm 2,0$	--	--
Muy plástica	--	--	$10,0 < A \leq 15,0$	$\pm 2,0$	$50 < E \leq 55$	$\pm 1,0$
Fluida	--	--	$15,0 < A \leq 18,0$	$\pm 3,0$ (*)	$55 < E \leq 60$	$\pm 2,0$
Muy fluida	--	--	--	--	$60 < E \leq 65$	$\pm 2,0$

(\*) La tolerancia en (+) es válida siempre que el asentamiento medido sea igual o menor que 20,0 cm.

**TABLA 2 – Consistencias y TMN recomendados para diferentes tipos de estructura**  
(también deben estudiarse las condiciones particulares como disposiciones de armado, medios de colocación, transporte y vibración, etc.)

Tipo de construcción	Consistencia medida (asentamiento del cono)		Tamaño máximo del agregado recomendado (mm)
	Máximo (cm)	Mínimo (cm)	
Muros armados de fundaciones	12	5	25 - 38
Fundaciones y muros de H° simple	12	5	38 - 51
Losas, vigas y tabiques	18	8	13 - 19 - 25
Columnas de edificios	18	8	13 - 19 - 25
Hormigón colocado por bombeo	20	8 - 10	13 - 19
Pisos industriales	12	8	25 - 38
Pavimentos	8	4	38 - 51

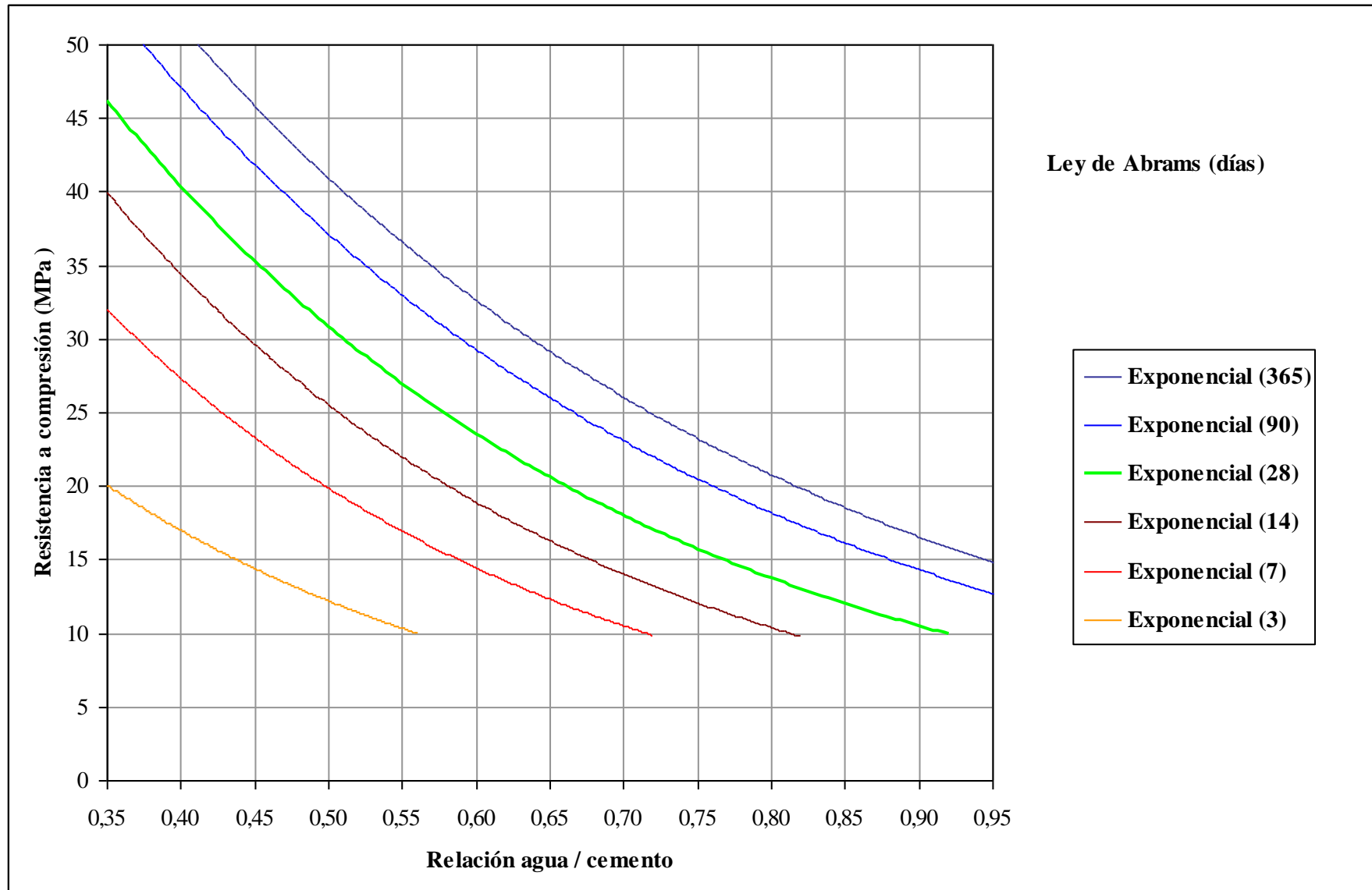
**TABLA 3 – Demanda aproximada de agua para distintas consistencias y tamaños máximos de agregado**

Asentamiento (cm)	Contenido unitario de agua (litros / m <sup>3</sup> de hormigón) para diferentes TM								
	9,5	12,7	19,1	25,4	38,1	50,8	76,2	152,4	
<b>Hormigón normal</b>									
2 a 5	208	199	187	178	163	154	130	113	
6 a 10	228	216	202	193	178	169	145	124	
10 a 15	243	228	213	202	187	178	160	-	
Aire naturalmente incorporado (%)	3,0	2,5	2,0	1,5	1,0	0,5	0,3	0,2	
<b>Hormigón con aire intencionalmente incorporado</b>									
2 a 5	181	175	166	160	148	124	122	-	
6 a 10	202	193	181	175	163	157	133	-	
10 a 15	216	205	193	184	172	166	154	-	
Aire intencionalmente incorporado (%)	6,0	5,5	5,0	4,5	4,5	4,0	3,0	-	Exposición C1
	7,5	7,0	6,0	6,0	5,5	5,0	4,0	-	Exposición C2

**TABLA 4 – Contenido mínimo de material pasante que pasa por el tamiz IRAM 300 µm**

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

**ÁBACO 1 – Ley de Abrams para diferentes edades** - Válida para hormigones elaborados con Cemento CPx 40 y sin aire incorporado





