



DISEÑO DE HORMIGONES AUTOCOMPACTANTES (HAC)

Enero 2021

Basado en: “Directrices europeas para
hormigón autocompactante”





TEMARIO

- INTRODUCCION
- PROPIEDADES ESTRUCTURALES
- ESPECIFICACIONES
- COMPONENTES
- DOSIFICACION DE LA MEZCLA
- ELEMENTOS DE HORMIGON PREFABRICADO

DEFINICIÓN DE HAC:

Es un tipo innovador de hormigón que no requiere vibración alguna para su colocación y compactación. Fluye por su propio peso, ocupando completamente la forma del encofrado y alcanza una plena compactación, aún en presencia de densa armadura. Una vez endurecido es denso, homogéneo y tiene las mismas propiedades estructurales y vida útil que las de un hormigón compactado por vibración (de igual especificación).

INTRODUCCION



INTRODUCCION

PRODUCTIVIDAD – COSTO - CALIDAD

VENTAJAS DE HAC:

- Rápida adaptación al encofrado sin vibración.
- Reducción de problemas de construcción por densidad de armadura.
- Buen nivel de homogeneidad.
- Mínima porosidad y resistencia constante.
- Excelentes niveles de acabado.
- Rápido desarrollo de resistencias (A/C bajas)
- Uso de las estructuras en menor tiempo.

INTRODUCCION

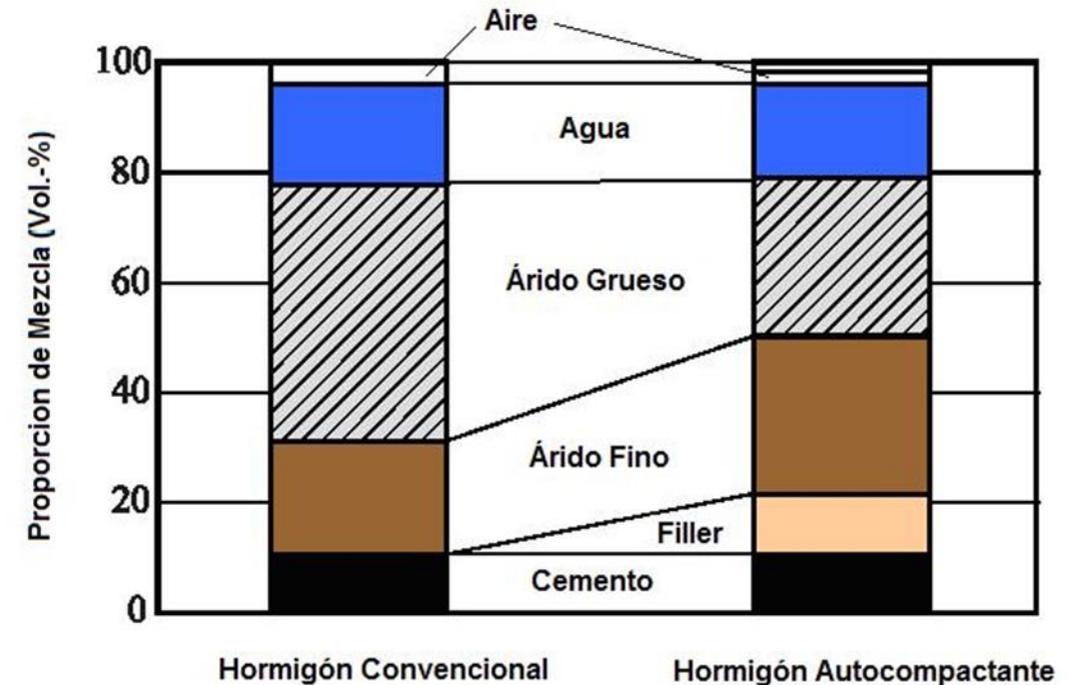
USOS DE HAC:

- Estructuras con alto contenido de armadura.
- **Elementos prefabricados.**
- Pisos industriales planos.
- Tanques.
- Presas.
- Túneles.
- Losas.
- Columnas.
- Paredes de hormigón que requieren excelentes niveles de acabado

PROPIEDADES ESTRUCTURALES

HAC: PROPIEDADES MAS RELEVANTES

- Resistencia a compresión.
- Resistencia a tracción.
- **Módulo de elasticidad. (ojo)**
- Fluencia. (poro
- Retracción.
- Coeficiente de dilatación térmica.
- Adherencia a las armaduras.
- **Resistencia al cortante en juntas frías. (ojo)**
- Resistencia al fuego.
- Durabilidad. (bajas A/C)



ESPECIFICACIONES HAC

La capacidad de relleno (cero vibración) y la estabilidad del hormigón (sin segregación) autocompactante fresco se define por 4 características principales:

Característica	Métodos de ensayo idóneos
Flujo	Ensayo de asentamiento
Viscosidad (calculada según la relación de flujo)	T_{500} , ensayo de asentamiento o ensayo del embudo en V
Capacidad de paso	Ensayo de la caja en L
Segregación	Ensayo de resistencia a la segregación

Objetivo: Obtener un diseño equilibrado.

