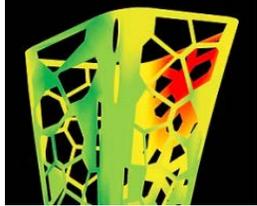


 <p>FACULTAD DE ARQUITECTURA Y URBANISMO UNLP</p>	<p align="center">Cátedra Estructuras FLL FAREZ LOZADA LANGER</p>	
<p>CURSO 2020</p>	<p>Apunte Teórico: El hormigón, componentes, propiedades</p>	<p align="center">Nivel II</p>
<p>Estracto del Capítulo I del Manual de Cálculo de estructuras de H° A° - I.C.P</p>		

MANUAL DE CALCULO DE ESTRUCTURAS DE HORMIGON ARMADO

Aplicaciones de la Norma DIN

1045 Ing. J. Pozzi Azzaro

CAPITULO I - HORMIGON

INTRODUCCION

El hormigón está constituido por materiales inertes (agregados fino y grueso) que se mantienen unidos entre sí mediante una pasta endurecida de cemento y agua.

Los agregados constituyen la parte pasiva de la mezcla, mientras que la pasta de cemento y agua es el elemento activo o ligante que al endurecerse, confiere al conjunto una consistencia pétreo.

Esta propiedad ligante y endurecedora la desarrolla el elemento al entrar en contacto con agua. Se producen entonces en el seno de la masa, reacciones químicas exotérmicas complejas que transforman la pasta en un sólido que adhiere y envuelve a las partículas de los agregados, manteniéndolas unidos y comunicando al conjunto, en mayor o menor grado, las propiedades características del hormigón: resistencia y durabilidad. Estas características del hormigón no son independientes entre sí, sino que están estrecha y mutuamente ligadas, dependiendo fundamentalmente de la relación agua – cemento, de la calidad de los materiales utilizados, de sus proporciones relativas y de la forma como se ha efectuado su preparación, colocación y curado.

CEMENTO PORTLAND

En las estructuras corrientes de hormigón armado, se utilizan fundamentalmente dos tipos de cemento:

- a) cemento Pórtland normal (IRAM 50 000)
- b) cemento Pórtland de alta resistencia inicial (IRAM 50 001)

Ambos tipos de cemento son de fraguado normal, diferenciándose en que el segundo, como su nombre lo indica, adquiere elevadas resistencias a edad temprana. Con el transcurso del tiempo, las resistencias de uno y otro tienden a igualarse siendo la resistencia final prácticamente la misma. Generalmente se expende en bolsas de 50 kg o a granel.

Cuando el almacenamiento es relativamente prolongado, suele ocurrir que en las bolsas ubicadas en la parte inferior de las estibas, por efecto de la gran compresión, el cemento aparece apelmazado y como si hubiera sufrido un principio de fraguado.

Existen otros tipos de cementos como ser el cemento portland puzolánico, el cemento Pórtland de alta resistencia a los sulfatos y otros cementos especiales.

AGREGADOS FINOS

Los agregados finos los constituyen las arenas, que pueden ser naturales o artificiales.

Las arenas naturales, de origen silíceo, se encuentran en los lechos de los ríos o costas marítimas o en yacimientos terrestres, denominándose en tal caso arena de cantera. La arena artificial proviene de la trituración de rocas, generalmente de origen granítico, razón por la cual se la denomina arena granítica o de trituración. Las arenas naturales poseen granos más bien redondeados, mientras que las artificiales presentan granos con aristas agudas. Las primeras conducen a hormigones más fácilmente trabajables que las segundas.

De acuerdo con su granulometría, las arenas se clasifican en finas, medianas y grandes, utilizándose para su clasificación el "módulo de fineza" que es un número obtenido sumando los porcentajes de arena retenidos por una serie preestablecida de tamices IRAM y dividiendo dicha suma por 100.