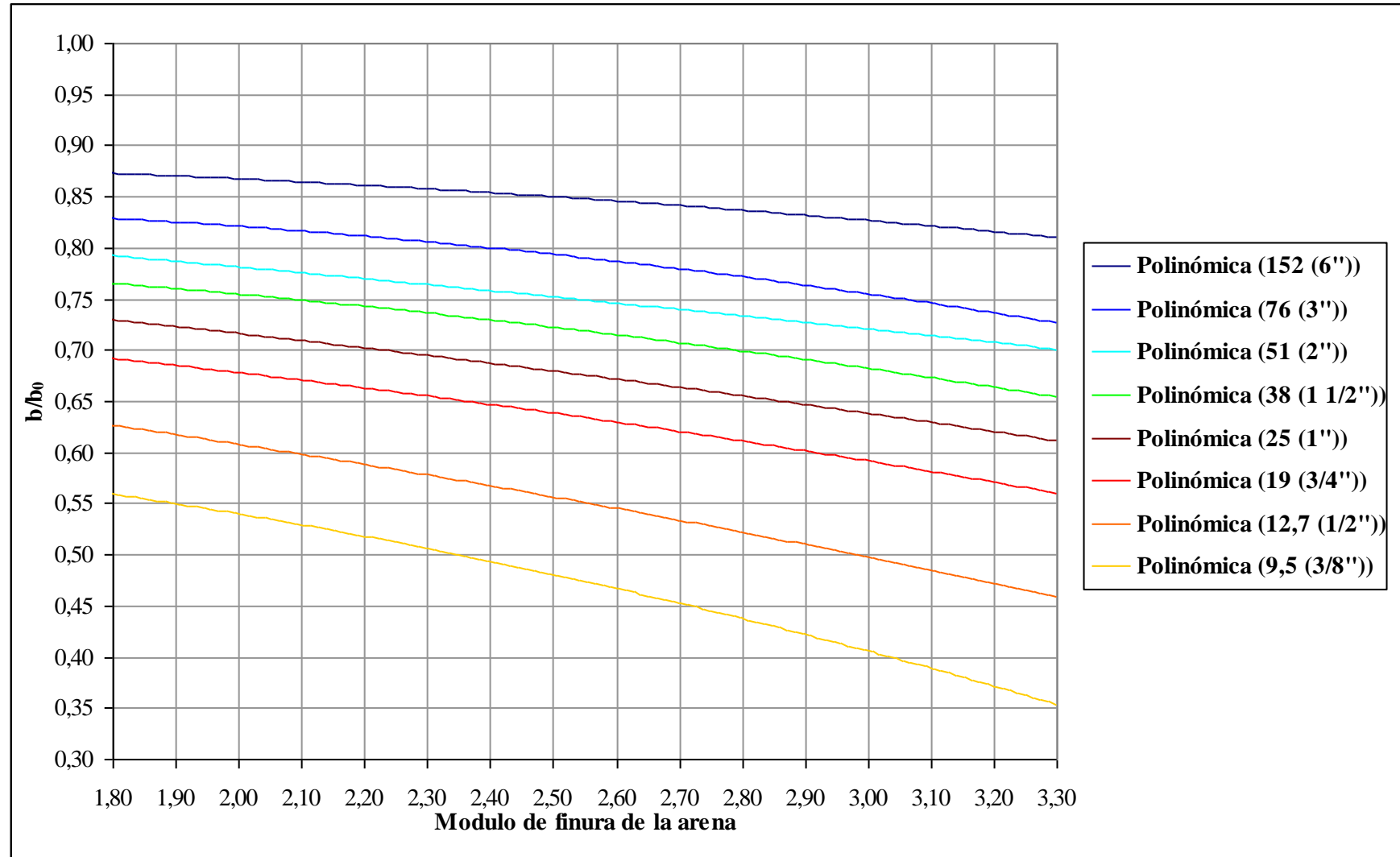
TABLAS 5 – Requisitos de durabilidad a cumplir por los hormigones, en función del tipo de exposición de la estructura

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 <sup>(2)</sup>	C 2 <sup>(2)</sup>	Q 1	Q 2	Q 3 <sup>(3)</sup>
a) Razón a/c máxima <sup>(1)</sup>										
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
Penetración de agua o succión capilar según 2.2.11.	no	si	si	si	si	si	si	si	si	si
<p>(1) Cuando se use cemento pòrtland más una o varias adiciones minerales activas incorporadas directamente en planta elaboradora, se podrá reemplazar la <b>razón agua/cemento (a/c)</b>, por la <b>razón agua/ material cementicio [a/(c+x)]</b>, que tenga en cuenta la suma del cemento pòrtland (<b>c</b>) y la cantidad de la adición mineral (<b>x</b>), cuando se trate de puzolanas según norma IRAM 1668:1968 o de escorias según norma IRAM 1667:1990.</p> <p>(2) Debe incorporarse intencionalmente aire, en la cantidad requerida en la Tabla 5.3..</p> <p>(3) Cuando corresponda se debe proteger a la estructura según 2.2.5.2.c3 ó 2.2.10.3.</p>										

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"> <li>• Interiores de edificios no sometidos a condensaciones</li> <li>• Elementos exteriores de edificios, revestidos</li> <li>• Hormigón masivo interior</li> <li>• Estructuras en ambientes rurales y climas desérticos, con precipitación media anual &lt; 250 mm.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Interiores de edificios protegidos de la intemperie</li> <li>• Columnas y vigas exteriores revestidas con materiales cerámicos o materiales que demoran la difusión del CO<sub>2</sub>.</li> <li>• Elementos estructurales de hormigón masivo que no están en contacto con el medio ambiente. Parte interior de los mismos.</li> </ul>
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"> <li>• Interiores de edificios expuestos al aire con HR ≥ 65 % o a condensaciones</li> <li>• Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual &lt; 1.000 mm.</li> <li>• Elementos enterrados en suelos húmedos o sumergidos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sótanos no ventilados</li> <li>• Fundaciones</li> <li>• Tableros y pilas de puentes</li> <li>• Elementos de hormigón en cubiertas de edificios</li> <li>• Exteriores de edificios.</li> <li>• Interiores de edificios con humedad del aire alta o media</li> <li>• Pavimentos</li> <li>• Losas para estacionamientos</li> </ul>
A 3	Clima cálido y húmedo		Corrosión por carbonatación	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Exteriores expuestos a lluvias con precipitación media anual ≥ 1.000 mm</li> <li>• Temperatura media mensual durante más de 3 meses al año ≥ 25° C.</li> </ul>	
C L	Húmedo o sumergido, con cloruros de origen diferente del medio marino		Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Superficies de hormigón expuestas al rociado o la fluctuación del nivel de agua con cloruros</li> <li>• Hormigón expuesto a aguas naturales contaminadas por desagües industriales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Piletas de natación sin revestir.</li> <li>• Fundaciones en contacto con aguas subterráneas</li> <li>• Cisternas en plantas potabilizadoras</li> <li>• Elementos de puentes</li> </ul>
M 1	Marino	Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A más de 1 km. de la línea de marea alta y contacto eventual con aire saturado de sales.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcciones alejadas de la costa pero en la zona de influencia de los vientos cargados de sales marinas (*).</li> </ul>
M 2		Al aire	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A menos de 1 km. de la línea de marea alta y contacto permanente o frecuente con aire saturado con sales</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Construcciones próximas a la costa.</li> </ul>
M 3		Sumergidos	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sumergidos en agua de mar, por debajo del nivel mínimo de mareas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras de defensas costeras</li> <li>• Fundaciones y elementos sumergidos de puentes y edificios en el mar</li> </ul>
		Sumergidos	Corrosión por cloruros	<ul style="list-style-type: none"> <li>• En la zona de fluctuación de mareas o expuesto a salpicaduras del mar</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Estructuras de defensas costeras, fundaciones y elementos de puentes y edificios</li> </ul>

(\*) 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.

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"> <li>• Superficies expuestas a la lluvia o a atmósferas húmedas.</li> <li>• Estructuras que contienen agua o la conducen.</li> </ul>
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"> <li>• Pistas de aterrizaje, caminos y tableros de puentes.</li> <li>• Superficies verticales expuestas a la acción directa del rociado con agua que contiene sales descongelantes.</li> <li>• Playas de estacionamiento y cocheras en los edificios.</li> </ul>
Q 1	Ambientes con agresividad química	Moderado	Ataque químico	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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).</li> </ul>	
Q 2		Fuerte		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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).</li> <li>• Exposición al agua de mar</li> </ul>	
Q 3		Muy fuerte		<ul style="list-style-type: none"> <li>• 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).</li> </ul>	

**ÁBACO 2 – Volúmenes compactados de agregado grueso por unidad de volumen de hormigón (  $b / b_0$  )**

## IV. EJEMPLOS RESUELTOS

### Ejemplo N° 1 – Dosificación de un hormigón para un salto amortiguador

#### 1) Geometría del elemento estructural

- El salto amortiguador presenta un espesor constante de 15 cm (muro y solera), presentando una sección rectangular de 3,50 m de ancho, 1,20 m de altura y largo de 10,30 m
- Analizando el armado de la sección, la separación mínima de las armaduras es de 10 cm y el recubrimiento de las mismas es de 3,0 cm (Artículo 7.7. CIRSOC 201-05)

#### 2) Condiciones de elaboración y puesta en obra

- El hormigón se colocará directamente desde la canaleta del camión hormigonero
- Todo el hormigón para el revestimiento del canal será elaborado en planta central. Se puede emplear según los datos de la planta de hormigón una desviación estándar igual a 3,0 MPa.
- La planta elaboradora de hormigón no cumple con las disposiciones del Modo 1

#### 3) Requisitos por Resistencia : Cálculo estructural

- El dimensionamiento estructural requiere una resistencia de  $f'_{c} = 25$  MPa a los 28 días

