

- **TEMA: DOSIFICACION DE HORMIGONES.**

1. **Composición:** Está constituido por una mezcla de materiales inertes, agregados: ripio y arena, ligados entre sí por una pasta endurecida de cemento y agua y eventualmente con el agregado de aditivos que le confieren una característica particular al producto recién amasado o cuando ya ha endurecido.-

- **Agregados.** Los agregados ocupan, aproximadamente, entre el 60 y el 80 % del volumen sólido del hormigón y su función es la de: suministrar un material económico de relleno, reducir y localizar la retracción, y mejorar la resistencia al desgaste.
- **Pasta cementícea (agua + cemento).** Su función es la de ligar y dar cohesión al esqueleto granular, recubriendo perfectamente cada partícula del agregado; y sus propiedades (resistencia, durabilidad y trabajabilidad) dependen fundamentalmente de la relación, en peso, que existe entre el agua y el cemento.
- **Aditivos químicos y adiciones minerales.** Son los materiales que, cuando se utilizan para la elaboración de hormigones, tienen por finalidad modificar en sentido positivo y permanente una o varias de las propiedades del hormigón fresco y/o endurecido.

2. **Resistencia y durabilidad:** estas dos características fundamentales del hormigón dependen de diversos factores, a saber:

- dosificación adecuada
- relación de agua-cemento $\left(\frac{a}{c}\right)$
- tamaño máximo del agregado grueso
- características granulométricas (graduación, módulo de fineza)
- colocación del hormigón (vibrado, centrifugado, etc)
- curado del hormigón

3. **Endurecimiento:** La ligazón entre los materiales se debe a la reacción química exotérmica del agua con el cemento que va transformando la pasta fresca que recubre a las partículas inertes endureciéndola y adhiriendo así los materiales pétreos, en un proceso que se denomina fragüe o fraguado del hormigón.-

4. **Características de los componentes:**

4.1. **Cemento:** Se obtiene calentando una mezcla de calcáreo y arcilla hasta una temperatura de sintetización, resultando el clinker de cemento que luego es finamente molido. Está formado por compuestos de calcio:

- Silicatos bicálcico y tricálcico
- Aluminato tricálcico
- Ferro aluminato tetracálcico

En los hormigones elaborados corrientemente se utilizan:

- cemento portland normal IRAM 1503
- cemento de alta resistencia inicial IRAM 1646
- cemento puzolánico
- cemento de alta resistencia a los sulfatos

- *Cemento portland normal*: es el comunmente utilizado, tiene un gradual aumento de consistencia en el tiempo y es apto para estructuras comunes de Hormigón Armado, a climas templados y sin exposición a ataques de agresivos químicos.-

- *Cemento de alta resistencia inicial*: con este tipo de cemento se puede lograr una resistencia a los 7 días equivalente a los 28 días. Es apto para volúmenes pequeños por los grandes agrietamientos que se producen por los bruscos cambios volumétricos. Se usa en zonas de climas fríos y donde se requiere una pronta habilitación de las obras.-

- *Cemento puzolánico*: son cementos mixtos compuestos por clinker y entre un 25% y 40% de puzolanas naturales o artificiales.-

Las puzolanas naturales son materiales silicos o silico-aluminosos de origen volcánico capaces de reaccionar con cal en presencia de agua, formando silicatos más estables.-

Las puzolanas artificiales son escorias de altos hornos, cenizas volantes y arcillas activadas.-

Los cementos puzolánicos ofrecen como ventaja respecto a los comunes, dada la disminución de cal libre, una reducción en el riesgo de lixiviación de la cal libre frente al agua (proceso químico de disolución y arrastre de un sólido por un líquido), pero no siempre dan seguridad en cuanto a la resistencia a los sulfatos.-

Actualmente es reconocido ecológicamente hablando, por cuanto trae aparejado el empleo de residuos que de otra manera contaminarían el ambiente.-

- *Cemento de alta resistencia a los sulfatos*: su característica es el bajo contenido de aluminato tricálcico (menor del 5%) que le otorga gran resistencia al ataque de agua con sulfatos.-

4.2. Agregados finos: Existe una conveniencia en la separación de los materiales inertes en finos y gruesos para una mejor dosificación. Los agregados finos se componen por arenas de origen silíceo que se obtienen de yacimientos en lechos de ríos, yacimientos terrestres o costas marítimas.-

Las arenas artificiales son obtenidas por la trituración y molienda de rocas de origen granítico.-

En líneas generales los agregados naturales poseen grano redondeados que le confieren una mayor trabajabilidad al hormigón resultante, aunque una menor resistencia. Para su clasificación se utilizan tamices normalizados que son:

4,8mm(Nº4) 2,4mm(Nº8) 1,2mm(Nº16) 590µ(Nº30) 297µ(Nº50) 149µ(Nº100)
75µ(Nº200)

Un parámetro característico en los agregados finos es el módulo de fineza, el cual es un número que identifica al agregado a través de la suma de los porcentajes retenidos en cada uno de los tamices normalizados divididas por 100, pudiendo establecerse la siguiente clasificación:

arenas finas	$M_f < 2.6$
arenas medianas	$2.6 \leq M_f \leq 2.9$
arenas gruesas	$M_f > 2.9$

Otro valor de importancia es el % que pasa el tamiz Nº 200 pues nos dá idea de la limpieza de la arena, pues el material pasante es limo o arcilla que son elementos que deben evitarse dado que recubren a los agregados pétreos dificultando la adherencia de la pasta formada por el cemento y agua.-