Las arenas se consideran finas cuando su módulo de fineza es inferior a 2,6; si el mismo se encuentra comprendido entre 2,6 y 2,0 se las califica como medianas y si excede de este último valor, como arenas gruesas.

Para estructuras, el módulo de finura más apropiado es 2,75 (que corresponde al tipo conocido comercialmente como "arena oriental gruesa" pero es posible obtener hormigones de buena calidad con arenas de cualquier módulo de finura, siempre que cumplan con los límites (curvas granulométricas) establecidos por la IRAM 1627 y se utiliza una dosificación correcta.

Las arenas deben ser limpias, libres de impurezas orgánicas y partículas de arcilla o limo, como así también de inclusiones salinas. En algunos casos es posible mejorar su calidad mediante el lavado.

AGREGADOS GRUESOS

Los agregados gruesos pueden ser de origen natural (canto rodado) o artificial (piedra partida), provenientes estos últimos de la trituración de rocas, generalmente graníticas.

El agregado grueso debe ser sano, no friable, libre de limo o impurezas orgánicas y sus partículas no deben ser aplanadas, sino más bien, afectar formas poliédricas.

El tamaño máximo del agregado grueso queda limitado por el espesor de los distintos elementos que constituyen una estructura. En general, no deberá superar $1/3$ de la menor dimensión y si la armadura es muy densa, se limitará su tamaño a $1/4$ de dicha dimensión.

AGUA DE AMASADO

El agua de amasado debe ser limpia y exenta de ácidos, álcalis o sustancias orgánicas en descomposición. En principio, cada agua potable es apta para el amasado del hormigón.

Cuando existen dudas acerca de la conveniencia de utilizar un tipo de agua determinado, conviene preparar probetas de morteros con el agua cuestionada y con agua de aptitud reconocida y comparar las correspondientes resistencias a la compresión. Si la resistencia del hormigón preparado con el agua de dudosa calidad no es inferior al 30 % de la resistencia de la probeta testigo, el agua puede utilizarse sin mayor inconveniente.

RESISTENCIA DEL HORMIGÓN. FACTORES INFLUYENTES

La **resistencia a la compresión del hormigón**, que define su calidad, depende de varios factores:

- a) edad;
- b) relación agua – cemento;
- c) dosificación;
- d) forma de curado;
- e) calidad de sus componentes;
- f) temperatura a la cual se ha producido el fraguado.

El aumento de resistencia con la edad se efectúa rápidamente al principio, crecimiento que se hace menor a partir de los 28 días. Prácticamente puede decirse que al cabo de un año el hormigón ha alcanzado su resistencia final. A efectos de establecer la calidad de un hormigón, los reglamentos exigen que se determine su resistencia a los 28 días. Los ensayos se efectúan en dos tipos de probetas: cúbicas o cilíndricas.

En nuestro país se utilizan las probetas cilíndricas de 15 cm de diámetro y 30 cm de altura.

La relación agua – cemento en peso es uno de los factores que influyen en la resistencia de los hormigones.

En la Figura I – 1 puede apreciarse cómo varía esta última en función de la relación agua – cemento.