ESPECIFICACIONES HAC

REQUISITOS BASICOS:

- Tipo de resistencia a la compresión.
- Tipo de ambiente o exposición. ACI 318-19
 - Valores límites de composición,
 - Máxima relación A/C,
 - Contenido mínimo de cemento.
- Tamaño máximo de los áridos.
- Clasificación según el ensayo de asentamiento. Diámetro nominal a alcanzar.

ESPECIFICACIONES HAC

Table 19.3.2.1—Requirements for concrete by exposure class

Exposure class	Maximum <i>w/cm</i> ^[1,2]	Minimum <i>f_c'</i> , psi	Additional requirements			Limits on cementitious materials	
			Air content				
F0	N/A	2500	N/A			N/A	
F1	0.55	3500	Table 19.3.3.1 for concrete or Table 19.3.3.3 for shotcrete			N/A	
F2	0.45	4500	Table 19.3.3.1 for concrete or Table 19.3.3.3 for shotcrete			N/A	
F3	0.40 ^[3]	5000 ^[3]	Table 19.3.3.1 for concrete or Table 19.3.3.3 for shotcrete			26.4.2.2(b)	
			Cementitious materials ^[4] — Types			Calcium chloride admixture	
			ASTM C150	ASTM C595	ASTM C1157		
S0	N/A	2500	No type restriction	No type restriction	No type restriction	No restriction	
S1	0.50	4000	II ^{[5][6]}	Types with (MS) designation	MS	No restriction	
S2	0.45	4500	V ^[6]	Types with (HS) designation	HS	Not permitted	
S3	Option 1	0.45	4500	V plus pozzolan or slag cement ^[7]	Types with (HS) designation plus pozzolan or slag cement ^[7]	HS plus pozzolan or slag cement ^[7]	Not permitted
	Option 2	0.40	5000	V ^[8]	Types with (HS) designation	Ⓡ HS	Not permitted
			None				
W0	N/A	2500	None				
W1	N/A	2500	26.4.2.2(d)				
W2	0.50	4000	26.4.2.2(d)				
			Maximum water-soluble chloride ion (Cl ⁻) content in concrete, percent by mass of cementitious materials ^[9,10]		Additional provisions		
			Nonprestressed concrete	Prestressed concrete			
C0	N/A	2500	1.00	0.06	None		
C1	N/A	2500	0.30	0.06			
C2	0.40	5000	0.15	0.06	Concrete cover ^[11]		

ESPECIFICACIONES HAC

REQUISITOS ADICIONALES:

- Valor de la T_{500} del ensayo de asentamiento o el tiempo del ensayo del embudo en V.
- Tipo de capacidad de paso o, en casos especiales, un valor nominal a alcanzar.
- Tipo de resistencia a la segregación o, en casos especiales, un valor nominal a alcanzar.
- Requisitos de temperatura para el hormigón fresco.

ESPECIFICACIONES HAC



Ensayo de extensión de flujo.



Ensayo del embudo en V



Ensayo de la caja en L

ESPECIFICACIONES HAC

REQUISITOS EN ESTADO FRESCO:

- Condiciones de confinamiento relacionadas con la geometría del elemento a hormigonar, y de la cantidad, tipo y localización de las armaduras, embebidos, recubrimientos y huecos, etc.
- Ubicación de los equipos (p.e. bomba, vertido directo desde el camión hormigonera, cubilote, tolva)
- Métodos de colocación en obra (p.e. posición y cantidad de puntos de vertido)
- Métodos de acabado

ESPECIFICACIONES HAC

La clasificación para una especificación apropiada del HAC para cubrir estos requisitos, se caracterizan por:

- Clases de flujo

Ensayo de asentamiento SF 3 clases

- Viscosidad (medida de la velocidad de flujo)

Viscosidad VS o VF 2 clases

- Habilidad de paso (fluir sin bloqueo)

Capacidad de paso CP 2 clases

- Resistencia a la segregación

Resistencia a la segregación RS 2 clases

ESPECIFICACIONES HAC

Clase	T_{500}, s	Tiempo del ensayo del embudo en V en s
VS1/VF1	≤ 2	≤ 8
VS2/VF2	> 2	de 9 a 25