Las arenas utilizadas deben estar libres de impurezas orgánicas y compuestos salinos y se recomienda el lavado, aunque se lo hace sólo para obras de importancia y cuando se requieren altas resistencias para los hormigones.-

4.3. Agregados gruesos: Se pueden presentar en dos formas: como canto rodado, o como piedra partida, dando mayor resistencia estos últimos por la trabazón que producen sus componentes.-

Interesa seleccionar el tamaño máximo, el cual es función de las dimensiones mínimas de la estructura a hormigonar y de la separación de la armadura, para asegurar un adecuado llenado evitando la presencia de huecos que luego producen zonas de debilitamiento de la estructura. Los valores máximos para los agregados gruesos oscilan entre 1/3 a 1/5 de la mínima dimensión.-

Podemos asegurar que a mayor tamaño máximo tendremos mayor resistencia.-

Los áridos deben estar libres de suciedad y componentes orgánicos o salinos, siendo la graduación adecuada para los distintos tamaños aquella que tienda a la menor cantidad de vacíos.-

4.4. Agua de amasado: El agua óptima es la potable, en caso de no contar con ésta debe requerirse de agua limpia y libre de sustancias nocivas como lo son elementos orgánicos, ácidos y álcalis.-

El agua tiene dos funciones fundamentales en una mezcla de hormigón:

- permite la reacción química que causa el fraguado y el endurecimiento
- lubrica la mezcla de agregados y cemento para facilitar su colocación.

5. Curado: Después de haber iniciado el proceso de endurecimiento (aproximadamente 12 hs), se recomienda efectuar un curado que consiste en adoptar un procedimiento tendiente a evitar la pérdida de humedad por un tiempo no menor a 7 días.-

El procedimiento más utilizado es por inundación, no obstante se puede recurrir al uso de membranas, compuestos químicos o bien vapor (para estructuras pretensadas). Este último procedimiento produce una aceleración del fragüe y aumenta la resistencia alcanzando en horas resultados equivalentes a varios días de curado por cualquiera de los otros procedimientos.-

6. Resistencia: La resistencia es uno de los parámetros fundamentales para la dosificación de hormigones y generalmente sus valores están establecidos en los pliegos o planos que confecciona el proyectista.-

Los ensayos para determinar la resistencia del hormigón elaborado son realizados en probetas normalizadas, cilíndricas (CIRSOC 201) o prismáticas, que dan los valores de la resistencia a compresión en $[\text{kg}/\text{cm}^2]$.-

Normalmente las condiciones de resistencia son expresadas como resistencia característica (σ_{bk}), la cual se define aquella resistencia que es alcanzada o superada por una probeta cualquiera con una probabilidad del 95%; de otra forma, es un valor tal que es igualado o superado, como mínimo, por el 95% de las probetas ensayadas, siendo la expresión de cálculo:

$$\sigma'_{bk} = \sigma'_{bm}(1 - k \cdot \delta)$$

donde:

σ'_{bk} = resistencia característica

σ'_{bm} = resistencia media de la muestra

$$\sigma'_{bm} = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \sigma'_{br}$$

σ'_{br} = resistencia última o de rotura de cada probeta

n = número de probetas de la muestra

δ = desviación o variación

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma'_{br} - \sigma'_{bm})^2}{\sigma'_{bm}}} \quad \text{para } n \leq 30$$

$$\delta = \sqrt{\frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n \frac{(\sigma'_{br} - \sigma'_{bm})^2}{\sigma'_{bm}}} \quad \text{para } n > 30$$

k= coeficiente que mayor la desviación y surge de la teoría de probabilidades.

Tabla I

nº ensayos	k
1	6.31
2	2.92
5	1.94
10	1.81
15	1.75
20	1.72
25	1.71
30	1.64
>30	1.64

Las tensiones características adoptadas comunmente son:

110 kg/cm² 130 kg/cm² 170 kg/cm²

210 kg/cm² 300 kg/cm² 380 kg/cm²

7. **Dosificación:** Se define como tal a las proporciones adecuadas de cemento, agua, áridos y en algunas circunstancias aditivos, tendientes a lograr un hormigón con determinadas condiciones de resistencia, durabilidad, economía y trabajabilidad.-
 Muchas de estas propiedades dependerán de la relación agua-cemento y de las características granulométricas de los agregados.-

Entenderemos por relación agua-cemento (a/c) al cociente entre las cantidades de agua y cemento expresadas en peso.-

7.1. Resistencia: La Resistencia Mecánica es una de las más importantes propiedades del hormigón endurecido, debido a que en las estructuras de hormigón, a los efectos del cálculo, representa la capacidad para soportar esfuerzos a que estará sometido en su posición de trabajo y a los producidos por la acción de las cargas o de naturaleza y/o de temperatura que puedan originar deformaciones, e inducir tensiones. Este parámetro de dimensionamiento dependerá del destino del hormigón y de las condiciones que establezca el proyectista, los que pueden estar explicitados como:

- Tensión media σ'_{bm}
- Tensión característica σ'_{bk}
- Tensión de rotura σ'_{br}

Estos valores se refieren a la resistencia a la compresión simple a 28 días expresados en kg/cm^2 .-

No obstante, para obras de pavimentación se suele condicionar la resistencia a través del módulo de rotura, el cual puede correlacionarse con la resistencia a compresión, como se indica en la siguiente tabla.