#### 4) Requisitos por Durabilidad: Condiciones de exposición

- El salto amortiguador se ubicará en un ambiente no agresivo y los terraplenes de suelos natural de grava compactada con los que estará en contacto, no son agresivos
- El salto amortiguador se emplazará en el Departamento de Maipú
- El salto amortiguador estará sujeto a la abrasión producida por el paso del agua a velocidades del orden de 4 m/seg

#### 5) Conocimiento de normas o reglamentos particulares

- Son de aplicación el reglamento CIRSOC 201-05 y como normas de ensayo Normas IRAM

#### 6) Características de los materiales

##### • Agregado Grueso

- Densidad aparente en estado saturado y superficie seca = 2,61 kg/dm<sup>3</sup>
- Peso unitario de volumen SSS y compactado (PUC) = 1,57 kg/dm<sup>3</sup>
- Porcentaje de material pasante tamiz # 50 (IRAM 300 μm): 1%
- Absorción = 0,8 %
- Humedad total = 1,3 %

##### • Agregado Fino

- Densidad aparente en estado saturado y superficie seca = 2,54 kg/dm<sup>3</sup>
- Modulo de fineza = 3,25
- Porcentaje de material pasante tamiz # 50 (IRAM 300 μm): 21%
- Absorción = 1,9 %
- Humedad total = 6,0 %

##### • Cemento

- Peso específico del cemento real CPP 40 = 3,04 kg/dm<sup>3</sup>

##### • Aditivos

- Aditivo reductor de agua medio rango (según catálogo) = Dosis 0,7 % del peso del cemento – Reducción agua estimada: 10%

## RESOLUCIÓN EJEMPLO N° 1

### PASO 1 - Elección del asentamiento – TABLAS 1 y 2

- De acuerdo a la tipología de la obra, experiencia en estructuras similares y a las condiciones de puesta en obra (hormigón descargado por canaleta) y ayudados por las Tablas 1 y 2:
  - **Asentamiento: 8 cm – Ámbito de Consistencia Plástica**

### PASO 2 - Definición del tamaño máximo nominal

- El tamaño máximo nominal debe ser el mayor posible (mezclas más económicas), siempre que sea compatible con la estructura y medios de colocación y económicamente disponible:
  - $1/3$  altura de losas =  $1/3 * 150 \text{ mm} = 50 \text{ mm}$
  - $3/4$  espesor de recubrimiento =  $3/4 * 30 \text{ mm} = 22 \text{ mm}$
  - T.M.N.  $\leq 1/5$  menor dimensión estructural =  $1/5 * 150 \text{ mm} = 30 \text{ mm}$
  - $2/3$  separación armaduras en elementos verticales =  $2/3 * 100 \text{ mm} = 67 \text{ mm}$
  - Máximo tamaño admisible métodos de colocación y puesta en obra = 51 mm
  - **Tamaño Máximo Nominal del Agregado: 19 mm (3/4")**

### PASO 3 – Demanda de agua – TABLA 3

#### PASO 3.a - Utilización o no de aditivos (aire incorporado)

- Dadas a las condiciones de exposición no severas ni climas rigurosos, se decide:
  - **No utilizar aditivo incorporador de aire**
- Se empleará un aditivo reductor de agua incorporado en planta que según el fabricante, para una dosis del 0,7 % del peso del cemento:
  - **Aditivo reductor de agua en planta - Reducción de agua estimada: RA = 10%**

#### PASO 3.b - Estimación del requerimiento total de agua

- Entrando a la Tabla 3, con un ámbito de consistencia 2, un tamaño máximo nominal de 3/4" y al no emplear aditivo incorporador de aire, se obtiene:
  - Contenido unitario de agua = 202 litros de agua / m<sup>3</sup>
- Al emplear un aditivo reductor de agua incorporado en planta, se obtiene:
  - Contenido unitario de agua con aditivo = 202 l de agua / m<sup>3</sup> \* (1 – RA) = 202 \* (1 – 0,10)
  - **Contenido unitario de agua con aditivo = 182 litros de agua / m<sup>3</sup>**
- De la Tabla 3, además se obtiene como primer tanteo el contenido de aire de la mezcla:
  - **Contenido de aire no intencionalmente incorporado = 2,0%**

### PASO 4 - Definición de la relación agua / cemento y resistencia – ABACO 1 y TABLAS 5

#### PASO 4.a - Requisitos por durabilidad (ambiente de exposición) – TABLAS 5

- Considerando que el salto amortiguador estará sometido al paso del agua y que se emplaza un ambiente moderado expuesta a constantes ciclos de húmedos y secos y salpicaduras, se obtiene de las Tablas 5 para hormigón armado:
  - **Ambiente de exposición: A2**
  - **Condición de durabilidad : Relación agua / cemento = 0,50**
  - **Condición de durabilidad : Resistencia mínima = 25 MPa**

**PASO 4.b - Resistencia de diseño – ABACO 1**

- Teniendo en cuenta la resistencia de diseño estructural:
  - Condición de resistencia : Resistencia  $f'_{c} = 25 \text{ MPa}$
- Se compara esta resistencia con la establecida por durabilidad y al ser coincidentes:
  - **Resistencia especificada mínima de diseño = 25 MPa**
- La resistencia media  $f'_{cm}$  se calcula mediante las expresiones para **Modo 2** (CIRSOC 201):  
El mayor de los valores que arrojen:  $f'_{cm} = (f'_{c} + 5) + 1,34 s$  -  $f'_{cm} = f'_{c} + 2,33 s$ 
  - 1<sup>era</sup>)  $f'_{cm} = (f'_{c} + 5) + 1,34 s = (25 + 5) + 1,34 \times 3,0 = 34,0 \text{ MPa}$
  - 2<sup>da</sup>)  $f'_{cm} = f'_{c} + 2,33 s = 25 + 2,33 \times 3,0 = 32,0 \text{ MPa}$
  - **Resistencia media de dosificación = 34,0 MPa**
- Al no emplearse aditivo incorporador de aire, no se realiza ninguna modificación de la resistencia media de dosificación
- Con la resistencia media de dosificación se entra al Ábaco 1 y se determina la relación agua / cemento requerida:
  - **Relación agua / cemento estimada = 0,47**

**PASO 4.c – Relación agua / cemento de dosificación – ABACO 1**

- Se deberá elegir la relación agua / cemento mínima de las 2 requeridas por resistencia media de dosificación y durabilidad (condición más desfavorable)
  - **Relación agua / cemento de dosificación = 0,47**

**PASO 5 - Contenido unitario de cemento**

- Calculando con la ayuda de la relación agua / cemento y el contenido de agua:
  - **Contenido unitario de cemento =  $182 \text{ kg/m}^3 / 0,47 = 387 \text{ kg de cemento / m}^3$**
- Este valor es superior al mínimo que impone el CIRSOC 201-05 para elementos de hormigón armado de  $280 \text{ kg/m}^3$

**PASO 6 - Estimación de la cantidad de agregado grueso – ABACO 2**

- Empleando el Ábaco 2 y entrando con el módulo de finura 3,20 y un tamaño máximo de 3/4":
  - **Porcentaje de agregado grueso  $b / b_o = 0,57$**
- Para obtener la cantidad de agregado, se debe multiplicar este coeficiente por el PUC:
  - **Agregado grueso =  $0,57 * 1570 \text{ kg/m}^3 = 895 \text{ kg/m}^3$**

**PASO 7 – Estimación de la cantidad de agregado fino****PASO 7.a - Cálculo de la cantidad de agregado fino**

- Se determinan los volúmenes absolutos de cada uno de los componentes en  $1 \text{ m}^3$  de mezcla, dividiendo la cantidad en peso de cada componente por el peso específico real:

Componente	Cantidad estimada	Densidades	Volumen
Cemento CPP 40	387 kg	3040 kg/m <sup>3</sup>	0,127 m <sup>3</sup>
Agua	182 kg	1000 kg/m <sup>3</sup>	0,182 m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	895 kg	2610 kg/m <sup>3</sup>	0,343 m <sup>3</sup>
Aire	2,0 %	-	0,020 m <sup>3</sup>
<b>TOTAL (sin agregado fino)</b>			0,652 m <sup>3</sup>