Clase	Asentamiento en mm
SF1	de 550 a 650
SF2	de 660 a 750
SF3	de 760 a 850

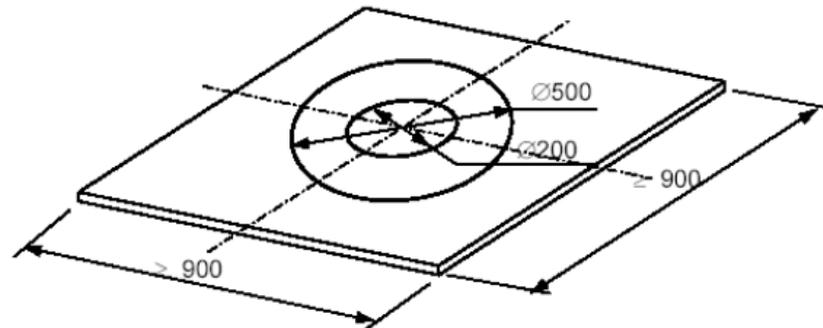
Clase	Capacidad de paso
PA1	$\geq 0,80$ con 2 obstáculos de barras
PA2	$\geq 0,80$ con 3 obstáculos de barras

Clase	Resistencia a la segregación (%)
SR1	≤ 20
SR2	≤ 15

ESPECIFICACIONES HAC

1.- Ensayo del escurrimiento (fluidez)

El valor del ensayo de asentamiento describe el flujo de una mezcla fresca y no confinada. Es un ensayo delicado que normalmente será especificado para todos los HAC, como ensayo inicial de que la consistencia del hormigón fresco cumple con las especificaciones.



ESPECIFICACIONES HAC

SF1 (550 – 650 mm): estructuras en masa o poca densidad de armaduras: losas de cimentación o pavimentos: encofrados de túneles, pilares y algunas cimentaciones profundas.

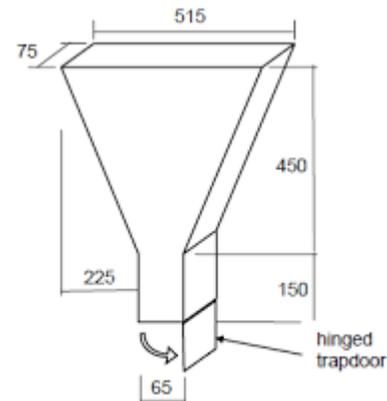
SF2 (660 – 750 mm): muros, pilares.

SF3 (760 – 850 mm): áridos (menor de 16 mm). Se usa para aplicaciones verticales en estructuras muy armadas, estructuras de formas complejas, o rellenos bajo los encofrados. El SF3 da normalmente un mejor acabado superficial que el SF2 para aplicaciones verticales pero la segregación es más difícil de controlar.

ESPECIFICACIONES HAC

2.- Viscosidad

La viscosidad puede ser estimada a partir del tiempo T50 durante el ensayo de asentamiento o calculada mediante el tiempo de flujo del embudo en V. El tiempo obtenido no mide la viscosidad del HAC pero está relacionado con éste describiendo el índice de flujo.



ESPECIFICACIONES HAC

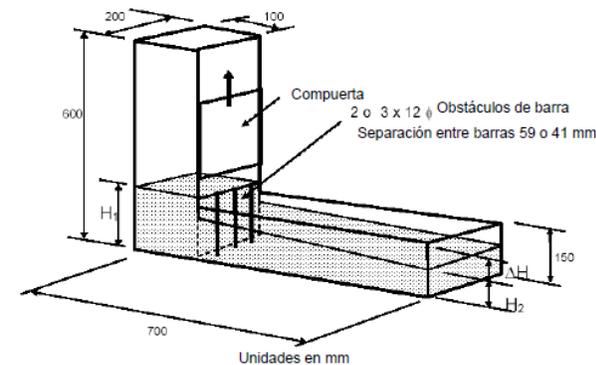
VS1/VF1 Tiene una buena capacidad de llenado aún con alta densidad de armaduras. Es capaz de autonivelarse y generalmente tiene mejor acabado superficial. Aún así, es más propenso a presentar exudación y segregación.

VS2/VF2 Con el aumento del tiempo de flujo es más probable que presente efectos de tixotropía: limita la presión a los encofrados y mejora la resistencia a la segregación. Podemos experimentar efectos negativos en el acabado superficial (oquedades) o juntas frías por retrasos en la continuidad en la entrega.