Tabla II

RESISTENCIAS A LA FLEXION EN FUNCION DE LAS DE COMPRESION		
Resistencia a la compresión [kg/cm^2]	Resistencia a la flexión (Módulo de rotura)	
	[kg/cm^2]	% de la compresión
450	57	12.5
400	54	13.5
350	51	14.5
300	48	16.0
250	44	17.5
200	40	20.0
150	37	22.5
100	27	27.0

La condición de resistencia es función directa de la relación agua-cemento.

La interdependencia entre la resistencia y la relación agua-cemento puede observarse en la gráfica N° 1, la cual está limitada a las siguientes condiciones:

- cementos normales argentinos
- agregados de piedra partida
- resistencia a rotura medida en probetas de esbeltez $h/a=2$

En el caso de usarse agregado de canto rodado, se recomienda reducir la resistencia a la compresión en:

30 kg/cm ²	28 días
25 kg/cm ²	7 días

7.2. Durabilidad: La durabilidad de una estructura es la capacidad de conservar sus características y propiedades a través del tiempo. La cantidad de agua que interviene en el Hormigón es consumida en parte en el proceso de fragüe, siendo el resto necesario para el amasado y para dotar a la mezcla de la trabajabilidad deseada.-

Si se agregara demasiada cantidad de agua, el hormigón resultante sería muy poroso ya que en el proceso de endurecimiento el agua contenido en el interior al exudar formaría pequeñas canalizaciones (capilares), que resultarían muy perjudiciales para la durabilidad del hormigón dado que de ser armado se produciría corrosión en las armaduras, si está a la intemperie sufriría los riesgos de deterioro por congelamiento del agua almacenada en esas cavidades, y en general todas esas discontinuidades producen concentraciones de tensiones que van degradando el material con el transcurso del tiempo.-

Por ello también cuanto menor sea la cantidad de agua utilizada durante el amasado, mayor será la durabilidad y menor la trabajabilidad. La siguiente tabla da las relaciones agua-cemento recomendadas en función de la clase de estructura y del tipo de exposición a que va a estar sometido.-

Tabla III
RELACIONES AGUA-CEMENTO RECOMENDADAS PARA HORMIGONES SOMETIDOS A AGENTES CLIMATICOS (CONDICION DE DURABILIDAD)

Condición a que está sometida la estructura	Relación agua-cemento en peso		
	Clase de estructuras		
	Pilotes, muros delgados, elementos livianos resistentes, vigas y columnas de edificios al exterior	Recipientes, tanques de agua, cañerías a presión, conductos cloacales, revestimientos de canales, diques de secciones delgadas	Muros gruesos, estribos, fundaciones, diques de secciones gruesas
Extrema: 1. En climas severos expuesta a la alteración de humedecimientos y secados, congelación y deshielo, como a nivel de agua en las estructuras hidráulicas. 2. Expuestas al contacto del agua de mar o aguas fuertemente sulfatadas, tanto en climas severos como moderados.	0.49	0.49	0.53
Severa: 3. En climas severos expuesta a la lluvia y nieve y congelación y deshielo, pero sin estar en contacto continuo con el agua. 4. En climas moderados, expuesto a la alteración de humedecimientos y secados, como a nivel de agua en las estructuras hidráulicas.	0.53	0.53	0.60
Moderada: 5. En climas moderados, expuesta a la intemperie, pero sin estar en continuo contacto con el agua. 6. Hormigón completamente sumergido pero protegido de la congelación.	0.60	0.53	0.66
Protegida: 7. Están incluidos los elementos de las estructuras comunes, hormigón debajo del terreno sin estar sujetos a la acción corrosiva de aguas subterráneas o de congelación y deshielo.	0.66	0.53	0.73

7.3. Economía: Como toda obra de ingeniería, se debe tratar de satisfacer la necesidad con el menor costo posible. El empleo de materiales adecuados y una correcta dosificación permitirán obtener resultados satisfactorios en este sentido.-

Dado que el cemento es más costoso que los agregados, por lo general, la mezcla más económica será aquella con menor contenido de cemento sin sacrificar la calidad del hormigón. Si asociamos la "calidad" a la relación agua / cemento, es evidente que debemos reducir la demanda de agua de la mezcla. . Las proporciones deben fijarse para producir un hormigón de:

- La consistencia más seca (menor asentamiento) que pueda ser colocada eficientemente para obtener una masa homogénea.
- Con el tamaño máximo de agregado económicamente disponible, adecuado para una colocación satisfactoria, es decir compatible con el tamaño del elemento, armaduras y recubrimientos.
- 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.

7.4. Trabajabilidad: Se entiende como el mayor o menor grado de facilidad para colocar y distribuir el hormigón en una estructura (losa, viga, columna, pavimento, etc.).

Este factor tiene correspondencia directa con otro denominado *consistencia*, el cual representa el estado de fluidez o no de la muestra (cantidad de agua) y también dá indicios acerca de las características granulométricas de los áridos (tamaño máximo, graduación, módulo de fineza).

Algunos valores de consistencia adecuados se muestran en la siguiente tabla.