- Volumen de agregado fino =  $1 \text{ m}^3 - 0,127 \text{ m}^3 - 0,182 \text{ m}^3 - 0,343 \text{ m}^3 - 0,020 \text{ m}^3 = \mathbf{0,348 \text{ m}^3}$
- Para obtener la cantidad de agregado fino a emplear, se debe multiplicar el volumen por la densidad aparente en estado saturado y superficie seca:
  - **Agregado fino =  $0,348 \text{ m}^3 * 2540 \text{ kg/m}^3 = 884 \text{ kg/m}^3$**

### PASO 7.b - Cálculo de las proporciones de todos los componentes

- En función del contenido de cemento determinado, puede obtenerse para la dosis de aditivo reductor de agua propuesta su cantidad en peso:
  - **Aditivo =  $0,7 \% * 387 \text{ kg} = 2,7 \text{ kg/m}^3$**
- Las cantidades de dosificación con agregados en estado saturado y de superficie seco son:

Hormigón H-25 / A2 - Modo 2		
Agua	182	l / m <sup>3</sup>
Cemento CPP 40	387	kg / m <sup>3</sup>
Aditivo en planta	2,7	kg / m <sup>3</sup>
Agregado fino SSS	884	kg / m <sup>3</sup>
Agregado grueso TMN 3/4" SSS	895	kg / m <sup>3</sup>
Relación agua / cemento	0,47	

- Sumando las cantidades se obtiene:
  - **Peso Unitario del Hormigón Fresco =  $182 + 387 + 3 + 884 + 895 = 2351 \text{ kg/m}^3$**

### PASO 7.c – Verificación del requisito de cohesividad de la mezcla

- De la Tabla 4 para un TMN de 19 mm el:
  - Contenido de finos mínimo =  $440 \text{ kg/m}^3$
- El Reglamento CIRSOC 201-05 establece que para que el hormigón sea cohesivo, debe poseer un contenido mínimo de finos pasantes tamiz IRAM 300  $\mu\text{m}$  (tamiz #50), por lo que deben sumarse todas las partículas menores a este tamaño en peso:
  - Contenido de finos =  $\text{Peso cemento} + 21\% \text{ Peso AF} + 1\% \text{ Peso AG}$
  - **Contenido de finos real =  $387 + 0,21 \times 884 + 0,01 \times 895 = 582 \text{ kg/m}^3$**
- Por lo tanto, verifica esta condición

### PASO 8 - Correcciones por el estado superficial de humedad de los agregados

- Como se consignó en un principio, los contenidos de humedad total de los agregados son:
  - Humedad total del agregado grueso =  $1,3 \%$



- Humedad total del agregado fino = 6,0 %
- Como primer paso se debe determinar la humedad superficial de los agregados en %:
  - Humedad Total (HT%) → Secado a masa constante (ensayo de rutina)
  - Absorción (A%) → Valor obtenido de ensayos de laboratorio

Aplicado al agregado fino:  $HS_{AF} \% = HT_{AF} \% - A_{AF} \% \rightarrow HS_{AF} = 6,0\% - 1,9\% = 4,1\%$

Aplicado al agregado grueso:  $HS_{AG} \% = HT_{AG} \% - A_{AG} \% \rightarrow HS_{AG} = 1,3\% - 0,8\% = 0,5\%$
- A continuación se debe determinar la cantidad real de agregados en estado húmedo:
  - PAF<sub>sss</sub> y PAG<sub>sss</sub> → Proporciones de dosificación del Paso 7.b.
  - PAF<sub>húm</sub> y PAG<sub>húm</sub> → Cantidades reales a introducir en la mezcla

Aplicado ag. fino:  $PAF_{húm} = PAF_{sss} \times (1 + HS_{AF}) \rightarrow PAF_{húm} = 884 * (1 + 4,1\%) = 920 \text{ kg/m}^3$

Ag. grueso:  $PAG_{húm} = PAG_{sss} \times (1 + HS_{AG}) \rightarrow PAG_{húm} = 895 * (1 + 0,5\%) = 899 \text{ kg/m}^3$
- Para finalizar se debe determinar la cantidad real de agua a introducir en la mezcla:
 

Agua aportada AF y AG =  $(PAF_{húm} - PAF_{sss}) + (PAG_{húm} - PAG_{sss}) \rightarrow$

**Agua aportada AF y AG =  $(920 - 884) \text{ kg/m}^3 + (899 - 895) \text{ kg/m}^3 = 40 \text{ kg/m}^3$**

Agua real a introducir en la mezcla = Agua dosificación - Agua aportada AF y AG →

**Agua real a introducir en la mezcla =  $182 - 40 \text{ kg/m}^3 = 142 \text{ kg/m}^3$**
- En consecuencia, las cantidades finales a medir teniendo en cuenta las condiciones de humedad natural de los agregados para elaborar 1 m<sup>3</sup> de hormigón son:

Hormigón H-25 / A2 - Modo 2		
Agua	142	l / m <sup>3</sup>
Cemento CPP 40	387	kg / m <sup>3</sup>
Aditivo en planta	2,7	kg / m <sup>3</sup>
Agregado fino	920	kg / m <sup>3</sup>
Agregado grueso TMN 3/4"	899	kg / m <sup>3</sup>
Relación agua / cemento	0,47	

### Evaluación de la dosificación – Ajuste de pastones de prueba

- Con estas proporciones se realizarán las primeras mezclas (primer tanteo) para verificar si se ha obtenido el asentamiento y la resistencia a compresión requeridos, entre otros.
- Con los resultados de los ensayos de laboratorio, se deberá ajustar la mezcla sucesivamente, hasta llegar a las especificaciones fijadas para el salto amortiguador en estudio, complementando con observaciones del hormigón en obra

## **Ejemplo N° 2 – Dosificación de fundaciones de Escuela en Palmira**

### **1) Geometría del elemento estructural**

- Las fundaciones se presentan como pozos de 1,20 m de diámetro y vigas de fundación de 0,80 x 0,40 m de dimensiones
- Analizando el armado de la sección, la separación mínima de las armaduras longitudinales es de 25 cm y la separación entre zunchos y estribos es de 12 cm y el recubrimiento de las mismas, en todos los casos, es de 7,5 cm (Artículo 7.7. CIRSOC 201-05)

### **2) Condiciones de elaboración y puesta en obra**

- El hormigón se colocará por bombeo a una distancia de accesibilidad de la bomba de 25 m
- Todo el hormigón para las fundaciones será elaborado en planta central. Se puede emplear según los datos de la planta de hormigón una desviación estándar igual a 2,3 MPa.
- La planta elaboradora de hormigón cumple con las disposiciones del Modo 1

### **3) Requisitos por Resistencia : Cálculo estructural**

- El dimensionamiento estructural requiere una resistencia de  $f'_{c} = 25$  MPa a los 28 días

### **4) Requisitos por Durabilidad: Condiciones de exposición**

- Los análisis de suelos (adjuntos) muestran un contenido de sulfatos entre 0,3 a 1,1% en masa del suelo
- La Escuela se ubica en el distrito de Palmira – Departamento de San Martín

### **5) Conocimiento de normas o reglamentos particulares**

- Son de aplicación el reglamento CIRSOC 201-05 y como normas de ensayo Normas IRAM

### **6) Características de los materiales**

- **Agregado Grueso Lavado**
  - Densidad aparente en estado saturado y superficie seca = 2,61 kg/dm<sup>3</sup>
  - Peso unitario de volumen SSS y compactado (PUC) = 1,57 kg/dm<sup>3</sup>
  - Porcentaje de material pasante tamiz # 50 (IRAM 300 μm): 0,5%
  - Absorción = 0,8 %
  - Humedad total = 2,5 %
- **Agregado Fino Lavado**
  - Densidad aparente en estado saturado y superficie seca = 2,54 kg/dm<sup>3</sup>
  - Modulo de fineza = 3,40
  - Porcentaje de material pasante tamiz # 50 (IRAM 300 μm): 16%
  - Absorción = 1,9 %
  - Humedad total = 11,5 %
- **Cemento**
  - Peso específico del cemento real CPP 40 = 3,04 kg/dm<sup>3</sup>
- **Aditivos**
  - Aditivo reductor de agua alto rango (según catálogo) = Dosis 0,9 % del peso del

cemento – Reducción agua estimada: 15%

- Se le incorporará en obra un aditivo superfluidificante para bombearlo eficientemente