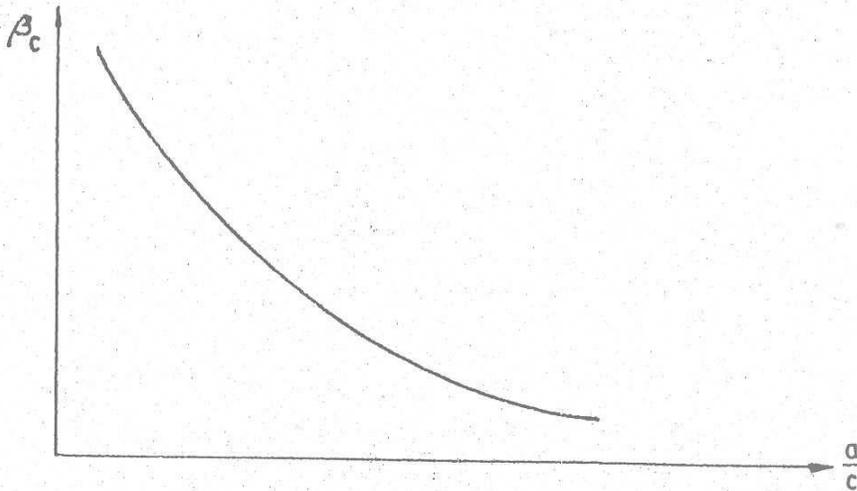


Figura I-1

La dosificación influye en el sentido que, si se utilizan proporciones de cemento y agregados que no corresponden a las características granulométricas de estos últimos, se obtienen hormigones poco compactos y porosos, de baja calidad.

El curado tiene una gran importancia, por cuanto en el período inicial de endurecimiento (primeros 7 días), es imprescindible que el hormigón posea la humedad necesaria para que el proceso de endurecimiento se realice en condiciones óptimas. Por ello conviene mantener al hormigón, durante el período mencionado, al abrigo de la acción directa de los rayos solares y en lo posible constantemente húmedo.

La influencia de la calidad de los componentes es evidente por sí misma y no necesita mayores comentarios. La temperatura a que tiene lugar el proceso de fraguado e inicial de endurecimiento, tiene su importancia. A medida que la misma disminuye, el fraguado se hace más lento, siendo el límite inferior de + 5 °C, temperatura para la cual prácticamente el fraguado se detiene.

Aumentando la temperatura, el fraguado y endurecimiento inicial se aceleran, lo que permite obtener resistencias más elevadas a edad temprana, pero siempre que el aumento de temperatura no signifique una pérdida de humedad, por cuanto ello tendría efectos contraproducentes.

TRABAJABILIDAD Y CONSISTENCIA DEL HORMIGON

Se entiende por **trabajabilidad** la mayor o menor facilidad de colocación y terminación en una determinada estructura. Para cada tipo o característica de obra existe una trabajabilidad adecuada, que depende del tamaño y forma de los elementos que la constituyen, disposición y cantidad de la armadura y de los métodos de colocación y compactación que se emplean.

El término consistencia define el estado de fluidez de un hormigón fresco y comprende toda la escala posible, desde la mezcla más fluida a la más seca.

Se denomina **consistencia plástica del hormigón** aquella que hace que este último pueda ser fácilmente moldeado en una masa compacta y densa, pero que le permite cambiar lentamente de forma si se retira el molde. Las mezclas muy secas o muy fluidas no responden a ese concepto, pues las primeras no pueden ser compactadas adecuadamente con los medios ordinarios mientras las segundas segregan al manipularse, esto es: pierden su homogeneidad, por asentamiento de los agregados gruesos.

Una forma de apreciar la consistencia la constituye el ensayo del asentamiento mediante el **cono de Abrams**. Dicho ensayo no proporciona una medida absoluta de la trabajabilidad, pero para hormigones con agregados y condiciones de obra similares permite apreciar el contenido de agua. Es aconsejable, tanto desde el punto de vista de la calidad del hormigón como de su economía, proyectar las mezclas con el menor asentamiento compatible con su apropiada colocación. De esta manera se podrá alcanzar la mínima relación agua – cemento para un mismo contenido de cemento.

DOSIFICACION DE HORMIGONES

Las proporciones de la mezcla deben responder, por una parte, a la calidad del hormigón que se requiere en cada caso (resistencia a los distintos esfuerzos y a la acción de los agentes agresivos) y, por otra parte, a las condiciones de colocación en obra, que exigen una cierta trabajabilidad de la misma. La dosificación es correcta cuando permite satisfacer ambos requisitos con la máxima economía de material. Existen diversos métodos para la dosificación de hormigones cuya descripción y forma de aplicación escapan a los alcances de esta publicación.