Tabla IV

CONSISTENCIAS Y TAMAÑO MÁXIMO DEL AGREGADO GRUESO PARA DIVERSOS TIPOS DE CONSTRUCCIONES

Tipo de construcción	Consistencia medida por el asentamiento del cono		Tamaño máximo del agregado grueso [mm]
	Máximo [cm]	Mínimo [cm]	
Muros armados de fundación y cimientos	13.0	5.0	38(1½")
Fundaciones, cajones y muros de hormigón simple	10.0	2.5	51(2")
Losas, vigas y muros armados	15.0	7.5	25(1")
Columnas de edificios	15.0	7.5	25(1")
Pavimentos	7.5	5.0	51(2")
Estructuras de espesor grueso	7.5	2.5	76(3") 152(6")

A veces se limita la consistencia del hormigón no sólo en función de la característica de la estructura, sino además teniendo en cuenta los medios de colocación (vibrado, bombeado), tal como se muestra en la siguiente tabla.

Tabla V

ESCALA DE CONSISTENCIA, MEDIDAS POR EL ASENTAMIENTO

Consistencia	Asentamiento [cm]	Observaciones
Seca	0 a 1	Para usarse con fuerte compactación o vibrado.
Semi-seca	1 a 5	Puede moldearse satisfactoriamente por compactación o vibrado.
Media	5 a 10	Hormigón plástico, fácilmente moldeable aunque requiera alguna compactación para colocarlo en las estructuras.
Húmeda	10 a 15	Hormigón fácilmente colocable.
Fluida	15 a 20	Hormigón que puede ser vertido en el lugar.

7.5. Agregados inertes: Como se ha visto en las consideraciones previas, su tamaño máximo y su composición granulométrica resultan de importancia por su influencia en las características del producto final.

A los efectos de poder cuantificar dichas características, resulta necesario el estudio de algunos parámetros útiles para la dosificación de hormigones.-

7.5.1. *Módulo de fineza:* Es la suma de los porcentajes retenidos en una serie de tamices normalizados, que en general para un material dado son:

38mm(1½") 9.5mm(3/8") 4,8mm(Nº4) 2,4mm(Nº8) 1,2mm(Nº16) 590µ(Nº30) 297µ(Nº50) 149µ(Nº100) 75µ(Nº200)

Si el material posee tamaños máximos aún mayores se siguen agregando tamices hasta alcanzar dicho valor. El módulo de fineza es útil para comparar granulometrías, pero en la dosificación de hormigones es utilizado hasta el tamiz Nº 4, es decir para agregado fino o arenas.-

7.5.2. *Tamaño máximo:* Es la abertura de la malla que permite el paso del 95% del peso del material.-

Cuanto mayor sea el tamaño máximo obtendremos una mayor resistencia, pero este valor queda limitado a la separación de armaduras y a la dimensión mínima de la estructura a hormigonar, aconsejándose los siguientes valores:

$$\frac{1}{3} d \leq \phi_{\max} \leq \frac{1}{5} d$$

o bien los valores indicados en la tabla IV.-

7.5.3. *Humedad superficial:* Los agregados a utilizar deben estar en condición de saturado a superficie seca, de ahí que interesa conocer la humedad natural para realizar los ajustes de agua necesarios en la dosificación, o bien para el caso en que se encuentren totalmente secos, conocer el grado de absorción de los agregados para determinar la cantidad de agua a agregar según este parámetro.-

Se muestran a continuación algunos valores que pueden ser utilizados cuando no se disponga de la posibilidad de efectuar ensayos de laboratorio.

Tabla VI

VALORES APROXIMADOS DE LA HUMEDAD SUPERFICIAL DE LOS AGREGADOS COMUNES

Agregados	Humedad superficial (% en peso)
Piedra partida y grava húmeda	0.5 a 2
Arena húmeda	1 a 3
Arena regularmente húmeda	3 a 5
Arena muy húmeda	5 a 10

Tabla VII

VALORES APROXIMADOS DE LA ABSORCIÓN DE ALGUNOS AGREGADOS

Agregados	Absorción (% en peso)
Arenas	1.0
Piedra partida granítica	0.5
Canto rodado o piedra partida calcárea	1.0
Piedra arenisca porosa	7.0
Cascote de ladrillo	12.0
Agregados porosos y livianos	>25.0

7.5.4. *Peso específico*: Resulta de la relación entre el peso de material y su volumen. No obstante a los fines de la dosificación se define como la relación entre el peso de una muestra de material en el aire y el peso del agua desplazada por el mismo (en condición de saturado a superficie seca).

Para el cemento, cualquiera sea el tipo, se adopta: $g = 3150 \text{ kg/m}^3$

En la siguiente tabla se muestran valores aconsejables para los pesos específicos de los agregados más comunes.

Tabla VIII

PESO ESPECIFICO (SATURADO Y SUPERFICIE SECA) DE ALGUNOS AGREGADOS

Agregados	Peso específico [t/m³]
Piedra granítica (Olavarría, Tandil, Córdoba)	2.64 a 2.69
Piedra granítica ferruginosa	3.00
Canto rodado (litoral)	2.58
Canto rodado (Río Tunuyán, Mendoza)	2.56
Canto rodado (Villa Mercedes, San Luis)	2.66
Piedra mora (Corrientes)	2.45
Cascote de ladrillo	1.98 a 2.24
Tosca (Bahía Blanca)	1.91
Arenas naturales silíceas (argentina u oriental)	2.62 a 2.68

7.5.5. *Volúmenes absolutos o sólidos de los materiales*: Se define como el peso de material dividido por su peso específico.-

Las unidades son: $\frac{[\text{kg}]}{\frac{[\text{kg}]}{[\text{m}^3]}} = [\text{m}^3]$