	Universidad Tecnológica Nacional Facultad Regional Mendoza		Laboratorio de análisis Agua y Suelo, Tratamiento de Efluentes	Revisión 0
Departamento de Ingeniería Química			R3 – AAS – PGC 03	
INFORME DE ANÁLISIS			Página 1 de 1	

Mendoza, 07 de Noviembre de 2007

Solicitante: Dafre, Gaido y Asociados  
 Procedencia de la muestra: Escuela Manuel Domínguez - Palmira  
 Fecha de extracción: 25/10/07  
 Extraída por: Arq. Alejandro Pizarro – Arq. Fernando Jaimes

N° de Muestra	Punto de extracción	Matriz	Sulfatos solubles (SO <sub>4</sub> ) %
499/07	Sector F profundidad 0 -30 cm	Suelo	0,59
500/07	Sector F profundidad -30 -60 cm	Suelo	0,31
501/07	Sector F(vértice) profundidad -30-70 cm	Suelo	0,23
502/07	Sector B/C profundidad -60 -80 cm	Suelo	0,34
503/07	Sector B/C profundidad -80 -100 cm	Suelo	0,29
504/07	Sector PS profundidad 0 – 100 cm	Suelo	1,14
505/07	Sector PS profundidad 100 – 170 cm	Suelo	0,78
506/07	Sector PS profundidad 170 – 220 cm	Suelo	0,36
Método normalizado			VN-E18.

Nota: Tanto la preparación de la muestra a analizar, como las determinaciones, se realizaron de acuerdo a los procedimientos detallados en dicha norma

## **RESOLUCIÓN EJEMPLO N° 2**

### **PASO 1 - Elección del asentamiento – TABLAS 1 y 2**

- De acuerdo a la tipología de la obra, experiencia en estructuras similares y a las condiciones de puesta en obra (hormigón colocado por bombeo) y ayudados por las Tablas 1 y 2:
  - **Asentamiento: 7 cm – Ámbito de Consistencia Plástica**
- Al hormigón se le incorporará un aditivo superfluidificante en obra para posibilitar el bombeo

### **PASO 2 - Definición del tamaño máximo nominal**

- El tamaño máximo nominal debe ser el mayor posible (mezclas más económicas), siempre que sea compatible con la estructura y medios de colocación y económicamente disponible:
  - $1/3$  altura de losas = No aplicable
  - $3/4$  espesor de recubrimiento =  $3/4 * 75 \text{ mm} = 56 \text{ mm}$
  - T.M.N.  $\leq 1/5$  menor dimensión estructural =  $1/5 * 400 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$
  - $2/3$  separación armaduras en elementos verticales =  $2/3 * 120 \text{ mm} = 80 \text{ mm}$
  - Máximo tamaño admisible métodos de colocación y puesta en obra = **19 mm**
- **Tamaño Máximo Nominal del Agregado: 19 mm (3/4")**

### **PASO 3 – Demanda de agua – TABLA 3**

#### **PASO 3.a - Utilización o no de aditivos (aire incorporado)**

- Dadas a que no se encuentra en zonas con riesgo a congelación y deshielo, se decide:
  - **No utilizar aditivo incorporador de aire**
- Se empleará un aditivo reductor de agua incorporado en planta que según el fabricante, para una dosis del 0,9 % del peso del cemento:
  - **Aditivo reductor de agua en planta - Reducción de agua estimada: RA = 15%**

#### **PASO 3.b - Estimación del requerimiento total de agua**

- Entrando a la Tabla 3, con un ámbito de consistencia 2, un tamaño máximo nominal de 3/4" y al no emplear aditivo incorporador de aire, se obtiene:
  - Contenido unitario de agua = 202 litros de agua / m<sup>3</sup>
- Al emplear un aditivo reductor de agua incorporado en planta, se obtiene:
  - Contenido unitario de agua con aditivo = 202 l de agua / m<sup>3</sup> \* (1 – RA) = 202 \* (1 – 0,15)
  - **Contenido unitario de agua con aditivo = 172 litros de agua / m<sup>3</sup>**
- De la Tabla 3, además se obtiene como primer tanteo el contenido de aire de la mezcla:
  - **Contenido de aire no intencionalmente incorporado = 2,0%**

### **PASO 4 - Definición de la relación agua / cemento y resistencia – ABACO 1 y TABLAS 5**

#### **PASO 4.a - Requisitos por durabilidad (ambiente de exposición) – TABLAS 5**

- Analizando los contenidos de sulfatos en suelos y según las disposiciones del Artículo 2.2.5.2., se encuadra en un ambiente de agresividad por sulfatos fuerte; obteniendo de las Tablas 5 para hormigón armado:
  - **Ambiente de exposición: Q2**
  - **Condición de durabilidad : Relación agua / cemento = 0,45**

- **Condición de durabilidad : Resistencia mínima = 35 MPa**

#### **PASO 4.b - Resistencia de diseño – ABACO 1**

- Teniendo en cuenta la resistencia de diseño estructural:
  - Condición de resistencia : Resistencia  $f'_{c} = 25 \text{ MPa}$
- Se compara esta resistencia con la establecida por durabilidad y al ser superior:
  - **Resistencia especificada mínima de diseño = 35 MPa**
- La resistencia media  $f'_{cm}$  se calcula mediante las expresiones para **Modo 1** (CIRSOC 201):  
El mayor de los valores que arrojen:  $f'_{cm} = f'_{c} + 1,34 s$  -  $f'_{cm} = f'_{c} + 2,33 s - 3,5$ 
  - 1<sup>era</sup>)  $f'_{cm} = f'_{c} + 1,34 s = 35 + 1,34 \times 2,3 = 38,3 \text{ MPa}$
  - 2<sup>da</sup>)  $f'_{cm} = f'_{c} + 2,33 s - 3,5 = 35 + 2,33 \times 2,3 = 40,3 \text{ MPa}$
  - **Resistencia media de dosificación = 40,3 MPa**
- Al no emplearse aditivo incorporador de aire, no se realiza ninguna modificación de la resistencia media de dosificación
- Con la resistencia media de dosificación se entra al Ábaco 1 y se determina la relación agua / cemento requerida:
  - **Relación agua / cemento estimada = 0,40**

#### **PASO 4.c – Relación agua / cemento de dosificación – ABACO 1**

- Se deberá elegir la relación agua / cemento mínima de las 2 requeridas por resistencia media de dosificación y durabilidad (condición más desfavorable)
  - **Relación agua / cemento de dosificación = 0,40**

#### **PASO 5 - Contenido unitario de cemento**

- Calculando con la ayuda de la relación agua / cemento y el contenido de agua:
  - **Contenido unitario de cemento =  $172 \text{ kg/m}^3 / 0,40 = 430 \text{ kg de cemento / m}^3$**
- Este valor es superior al mínimo que impone el CIRSOC 201-05 para elementos de hormigón armado de  $280 \text{ kg/m}^3$
- Para ambientes con agresividad fuerte con sulfatos se establece que el cemento debe poseer característica de ARS, sin la necesidad de realizar ensayos de verificación adicionales

#### **PASO 6 - Estimación de la cantidad de agregado grueso – ABACO 2**

- Empleando el Ábaco 2 y entrando con el módulo de finura 3,40 y un tamaño máximo de 3/4":
  - **Porcentaje de agregado grueso  $b / b_o = 0,54$**
- Para obtener la cantidad de agregado, se debe multiplicar este coeficiente por el PUC:
  - **Agregado grueso =  $0,54 * 1570 \text{ kg/m}^3 = 848 \text{ kg/m}^3$**

#### **PASO 7 – Estimación de la cantidad de agregado fino**

##### **PASO 7.a - Cálculo de la cantidad de agregado fino**

- Se determinan los volúmenes absolutos de cada uno de los componentes en  $1 \text{ m}^3$  de mezcla, dividiendo la cantidad en peso de cada componente por el peso específico real:

Componente	Cantidad estimada	Densidades	Volumen
Cemento CPP 40 (ARS)	430 kg	3040 kg/m <sup>3</sup>	0,141 m <sup>3</sup>
Agua	172 kg	1000 kg/m <sup>3</sup>	0,172 m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	848 kg	2610 kg/m <sup>3</sup>	0,325 m <sup>3</sup>
Aire	2,0 %	-	0,020 m <sup>3</sup>
<b>TOTAL (sin agregado fino)</b>			<b>0,658 m<sup>3</sup></b>