DEFINICION DE RESISTENCIA MEDIA Y RESISTENCIA CARACTERISTICA

Dado un conjunto de n probetas cilíndricas, hechas con hormigón de una cierta calidad, las cuales son ensayadas a compresión, se obtendrá un conjunto de n valores de la tensión de rotura del material generalmente distintos entre sí. Se define como resistencia media de dicho hormigón al valor:

$$\beta_{cM} = \frac{1}{n} \sum \beta_{ci} \quad \text{donde}$$

β_{cM} = resistencia media n = número de probetas cilíndricas β_{ci} = tensión de rotura para cada probeta

La resistencia media es un valor que representa mejor la calidad del hormigón que cualquiera de los resultados aislados de cada probeta, sin embargo no da una idea precisa de la homogeneidad de la calidad del hormigón.

Veamos estos ejemplos.

EJEMPLO 1 se hicieron 4 ensayos con los siguientes resultados:

$$\beta_{c1} = 230 \text{ kg/cm}^2 \quad \beta_{c2} = 280 \text{ kg/cm}^2 \quad \beta_{c3} = 310 \text{ kg/cm}^2 \quad \beta_{c4} = 340 \text{ kg/cm}^2$$

La resistencia media resulta: $\beta_{cM} = 290 \text{ kg/cm}^2$

EJEMPLO 2

$$\beta_{c1} = 280 \text{ kg/cm}^2 \quad \beta_{c2} = 285 \text{ kg/cm}^2 \quad \beta_{c3} = 290 \text{ kg/cm}^2 \quad \beta_{c4} = 305 \text{ kg/cm}^2$$

y la resistencia media resulta: $\beta_{cM} = 290 \text{ kg/cm}^2$

En ambos ejemplos se obtiene igual resistencia media pero el segundo hormigón es de mejor calidad que el primero, ya que a igualdad de resistencia media la **dispersión** de valores individuales es menor.

Con el propósito de tener en cuenta este problema se introdujo el concepto de **resistencia característica del hormigón**, que se define:

$$\beta_{cN} = \beta_{cM} (1 - k \cdot \delta) \quad \text{donde:}$$

β_{cN} : resistencia característica del hormigón

δ : desviación o variación

$$\delta = \sqrt{1/(n-1) \times \sum (\beta_{ci}/\beta_{cM} - 1)^2} \quad \text{para } n < 30$$

$$\delta = \sqrt{1/n \times \sum (\beta_{ci}/\beta_{cM} - 1)^2} \quad \text{para } n \geq 30$$

Este valor aumenta cuanto mayor es la dispersión de los resultados β_{ci} , dando una idea de la calidad del hormigón ejecutado; su valor debe oscilar entre 0,10 y 0,25 aproximadamente.

El factor k que aparece en la expresión de β_{cM} surge de la teoría de probabilidades e implica que la resistencia característica del hormigón es un valor tal que es igualado o superado, como mínimo, por el 95 % de las probetas ensayadas. El valor de k es función del número de probetas ensayadas; en la Figura I-3 se indican los valores de k. El número de probetas a ensayar debe ser suficientemente grande, en general más de 30, para que los resultados sean representativos.

Veamos ahora, a través de los 2 ejemplos citados, el cálculo de la resistencia característica β_{cN} :

EJEMPLO 1

$$\beta_{cM} = 290 \text{ kg/cm}^2 \quad \delta = 0,14$$

de la tabla de la Figura I-3 se obtiene para (4) cuatro probetas: $k = 2,35$

Luego
$$\beta_{cN} = 195 \text{ kg/cm}^2$$

EJEMPLO 2

$$\beta_{cM} = 290 \text{ kg/cm}^2 \quad \delta = 0,03$$

$k = 2,35$

resulta:
$$\beta_{cN} = 270 \text{ kg/cm}^2$$

Como se observa, el hormigón del segundo ejemplo es de mejor calidad, pues su resistencia característica es mayor debido a la baja dispersión de los β_{wi} .