Ejemplo: Si tenemos una muestra que contiene 75 kg de cemento, 37 l = 37 kg de agua, 150 kg de arena y 264 kg de ripio. Los volúmenes absolutos respectivos serán:

$$V_c = \frac{75}{3150} = 0.0238\text{m}^3 \quad V_a = \frac{37}{1000} = 0.037\text{m}^3$$

$$V_{ar} = \frac{150}{2650} = 0.0566\text{m}^3 \quad V_r = \frac{264}{2650} = 0.099\text{m}^3$$

7.5.6. *Volumen compactado del agregado grueso por m³ de hormigón*: Si se define a b₀ como la relación entre el peso del m³ de agregado grueso seco y compactado y el peso específico del material, se denomina volumen compactado del agregado grueso por unidad de volumen de hormigón a la relación b/b₀, siendo b el volumen absoluto o sólido del agregado grueso.

b/b₀ es una magnitud adimensional pues surge del cociente de dos volúmenes y es un factor que mide la trabajabilidad, siendo función del tamaño máximo del agregado grueso y del módulo de fineza de la arena e independiente de la relación a/c y consistencia de las mezclas. Los valores se muestran en la siguiente tabla:

Tabla IX

VOLUMENES COMPACTADOS DE AGREGADO GRUESO POR UNIDAD DE VOLUMEN DE HORMIGON (b/b₀)

Tamaño máximo del agregado grueso [mm]	Módulo de fineza de la arena							
	2.00	2.20	2.40	2.60	2.75	2.90	3.10	3.30
	Valores de b/b ₀							
9.5 (3/8")	0.54	0.52	0.50	0.47	0.45	0.42	0.39	0.35
12.7(1/2")	0.61	0.59	0.57	0.55	0.53	0.51	0.48	0.45
19 (3/8")	0.68	0.67	0.65	0.63	0.62	0.60	0.58	0.55
25 (1")	0.72	0.70	0.69	0.67	0.66	0.65	0.63	0.60
38 (1½")	0.76	0.75	0.73	0.72	0.71	0.70	0.68	0.66
51 (2")	0.79	0.78	0.76	0.75	0.74	0.73	0.71	0.70
76 (3")	0.82	0.81	0.80	0.79	0.78	0.77	0.76	0.75
152 (6")	0.87	0.87	0.86	0.85	0.84	0.83	0.82	0.81

Obtenida la relación b/b₀ y conocido b₀, el volumen absoluto de agregado grueso resulta:

$$b = \frac{b}{b_0} \times b_0$$

7.6. Agua de amasado: Es la cantidad de agua necesaria por m³ de hormigón para lograr una pasta con el grado de consistencia deseado.

Se obtiene a partir del gráfico II, en el cual se ingresa con el valor del volumen sólido o absoluto del agregado grueso por m³ de hormigón hasta la curva correspondiente al módulo de fineza del agregado fino, obteniendo así el volumen de agua por m³ de hormigón. Las cantidades de agua dadas por la Tabla X, pueden utilizarse con aproximación suficiente para las estimaciones preliminares de las proporciones.

TABLA X

Contenido unitario aproximado de agua para distintos asentamientos y tamaños máximos del agregado grueso

Asentamiento (cm)	Contenido unitario de agua (litros / m ³ de hormigón) para diferentes TM							
	9.5	12.7	19.1	25.4	38.1	50.8	76.2	152.4
Hormigón normal								
2 a 5	208	198	183	178	163	153	144	124
7 a 10	228	218	203	193	178	168	158	139
12 a 18	243	228	213	203	188	178	168	149
Aire naturalmente incorporado (%)	3	2.5	2	1.5	1	0.5	0.3	0.2
Hormigón con aire intencionalmente incorporado								
2 a 5	183	178	163	153	144	134	124	109
7 a 10	203	193	178	168	158	149	139	119
12 a 18	213	203	188	178	168	158	149	129
Aire naturalmente incorporado (%)	8	7	6	5	4.5	4	3.5	3

7.7. Rendimiento del hormigón: Es la suma de los volúmenes absolutos de los materiales intervinientes, y representa el volumen total de hormigón luego del proceso de amasado.

El rendimiento permite obtener las cantidades de cada uno de los materiales a utilizar por m³ de hormigón. En el ejemplo dado en 7.5.5. será:

$$\text{Rendimiento} = 0.0238 + 0.037 + 0.0566 + 0.099$$

$$\text{Rendimiento} = 0.2164 \text{ m}^3$$

Las cantidades de cada uno de los materiales resulta:

$$\text{cemento} = \frac{75\text{kg}}{0.2164\text{m}^3} = 347 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{agua} = \frac{37\text{kg}}{0.2164\text{m}^3} = 170 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{arena} = \frac{150\text{kg}}{0.2164\text{m}^3} = 693 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{ripió} = \frac{264\text{kg}}{0.2164\text{m}^3} = 1219 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Peso total} \dots \dots \dots = 2429 \text{ kg/m}^3$$

7.8. Ejemplo de aplicación: Dosificar un hormigón con destino a un túnel de servicio de hormigón armado, cuyo espesor de pared es de 15cm, requiriéndose una resistencia de 250 kg/cm² de rotura, constituidos los materiales áridos por piedra partida, habiéndose obtenido un módulo de fineza de la arena de 2.80 y un peso del m³ de agregado grueso compactado de 1700 kg/m³.