- Volumen de agregado fino =  $1 \text{ m}^3 - 0,141 \text{ m}^3 - 0,172 \text{ m}^3 - 0,325 \text{ m}^3 - 0,020 \text{ m}^3 = \mathbf{0,342 \text{ m}^3}$
- Para obtener la cantidad de agregado fino a emplear, se debe multiplicar el volumen por la densidad aparente en estado saturado y superficie seca:
  - **Agregado fino =  $0,342 \text{ m}^3 * 2540 \text{ kg/m}^3 = 869 \text{ kg/m}^3$**

### PASO 7.b - Cálculo de las proporciones de todos los componentes

- En función del contenido de cemento determinado, puede obtenerse para la dosis de aditivo reductor de agua propuesta su cantidad en peso:
  - **Aditivo =  $0,9 \% * 430 \text{ kg} = 3,9 \text{ kg/m}^3$**
- Las cantidades de dosificación con agregados en estado saturado y de superficie seco son:

Hormigón H-35 / Q2 – Modo 1		
Agua	172	l / m <sup>3</sup>
Cemento CPP 40 (ARS)	430	kg / m <sup>3</sup>
Aditivo en planta	3,9	kg / m <sup>3</sup>
Agregado fino SSS	869	kg / m <sup>3</sup>
Agregado grueso TMN 3/4" SSS	848	kg / m <sup>3</sup>
Relación agua / cemento	0,40	

- Sumando las cantidades se obtiene:
  - **Peso Unitario del Hormigón Fresco =  $172 + 430 + 4 + 869 + 848 = 2323 \text{ kg/m}^3$**

### PASO 7.c – Verificación del requisito de cohesividad de la mezcla

- De la Tabla 4 para un TMN de 19 mm el:
  - Contenido de finos mínimo =  $440 \text{ kg/m}^3$
- El Reglamento CIRSOC 201-05 establece que para que el hormigón sea cohesivo, debe poseer un contenido mínimo de finos pasantes tamiz IRAM 300  $\mu\text{m}$  (tamiz #50), por lo que deben sumarse todas las partículas menores a este tamaño en peso:
  - Contenido de finos =  $\text{Peso cemento} + 16\% \text{ Peso AF} + 0,5\% \text{ Peso AG}$
  - **Contenido de finos real =  $430 + 0,16 * 884 + 0,005 * 895 = 576 \text{ kg/m}^3$**
- Por lo tanto, verifica esta condición

### PASO 8 - Correcciones por el estado superficial de humedad de los agregados

- Como se consignó en un principio, los contenidos de humedad total de los agregados son:
  - Humedad total del agregado grueso = 2,5 %

- Humedad total del agregado fino = 11,5 %
- Como primer paso se debe determinar la humedad superficial de los agregados en %:
  - Humedad Total (HT%) → Secado a masa constante (ensayo de rutina)
  - Absorción (A%) → Valor obtenido de ensayos de laboratorio

Aplicado al agregado fino:  $HS_{AF} \% = HT_{AF} \% - A_{AF} \% \rightarrow HS_{AF} = 11,5\% - 1,9\% = 9,6\%$

Aplicado al agregado grueso:  $HS_{AG} \% = HT_{AG} \% - A_{AG} \% \rightarrow HS_{AG} = 2,5\% - 0,8\% = 1,7\%$
- A continuación se debe determinar la cantidad real de agregados en estado húmedo:
  - PAF<sub>sss</sub> y PAG<sub>sss</sub> → Proporciones de dosificación del Paso 7.b.
  - PAF<sub>húm</sub> y PAG<sub>húm</sub> → Cantidades reales a introducir en la mezcla

Aplicado ag. fino:  $PAF_{húm} = PAF_{sss} \times (1 + HS_{AF}) \rightarrow PAF_{húm} = 869 * (1 + 9,6\%) = 952 \text{ kg/m}^3$

Ag. grueso:  $PAG_{húm} = PAG_{sss} \times (1 + HS_{AG}) \rightarrow PAG_{húm} = 848 * (1 + 1,7\%) = 862 \text{ kg/m}^3$
- Para finalizar se debe determinar la cantidad real de agua a introducir en la mezcla:
 

Agua aportada AF y AG =  $(PAF_{húm} - PAF_{sss}) + (PAG_{húm} - PAG_{sss}) \rightarrow$

**Agua aportada AF y AG =  $(952 - 869) \text{ kg/m}^3 + (862 - 848) \text{ kg/m}^3 = 97 \text{ kg/m}^3$**

Agua real a introducir en la mezcla = Agua dosificación - Agua aportada AF y AG →

**Agua real a introducir en la mezcla =  $172 - 97 \text{ kg/m}^3 = 75 \text{ kg/m}^3$**
- En consecuencia, las cantidades finales a medir teniendo en cuenta las condiciones de humedad natural de los agregados para elaborar 1 m<sup>3</sup> de hormigón son:

Hormigón H-35 / Q2 – Modo 1		
Agua	75	l / m <sup>3</sup>
Cemento CPP 40 (ARS)	430	kg / m <sup>3</sup>
Aditivo en planta	3,9	kg / m <sup>3</sup>
Agregado fino	952	kg / m <sup>3</sup>
Agregado grueso TMN 3/4"	862	kg / m <sup>3</sup>
Relación agua / cemento	0,40	

### Evaluación de la dosificación – Ajuste de pastones de prueba

- Con estas proporciones se realizarán las primeras mezclas (primer tanteo) para verificar si se ha obtenido el asentamiento y la resistencia a compresión requeridos, entre otros.
- Con los resultados de los ensayos de laboratorio, se deberá ajustar la mezcla sucesivamente, hasta llegar a las especificaciones fijadas para las fundaciones en estudio, complementando con observaciones del hormigón en obra

### **Ejemplo N° 3 – Dosificación de pavimento urbano en Malargüe**

#### **1) Geometría del elemento estructural**

- El pavimento tiene por diseño estructural un espesor de 22 cm
- Las losas de hormigón no serán armadas y los pasadores tendrán una separación de 25 cm entre sí

#### **2) Condiciones de elaboración y puesta en obra**

- El hormigón se colocará por descarga directa de canaleta de camión hormigonero
- Todo el hormigón para el pavimento será elaborado en planta central dentro del recinto físico de la obra. Se puede emplear según los datos de la planta de hormigón una desviación estándar igual a 3,5 MPa.
- La planta elaboradora de hormigón no cumple con las disposiciones del Modo 1

#### **3) Requisitos por Resistencia : Cálculo estructural**

- El dimensionamiento estructural requiere una resistencia de  $f'c = 26$  MPa a los 28 días, tal como lo requieren Pliegos de la Dirección Provincial de Vialidad

#### **4) Requisitos por Durabilidad: Condiciones de exposición**

- Los suelos no se presentan como agresivos, ni con contenido de sales que puedan deteriorar el hormigón
- El pavimento se construirá en la Ciudad de Malargüe

#### **5) Conocimiento de normas o reglamentos particulares**

- Son de aplicación el reglamento CIRSOC 201-05 y como normas de ensayo Normas IRAM

#### **6) Características de los materiales**

##### **• Agregado Grueso**

- Densidad aparente en estado saturado y superficie seca = 2,65 kg/dm<sup>3</sup>
- Peso unitario de volumen SSS y compactado (PUC) = 1,73 kg/dm<sup>3</sup>
- Porcentaje de material pasante tamiz # 50 (IRAM 300 μm): 0,5%
- Absorción = 0,6 %
- Humedad total = 1,2 %

##### **• Agregado Fino**

- Densidad aparente en estado saturado y superficie seca = 2,58 kg/dm<sup>3</sup>
- Modulo de fineza = 2,95
- Porcentaje de material pasante tamiz # 50 (IRAM 300 μm): 22%
- Absorción = 1,6 %
- Humedad total = 4,5 %

##### **• Cemento**

- Peso específico del cemento real CPF 40 = 3,12 kg/dm<sup>3</sup>

##### **• Aditivos**

- Se empleará un aditivo incorporador de aire por condiciones de exposición, que según el fabricante debe incorporarse en proporción del 0,07 % en peso del cemento
- No se empleará un aditivo reductor de agua incorporado en planta