En la tabla de la figura I-4 se observan los valores de E_b – módulo de elasticidad longitudinal del hormigón – y los valores de β_{cM} – resistencia media cilíndrica – correspondientes a distintos valores de desviación δ para los hormigones más utilizados.

HUMERO DE ENSAYOS MENOS UNO	k
1.....	6,31
2.....	2,92
3.....	2,35
4.....	2,13
5.....	2,02
6.....	1,94
7.....	1,90
8.....	1,86
9.....	1,83
10.....	1,81
11.....	1,80
12.....	1,78
13.....	1,77
14.....	1,76
15.....	1,75
16.....	1,75
17.....	1,74
18.....	1,73
19.....	1,73
20.....	1,72
21.....	1,72
22.....	1,72
23.....	1,71
24.....	1,71
25.....	1,71
26.....	1,71
27.....	1,70
28.....	1,70
29.....	1,70
30.....	1,70
Mayor de 30.....	1,64

Figura I-3

		β_{c_n}						
		110	130	170	210	300	380	470
E_b		215.000	240.000	275.000	300.000	340.000	370.000	390.000
β_{c_m}	$\delta=0,25$	186	220	288	356	509	644	797
	$\delta=0,20$	164	193	253	313	446	566	699
	$\delta=0,15$	146	172	225	278	398	504	623
	$\delta=0,10$	132	155	203	251	359	454	562

ACERO PARA HORMIGÓN ARMADO

Ya se ha señalado que el hormigón posee una resistencia a la tracción relativamente reducida en comparación con su resistencia a la compresión. Como la mayoría de las estructuras que se construyen con hormigón se encuentran solicitadas por flexión, para compensar dicho déficit de resistencia se dispone, en las partes de las secciones sometidas a tensiones de tracción, barras de acero cuya misión es absorber dichos esfuerzos. Las barras que se utilizan comúnmente son de sección circular y los diámetros usuales son:

1) Barras de acero , sección circular, laminados en caliente

Es el denominado acero común, cuya designación es AL –22

- Resistencia a la tracción característica: $\sigma_{tk} \geq 3400 \text{ kg/cm}^2$
- Límite de fluencia característico: $\sigma_{tk} \geq 2200 \text{ kg/cm}^2$
- Alargamiento de rotura característico: $A_{10K} \geq 18 \%$

2) Barras de acero conformadas, de dureza natural

Su designación es ADN – 42. Este acero posee un límite de fluencia mayor que el acero común debido a una variación que se introduce en su composición química:

- Resistencia a la tracción característica: $\sigma_{tk} \geq 5000 \text{ kg/cm}^2$
- Límite de fluencia característico: $\sigma_{tK} \geq 4200 \text{ kg/cm}^2$
- Alargamiento de rotura característica: $A_{10K} \geq 12 \%$

3) Barras de acero conformadas, de dureza mecánica, laminadas en caliente y torsionadas o estiradas en frío

Las designaciones son ADM – 42 y ADM – 60, respectivamente; esta clasificación es función del límite de fluencia convencional de cada acero. A este acero se le efectúa un tratamiento de torsionado o estirado en frío de modo de aumentar su límite de fluencia, éste se adopta en forma convencional ya que estos aceros, al ser tratados, pierden su escalón de fluencia; el límite adoptado corresponde a una deformación permanente del 2 %.

4) Mallas de acero

La malla es un material compuesto por barras de acero lisas o conformadas, dispuestas en dos capas formando ángulo recto, con todas sus uniones soldadas por el proceso de soldadura eléctrica, que se suministran en paneles o rollos.

En general, se presentan mallas cuya disposición de barras forman cuadrados o rectángulos con separaciones que pueden ser de 50, 100, 150, 200, 250 y 300 mm.

Los diámetros de barras varían de 3 a 12 mm

Como nomenclatura, para cálculos y tablas, se utilizará la siguiente:

Acero BSt 22/34

Acero BSt 42/50

Acero BSt 50/55

Los números entre barras indican el límite de fluencia y la resistencia a tracción característico, respectivamente.