7.8.1. *Relación agua-cemento:* Se obtiene como la preponderante entre la condición de resistencia y la de durabilidad

7.8.1.a. *Resistencia:* En el gráfico I, ingresando con la resistencia a rotura = 250 kg/cm², hasta la curva de 28 días, se obtiene a/c= 0.575

7.8.1.b. *Durabilidad:* Considerando que las condiciones del suelo lo ubican en una situación severa, según la tabla III, se obtiene a/c = 0.60

Por lo tanto la condición determinante es la de resistencia adoptándose a/c = 0.575

7.8.2. *Tamaño máximo del agregado grueso:* Considerando un hormigón armado de baja cuantía por lo que la separación entre hierros es grande, se adopta:

$$\phi_{\text{máx}} = \frac{1}{4} \times d_{\text{mín}} = \frac{1}{4} \times 150\text{mm} = 38\text{mm} \cong 1$$

$$\phi_{\text{máx}} = \frac{1}{4} \times d_{\text{mín}} = \frac{1}{4} \times 150\text{mm} = 38\text{mm} = 1 \frac{1}{2}''$$

7.8.3. *Consistencia:* De tabla IV para $\phi_{\text{máx}} = 38\text{mm}$ corresponde una consistencia entre 5 y 13cm, se adopta 10cm que implica una consistencia media, hormigón plástico, según tabla V.

7.8.4. *Volumen absoluto del agregado grueso por unidad de volumen compactado del mismo (b₀):*

Peso del m ³ seco compactado	= 1700 kg
Absorción según tabla VII	= 0.5 %
Peso específico	= 2650 kg/m ³

$$b_0 = \frac{1700 + 1700 \times 0.005}{2650} = 0.644\text{m}^3$$

7.8.5. *Volumen compactado del agregado grueso por m³ de hormigón (b/b₀):* Entrando en la tabla IX con el módulo de fineza de la arena mf = 2.80 y el $\phi_{\text{máx}} = 38\text{mm}$ se adopta b/b₀= 0.705.

Con lo que puede determinarse el volumen absoluto o sólido de agregado grueso como:

$$b = \frac{b}{b_0} \times b_0 = 0.705 \times 0.644 = 0.454 \text{ m}^3$$

7.8.6. *Contenido de agua por m³ de hormigón:* Empleando el gráfico II se ingresa con el valor del volumen sólido del agregado grueso por m³ de hormigón b = 0.454 m³ hasta cortar la curva correspondiente a mf = 2.80 y se obtiene:

$$a_0 = 170 \text{ litros de agua por m}^3 \text{ de hormigón}$$

Pero este valor responde a un asentamiento de 7.5cm, como la consistencia requerida implica obtener un asentamiento de 10cm, según el cuadro del mismo gráfico, corresponde agregar 3% de agua, en consecuencia:

$$a_0 = 170 \text{ l} \times 1.03 = 175 \text{ litros/m}^3 \text{ H}^0$$

7.8.7. *Contenido de cemento:* Adoptada la relación a/c = 0.575 y determinada en el punto anterior la cantidad de agua = 175 litros resulta:

$$\text{cemento} = \frac{\text{agua}}{a/c} = \frac{175}{0.575} = 304 \text{ kg}$$

7.8.8. *Volumen absoluto de la pasta cementicia:* Determinados los volúmenes sólidos de agua y cemento por m³ de hormigón, resulta:

$$\begin{aligned} \text{Volumen absoluto de cemento por m}^3 \text{ H}^0 &= \frac{304}{3150} = 0.0965 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen absoluto de agua por m}^3 \text{ H}^0 &= \frac{175}{1000} = 0.175 \text{ m}^3 \\ \text{Volumen absoluto de pasta cementicia.....} &= 0.271 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

7.8.9. *Volumen absoluto de los agregados:* como los componentes restantes son arena y ripio y ya se ha determinado el volumen de pasta cementicia que entra por m³ de hormigón, puede decirse:

$$\text{Volumen absoluto de agregados por m}^3 \text{ H}^0 = 1 - \text{Vol de pasta} = 1 - 0.271 = 0.729 \text{ m}^3$$

7.8.10. *Volumen absoluto de arena:* Conocido el volumen absoluto de agregado grueso según el punto 7.8.5. b = 0.454 m³ y con el valor del volumen absoluto de agregados puede determinarse por diferencia el volumen absoluto de arena como:

$$\text{Volumen absoluto de arena por m}^3 \text{ H}^0 = 0.729 - 0.454 = 0.275 \text{ m}^3$$

7.8.11. *Determinación de los componentes en peso:*

Cemento.....	304 kg
Agua.....	175 litros = 175 kg
Arena = 0.275 x 2650.....	728 kg
Ripio = 0.454 x 2650.....	1203 kg

Total	= 2410 kg

7.8.12. *Determinación de los componentes en volumen:* Muchas veces en obra no se cuenta con plantas dosificadoras por lo que se recurre a materializar la dosificación en volumen.-

Para poder realizar esto es necesario conocer los pesos específicos aparentes o en estado suelto, los cuales son muy variables, dependiendo de la forma de acopio, de las características granulométricas y de la humedad. Algunos valores orientativos son:

cemento: varía entre 1200 a 1400 kg/m³ según el grado de aplastamiento que experimente

arena: puede variar entre 1400 a 1800 kg/m³ dependiendo del grado de humedad

agregado grueso: se obtienen pesos específicos aparentes similares a las arenas en los cantos rodados y valores sensiblemente menores en piedra partida (hasta un 20% menos). No obstante en ninguno de los casos superan los valores de las arenas, sino que por el contrario son menores.