### **RESOLUCIÓN EJEMPLO N° 3**

#### **PASO 1 - Elección del asentamiento – TABLAS 1 y 2**

- De acuerdo a la tipología de la obra, experiencia en estructuras similares y a las condiciones de puesta en obra (hormigón colocado por canaleta) y ayudados por las Tablas 1 y 2:
  - **Asentamiento: 5 cm – Ámbito de Consistencia Seca**

#### **PASO 2 - Definición del tamaño máximo nominal**

- El tamaño máximo nominal debe ser el mayor posible (mezclas más económicas), siempre que sea compatible con la estructura y medios de colocación y económicamente disponible:
  - $1/3$  altura de losas =  $1/3 * 220 \text{ mm} = 73 \text{ mm}$
  - $3/4$  separación entre pasadores =  $3/4 * 250 \text{ mm} = 188 \text{ mm}$
  - T.M.N.  $\leq$   $1/5$  menor dimensión estructural = No aplicable
  - $2/3$  separación de armaduras en elementos verticales = No aplicable
  - Máximo tamaño admisible métodos de colocación y puesta en obra = **53 mm**
- **Tamaño Máximo Nominal del Agregado: 53 mm (2")**

#### **PASO 3 – Demanda de agua – TABLA 3**

##### **PASO 3.a - Utilización o no de aditivos (aire incorporado)**

- Dadas a que se encuentra en zonas con riesgo a congelación y deshielo, se decide:
  - **Utilizar aditivo incorporador de aire**
- No se empleará un aditivo reductor de agua incorporado en planta

##### **PASO 3.b - Estimación del requerimiento total de agua**

- Entrando a la Tabla 3, con un ámbito de consistencia 1, un tamaño máximo nominal de 2" y al emplear aditivo incorporador de aire, se obtiene:
  - **Contenido unitario de agua = 142 litros de agua / m<sup>3</sup>**
- De la Tabla 3, además se obtiene como primer tanteo el contenido de aire de la mezcla:
  - **Contenido de aire intencionalmente incorporado = 4,0%**

#### **PASO 4 - Definición de la relación agua / cemento y resistencia – ABACO 1 y TABLAS 5**

##### **PASO 4.a - Requisitos por durabilidad (ambiente de exposición) – TABLAS 5**

- Analizando las condiciones de exposición y que el pavimento estará sujeto ciclos de congelación y deshielo y no se emplearán sales descongelantes:
  - **Ambiente de exposición: C1**
  - **Condición de durabilidad : Relación agua / cemento = 0,45**
  - **Condición de durabilidad : Resistencia mínima = 30 MPa**

##### **PASO 4.b - Resistencia de diseño – ABACO 1**

- Teniendo en cuenta la resistencia de diseño estructural:
  - **Condición de resistencia : Resistencia  $f'_{c} = 26 \text{ MPa}$**
- Se compara esta resistencia con la establecida por durabilidad y al ser superior:
  - **Resistencia especificada mínima de diseño = 30 MPa**
- La resistencia media  $f'_{cm}$  se calcula mediante las expresiones para **Modo 2** (CIRSOC 201):

El mayor de los valores que arrojan:  $f'_{cm} = (f'_c + 5) + 1,34 s$  -  $f'_{cm} = f'_c + 2,33 s$

$$1^{era}) f'_{cm} = (f'_c + 5) + 1,34 s = (30 + 5) + 1,34 \times 3,5 = 39,7 \text{ MPa}$$

$$2^{da}) f'_{cm} = f'_c + 2,33 s = 30 + 2,33 \times 3,5 = 38,1 \text{ MPa}$$

➤ **Resistencia media de dosificación a obtener en ensayos = 39,7 MPa**

- Considerando que el **hormigón tendrá aire incorporado** y el Ábaco 1 está dado para hormigones sin aire incorporado, deberá dosificarse para una resistencia media de dosificación superior, con el objeto de **compensar la pérdida de resistencia del hormigón endurecido**

➤ **Resistencia corregida de dosificación = 39,7 MPa / 0,88 = 45,1 MPa**

- Con el factor 0,88 empleado, se considera que el hormigón reducirá su resistencia para la misma relación agua / cemento un 12%, respecto a un hormigón de similares características pero sin el empleo de aire incorporado
- Con la resistencia corregida de dosificación se entra al Ábaco 1 y se determina la relación agua / cemento requerida:

➤ **Relación agua / cemento estimada = 0,36**

#### **PASO 4.c – Relación agua / cemento de dosificación – ABACO 1**

- Se deberá elegir la relación agua / cemento mínima de las 2 requeridas por resistencia media de dosificación y durabilidad (condición más desfavorable)

➤ **Relación agua / cemento de dosificación = 0,36**

#### **PASO 5 - Contenido unitario de cemento**

- Calculando con la ayuda de la relación agua / cemento y el contenido de agua:

➤ **Contenido unitario de cemento = 142 kg/m<sup>3</sup> / 0,36 = 394 kg de cemento / m<sup>3</sup>**

#### **PASO 6 - Estimación de la cantidad de agregado grueso – ABACO 2**

- Empleando el Ábaco 2 y entrando con el módulo de finura 2,95 y un tamaño máximo de 2":

➤ **Porcentaje de agregado grueso  $b / b_o = 0,72$**

- Para obtener la cantidad de agregado, se debe multiplicar este coeficiente por el PUC:

➤ **Agregado grueso = 0,72 \* 1730 kg/m<sup>3</sup> = 1246 kg/m<sup>3</sup>**

#### **PASO 7 – Estimación de la cantidad de agregado fino**

##### **PASO 7.a - Cálculo de la cantidad de agregado fino**

- Se determinan los volúmenes absolutos de cada uno de los componentes en 1 m<sup>3</sup> de mezcla, dividiendo la cantidad en peso de cada componente por el peso específico real:

<b>Componente</b>	<b>Cantidad estimada</b>	<b>Densidades</b>	<b>Volumen</b>
Cemento CPF 40	394 kg	3120 kg/m <sup>3</sup>	0,126 m <sup>3</sup>
Agua	142 kg	1000 kg/m <sup>3</sup>	0,142 m <sup>3</sup>
Agregado Grueso	1246 kg	2650 kg/m <sup>3</sup>	0,470 m <sup>3</sup>
Aire	4,0 %	-	0,040 m <sup>3</sup>
<b>TOTAL (sin agregado fino)</b>			<b>0,778 m<sup>3</sup></b>

➤ **Volumen de agregado fino = 1 m<sup>3</sup> - 0,111 m<sup>3</sup> - 0,142 m<sup>3</sup> - 0,470 m<sup>3</sup> - 0,040 m<sup>3</sup> = 0,222 m<sup>3</sup>**

- Para obtener la cantidad de agregado fino a emplear, se debe multiplicar el volumen por la densidad aparente en estado saturado y superficie seca:
  - **Agregado fino =  $0,222 \text{ m}^3 * 2580 \text{ kg/m}^3 = 573 \text{ kg/m}^3$**

### PASO 7.b - Cálculo de las proporciones de todos los componentes

- En función del contenido de cemento determinado, puede obtenerse para la dosis de aditivo incorporador de aire en su cantidad en peso, según las recomendaciones del fabricante:
  - **Aditivo =  $0,07 \% * 394 \text{ kg} = 0,3 \text{ kg/m}^3$**
- Las cantidades de dosificación con agregados en estado saturado y de superficie seco son:

Hormigón H-30 / C1 – Modo 2		
Agua	142	l / m <sup>3</sup>
Cemento CPF 40	394	kg / m <sup>3</sup>
Aditivo incorporador de aire	0,3	kg / m <sup>3</sup>
Agregado fino SSS	573	kg / m <sup>3</sup>
Agregado grueso TMN 2" SSS	1246	kg / m <sup>3</sup>
Relación agua / cemento	0,36	

- Sumando las cantidades se obtiene:
  - **Peso Unitario del Hormigón Fresco =  $142 + 394 + 573 + 1246 = 2355 \text{ kg/m}^3$**
- La cantidad de agregado grueso determinada, deberá ser obtenida como mezcla de 2 ó más fracciones de agregado grueso, para componer una curva granulométrica que cumpla con las zonas determinadas en la Norma IRAM 1627