Cálculo de las proporciones en volumen:

$$\text{cemento} = \frac{304 \text{ kg}}{1350 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.225 \text{ m}^3 = 225 \text{ litros}$$

$$\text{agua} \dots\dots\dots = 175 \text{ litros}$$

$$\text{arena} = \frac{728 \text{ kg}}{1600 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.455 \text{ m}^3 = 455 \text{ litros}$$

$$\text{ripio} = \frac{1203 \text{ kg}}{1550 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}} = 0.960 \text{ m}^3 = 960 \text{ litros}$$

Si se asigna la cantidad de cemento como unitario o valor de referencia se tiene:

$$\text{cemento} = 225/225 = 1$$

$$\text{arena} = 455/225 = 2$$

$$\text{ripio} = 960/225 = 4.2$$

Las proporciones serán: 1 : 2 : 4.2 + agua
c a r

En realidad corresponde determinar el % de humedad de la arena a efectos de corregir la proporción de arena y de agua.-

- **MORTEROS:**

1. **Composición:** Se conoce con este nombre las mezclas obtenidas donde es eliminado el agregado grueso. Es decir que constan de cemento, arena y agua, aunque a efectos de lograr una mayor trabajabilidad se suele adicionar cal.-
2. **Dosificación:** En la tabla XIII muestra las proporciones indicadas para los usos más frecuentes, en volumen y en peso.

Las proporciones más utilizadas para mampostería son:

Tabla XI

Clase	Cemento	Cal	Arena
1	1/4	1	3
2	1	1	5 a 6
3	1	--	3

3. **Resistencia:** La tabla XII muestra valores de resistencia según la clase de mortero, dada por el Código de Construcciones Sismorresistentes de la Provincia de Mendoza 1987.-

Tabla XII

DESCRIPCION	CLASE	TENSION	MORTERO		
			1	2	3
Lad. Cerámicos mac.	LCM-A	σ	30	35	40
	BCS-A	τ	3	3.5	4
Bloques cerámicos Semimacizos	LCM-B	σ	15	20	25
	BCS-B	τ	1.5	2	2.5
Bloques cerámicos con huecos Verticales	BCV-A	σ	20	25	30
		τ	2	2.5	3
	BCV-B	σ	12	15	20
		τ	2	1.5	2
Bloques cerámicos con huecos horizontales	BCH-A	σ	12	15	20
		τ	1.2	1.5	2
	BCH-B	σ	10	12	15
		τ	1	1.2	1.5
Bloques huecos de hormigón (huecos verticales)	BHV-A	σ	12	15	20
		τ	1.2	1.5	2
	BHV-B	σ	10	12	15
		τ	1	1.2	1.5
Bloques macizos de hormigón, Piedras naturales o Ladrillos Sílicos-Calcáreos	BM-A	σ	30	35	40
		τ	3	3.5	4
	BM-B	σ	15	20	25
		τ	1.5	2	2.5
Mampostería colada con mortero u hormigón.	Relleno $\geq 50\%$	σ	25	30	35
		τ	2.5	3	3.5
	Relleno $< 50\%$	σ	20	25	30
		τ	2	2.5	3

TIPOS DE MEZCLA:

Tabla XIII

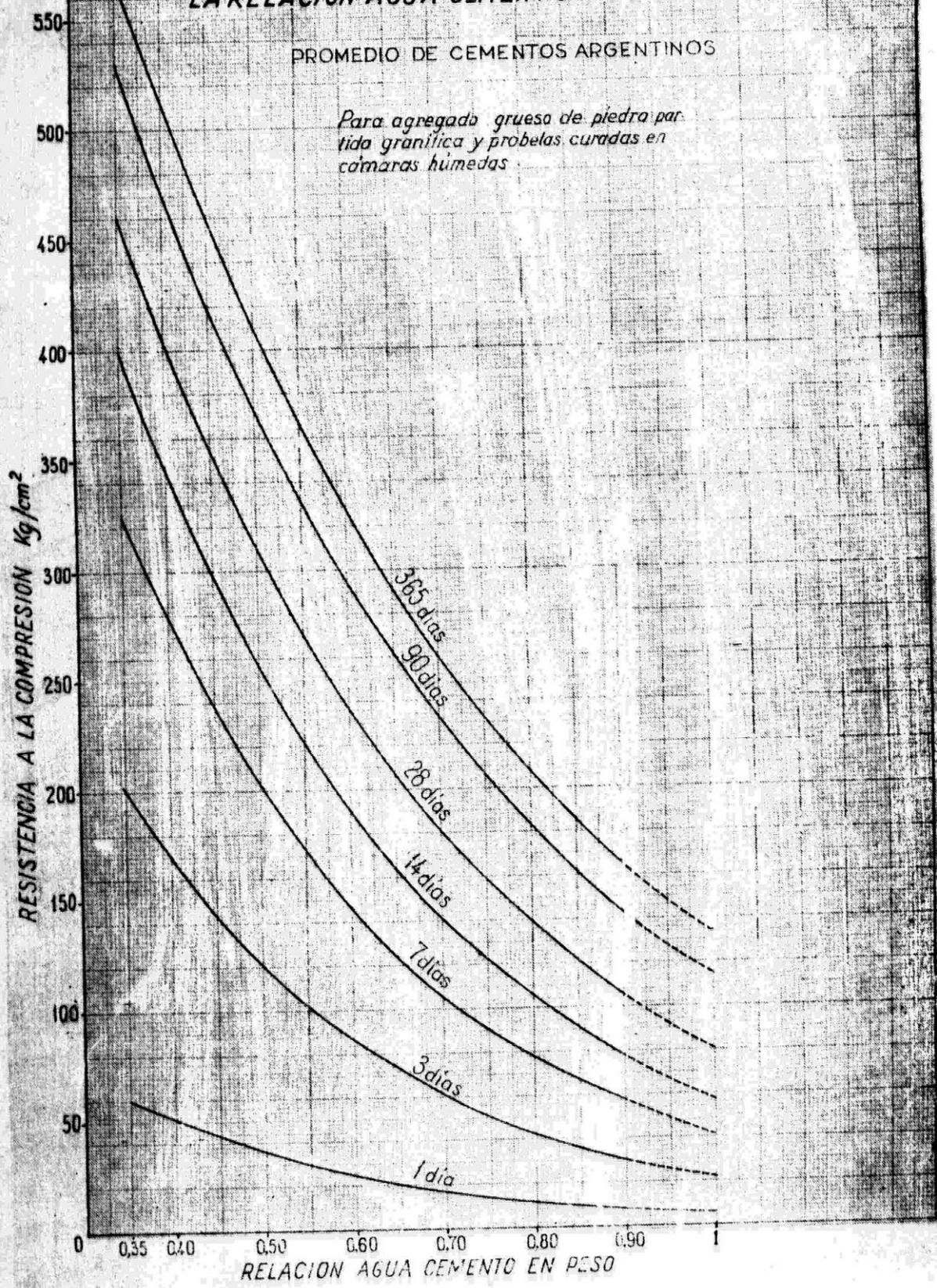
Tipo	Mezcla a usar para	Porporciones en volumen							Materiales necesarios para hacer 1m cúbico de mezcla							Obs.
		Cemento Portland	Cal Hidrat.	Arena fina	Arena gruesa	Ripio pelado	Piedra bola	Hidrof. tipo ceresita o sirr.	Cemento Portland kg	Cal hidratada kg	Arena fina m3	Arena gruesa m3	Ripio pelado m3	Piedra bola m3	Hidrof. tipo ceresita o sirr. kg	
1	albañilería lad. comunes	1	½	-	9	-	-	-	150	55.45	-	1.03	-	-	-	
2	albañ. ladr. pander. albañ. lad. huecos	1	¼	-	4	-	-	-	337.6	25.97	-	1.04	-	-	-	
3	albañ. en 5 hilad. s/viga vinculac.	1	-	-	3	-	-	0.1	476.2	-	-	1.10	-	-	12.5	
4	revoques int. com.	1	3	-	12	-	-	-	98.50	90.90	-	0.90	-	-	-	
5	revoques ext. com.	2	3	-	12	-	-	-	187.6	86.60	-	0.87	-	-	-	
6	enlucidos inter.	1/2	2	6	-	-	-	-	88.30	108.7	0.82	-	-	-	-	
7	enlucidos exter.	1	1½	10	-	-	-	-	127.7	58.90	0.98	-	-	-	-	
8a	base rev. imperm.	1	-	-	3	-	-	-	546.2	-	-	1.05	-	-	-	
8b	capa terminac.	1	-	-	2	-	-	-	768.2	-	-	0.87	-	-	-	
9	revoque imperm.	1	-	1	-	-	-	-	902.8	-	0.69	-	-	-	-	
10	rev. en subs. y param en contacto c/tierra	1	-	-	3	-	-	0.1	476.2	-	-	1.10	-	-	12.5	
11	coloc. revestim.	1	1½	6	-	-	-	-	192.3	88.8	10.48	-	-	-	-	
12	coloc. mosaic. bald.	1	2	-	8	-	-	-	151.5	95.7	-	0.956	-	-	-	
13	hormigón contrap.	1	1	-	4	8	-	-	130.5	40.15	-	0.400	0.80	-	-	
14a	pisos de hormigón simple capa base	1	-	-	3	4	-	-	450	-	-	0.495	0.66	-	-	
14b	pisos de hormigón simple capa termin.	1	-	-	3	4	-	-	450	-	-	0.495	0.66	-	-	
15	hormigón simple	1	-	-	3	3	-	-	280	-	-	0.63	0.63	-	-	
16	hormigón ciclópeo	1	-	-	3	3	40%	-	200	-	-	0.440	0.44	0.4	-	
17	hormigón armado	1	-	-	2½	3	-	-	300	-	-	0.57	0.68	-	-	

NOTA: La cantidad de agua \cong 0.5 de la cantidad de Portland; valor aproximado sólo para evaluar en forma estimativa. Cálculo final según práctica y experiencia.

RESISTENCIA A LA COMPRESION EN FUNCION DE LA RELACION AGUA-CEMENTO Y DE LA EDAD

PROMEDIO DE CEMENTOS ARGENTINOS

Para agregado grueso de piedra partida granítica y probetas curadas en cámaras húmedas



CONTENIDO DE AGUA POR m³ DE HORMIGON

EN FUNCION DEL VOLUMEN SOLIDO DEL AGREGADO GRUESO Y DEL MODULO DE FINEZA DE LA ARENA

Agregados saturados, superficie seca

PARA UNA CONSISTENCIA MEDIA POR EL ENSAYO DEL CONO DE 7,5cm