### PASO 7.c – Verificación del requisito de cohesividad de la mezcla

- De la Tabla 4 para un TMN de 53 mm el:
  - Contenido de finos mínimo =  $350 \text{ kg/m}^3$
- El Reglamento CIRSOC 201-05 establece que para que el hormigón sea cohesivo, debe poseer un contenido mínimo de finos pasantes tamiz IRAM 300  $\mu\text{m}$  (tamiz #50), por lo que deben sumarse todas las partículas menores a este tamaño en peso:
  - Contenido de finos = Peso cemento + 22% Peso AF + 0,5% Peso AG
  - **Contenido de finos real =  $394 + 0,22 * 573 + 0,005 * 1246 = 526 \text{ kg/m}^3$**
- Por lo tanto, verifica esta condición

### PASO 8 - Correcciones por el estado superficial de humedad de los agregados

- Como se consignó en un principio, los contenidos de humedad total de los agregados son:
  - Humedad total del agregado grueso = 1,2 %
  - Humedad total del agregado fino = 4,5 %
- Como primer paso se debe determinar la humedad superficial de los agregados en %:
  - Humedad Total (HT%) → Secado a masa constante (ensayo de rutina)
  - Absorción (A%) → Valor obtenido de ensayos de laboratorio
 Aplicado al agregado fino:  $HS_{AF} \% = HT_{AF} \% - A_{AF} \% \rightarrow HS_{AF} = 4,5\% - 1,6\% = 2,9\%$

Aplicado al agregado grueso:  $HS_{AG} \% = HT_{AG} \% - A_{AG} \% \rightarrow HS_{AG} = 1,2\% - 0,6\% = 0,6\%$

- A continuación se debe determinar la cantidad real de agregados en estado húmedo:

- PAF<sub>sss</sub> y PAG<sub>sss</sub> → Proporciones de dosificación del Paso 7.b.

- PAF<sub>húm</sub> y PAG<sub>húm</sub> → Cantidades reales a introducir en la mezcla

Aplicado ag. fino:  $PAF_{húm} = PAF_{sss} \times (1 + HS_{AF}) \rightarrow PAF_{húm} = 573 \times (1 + 2,9\%) = 590 \text{ kg/m}^3$

Ag. grueso:  $PAG_{húm} = PAG_{sss} \times (1 + HS_{AG}) \rightarrow PAG_{húm} = 1246 \times (1 + 0,6\%) = 1253 \text{ kg/m}^3$

- Para finalizar se debe determinar la cantidad real de agua a introducir en la mezcla:

Agua aportada AF y AG =  $(PAF_{húm} - PAF_{sss}) + (PAG_{húm} - PAG_{sss}) \rightarrow$

$$\text{Agua aportada AF y AG} = (590 - 573) \text{ kg/m}^3 + (1253 - 1246) \text{ kg/m}^3 = 24 \text{ kg/m}^3$$

Agua real a introducir en la mezcla = Agua dosificación - Agua aportada AF y AG →

$$\text{Agua real a introducir en la mezcla} = 142 - 24 \text{ kg/m}^3 = 118 \text{ kg/m}^3$$

- En consecuencia, las cantidades finales a medir teniendo en cuenta las condiciones de humedad natural de los agregados para elaborar 1 m<sup>3</sup> de hormigón son:

Hormigón H-30 / C1 – Modo 2		
Agua	118	l / m <sup>3</sup>
Cemento CPF 40	394	kg / m <sup>3</sup>
Aditivo incorporador de aire	0,3	kg / m <sup>3</sup>
Agregado fino	573	kg / m <sup>3</sup>
Agregado grueso TMN 2"	1253	kg / m <sup>3</sup>
Relación agua / cemento	0,36	

### Evaluación de la dosificación – Ajuste de pastones de prueba

- Con estas proporciones se realizarán las primeras mezclas (primer tanteo) para verificar si se ha obtenido el asentamiento, el contenido de aire y la resistencia a compresión requeridos, entre otros.
- Con los resultados de los ensayos de laboratorio, se deberá ajustar la mezcla sucesivamente, hasta llegar a las especificaciones fijadas para el pavimento en estudio, complementando con observaciones del hormigón en obra

## V. EJERCICIOS PROPUESTOS

### Ejercicio N° 1 – Dosificación de columnas de fachada de un Hotel (hormigón visto) – Mar del Plata (ambiente marino)

#### DATOS: DEFINICIÓN DE LA OBRA O ELEMENTO ESTRUCTURAL

##### 1) Geometría del elemento estructural

- Las columnas tienen dimensiones de 40 x 40 cm en los pisos inferiores y 30 x 30 cm en los pisos superiores
- Las armaduras principales en columnas tienen una separación mínima de 4 cm y los estribos en la zona de mayor concentración se encuentran separados 10 cm
- El recubrimiento de las armaduras será de 4,0 cm

##### 2) Condiciones de elaboración y puesta en obra

- El hormigón deberá tener una consistencia plástica para su despacho desde planta, y luego con la incorporación de aditivo superfluidificante se en obra se lo llevará a una consistencia fluida para su colocación, ya que será colocado por bombeo
- El hormigón será elaborado en planta central que tiene un sistema de gestión de Calidad ISO 9001 y cumple con los requisitos del Modo 1. Se podrá emplear como primera aproximación una desviación estándar de 3,0 MPa

##### 3) Requisitos por Resistencia : Cálculo estructural

- El dimensionamiento estructural requiere una resistencia de 25 MPa a los 28 días

##### 4) Requisitos por Durabilidad: Condiciones de exposición

- Los suelos en contacto con las fundaciones no se presentan como agresivos
- La estructura del edificio y su fachada se encuentran a 400 metros de la costa

##### 5) Conocimiento de normas o reglamentos particulares

- Serán de aplicación el reglamento CIRSOC 201-05 y como normas de ensayo Normas IRAM

##### 6) Características de los materiales

###### • Agregado Grueso

- Peso específico real = 2620 kg/m<sup>3</sup>
- Peso unitario de volumen SSS y compactado (PUC) = 1790 kg/m<sup>3</sup>
- Absorción = 0,7 %
- Humedad total = 1,2 %

###### • Agregado Fino

- Peso específico real = 2640 kg/m<sup>3</sup>
- Modulo de fineza = 2,75
- Material pasante tamiz # 50 = 19%
- Absorción = 1,8 %
- Humedad total = 7,5 %

###### • Cemento

- Cemento Pórtland con filler calcáreo (CPF 40) - Peso específico real = 3040 kg/m<sup>3</sup>

## **Ejercicio N° 2 – Dosificación de un hormigón para una viga estructural – Parque Industrial Las Heras (clima seco)**

La viga en estudio forma parte del segundo piso de un edificio industrial y presenta unas dimensiones de 100 cm de altura y 35 cm de ancho, presentando una importante luz de 12 m. La misma, se ubicará a la intemperie del edificio en el Parque Industrial de Las Heras, siendo el lugar no agresivo contra el hormigón. El edificio presenta un total de 16 vigas idénticas.

Analizando el plano de detalle de la viga, la misma presenta un armado denso con separación mínima entre los estribos de 8 cm y entre las barras longitudinales de 4 cm. El recubrimiento de las mismas es de 3,5 cm, dado que la estructura se ubica a la intemperie.

El cálculo arrojó una resistencia característica necesaria mínima de 300 kg/cm<sup>2</sup> a los 28 días y el hormigón será fabricado en planta central la cual no cumplimenta los requisitos del Modo 1, transportado en camión hormigonero y puesto en obra por medio de una bomba. La vibración se hará por medio de vibradores de inmersión.

Los resultados de los ensayos de laboratorio sobre los agregados, arrojaron los siguientes valores: Peso específico del AG 2,70 kg/dm<sup>3</sup> y del AF 2,68 kg/m<sup>3</sup>; el PUC del AG es de 1,72 kg/dm<sup>3</sup> y el modulo de finura del AF es de 3,05; Porcentaje de material pasante tamiz # 50 de 16%; Absorción del AG 0,5% y del AF 1,5% y en la planta central los agregados presentan una humedad de 0,9% (AG) y 5,0% (AF). EL cemento a emplear será un CPP 40.