ESPECIFICACIONES HAC

3.- Capacidad de paso

La capacidad de paso describe la capacidad de la mezcla fresca de fluir a través de espacios confinados y aperturas estrechas así como zonas densamente armadas sin segregación, pérdida de uniformidad o bloqueo. En la definición de la capacidad de paso, es necesario considerar la geometría y la densidad de las armaduras, el flujo/capacidad de relleno y el tamaño máximo de los áridos.



ESPECIFICACIONES HAC

PA1 Estructuras con espaciamiento de 80 mm a 100 mm (p.e. edificación, estructuras verticales)

PA2 Estructuras con espaciamiento de 60 mm a 80 mm (p.e. estructuras de obra civil)

Nota: Para losas delgadas donde la separación sea mayor de 80 mm y otras estructuras donde la separación sea mayor de 100 mm no se requiere especificación alguna de la capacidad de paso.

ESPECIFICACIONES HAC

4.- Resistencia a la segregación.

La resistencia a la segregación es fundamental para la homogeneidad y calidad in situ del HAC. Éste puede sufrir segregación durante la colocación y también después de la aplicación y antes del fraguado. La segregación que se produzca después de la colocación será más perjudicial en elementos altos y en pavimentos, ya que ello puede producir defectos superficiales como fisuración o debilitar la superficie.



ESPECIFICACIONES HAC

SR1 Aplicable generalmente a losas esbeltas y para aplicaciones verticales con un recorrido de flujo menor de 5 metros y una separación de las armaduras mayor de 80 mm.

SR2 Recomendada para aplicaciones verticales si el recorrido de flujo es mayor de 5 metros y la separación de armado mayor de 80 mm en orden de prevenir la segregación durante el recorrido del flujo. Podrá usarse también en aplicaciones muy altas con una separación de armadura menor de 80 mm si la distancia de recorrido de flujo es menor de 5 metros, pero si la distancia de flujo es mayor de 5 metros se recomienda especificar un valor de SR menor en un 10%.



ESPECIFICACIONES HAC

Tiempo embudo-V (s).	9-25	Rampas		Pilares
	5-9		Muros	
	3-5		Pavimentos	
		470-570	540-660	630-800
		Escurrimiento (mm).		

Propiedades del HAC para distintos tipos de aplicaciones basado en Walraven, 2003



ESPECIFICACIONES HAC

Viscosidad				Resistencia a la segregación/ habilidad de paso
VS 2 VF 2	Rampas			Especificar SR para SF 3
VS 1 o 2 VF 1 o 2 o valor específico		Muros y pilares	Alto y esbelto	Especificar capacidad de paso para SF1 y 2
VS 1 VF 1	Pavimentos y losas			Especificar SR para SF2 y 3
	SF 1	SF 2	SF 3	
	Slump-flow			

Propiedades del HAC para distintos tipos de aplicaciones basado en Walraven, 2003



MATERIALES HAC

Cemento

Se pueden usar todos los cementos que cumplan con las especificaciones INEN 2380: GU, HE, HS.



Adiciones

Las adiciones hidráulicamente inertes o activas o puzolanas se usan a menudo para incrementar y mantener la cohesión y la resistencia a la segregación. Las adiciones regulan también el contenido de cemento para reducir el calor de hidratación y la retracción térmica.

TIPO 1	Inertes o seminertes	<ul style="list-style-type: none"> • Filler mineral (piedra caliza, dolomía etc.) • Pigmentos
TIPO 2	Puzolanas	<ul style="list-style-type: none"> • Cenizas volantes conforme la EN 450 • Humo de sílice conforme la PNE-prEN 13263
	Hidráulicamente activas	<ul style="list-style-type: none"> • Escoria granulada de alto horno <p>(Si no se emplea un cemento compuesto acorde a la norma UNE-EN 197-1, se aplicará la normativa nacional hasta que no se publique la nueva norma PNE-prEN 15167)</p>



MATERIALES HAC

Agregados

- Grueso: ASTM C33 / INEN 872
 - TMN: Está determinado por la separación de las armaduras.
 - Redondeado (mayor fluidez) o triturados.
- Fino: ASTM C33 / INEN 872
 - Natural (mas resistentes a segregación) o triturados.
 - Puede combinarse arenas para reducir el contenido de pasta.



Aditivos

- Superplastificante:
 - Permite llegar a la reducción de agua necesaria para un A/C determinado. Policarboxilatos los mas adecuados.
 - Produce el efecto de dispersión en la mezcla para alcanzar el flujo.
- Modificador de viscosidad: (no siempre necesario)
 - Modifican la viscosidad del HAC con la intención de evitar segregación.
 - Su uso depende de la combinación de agregados de la mezcla.



DOSIFICACION DE LA MEZCLA PARA HAC

Principios:

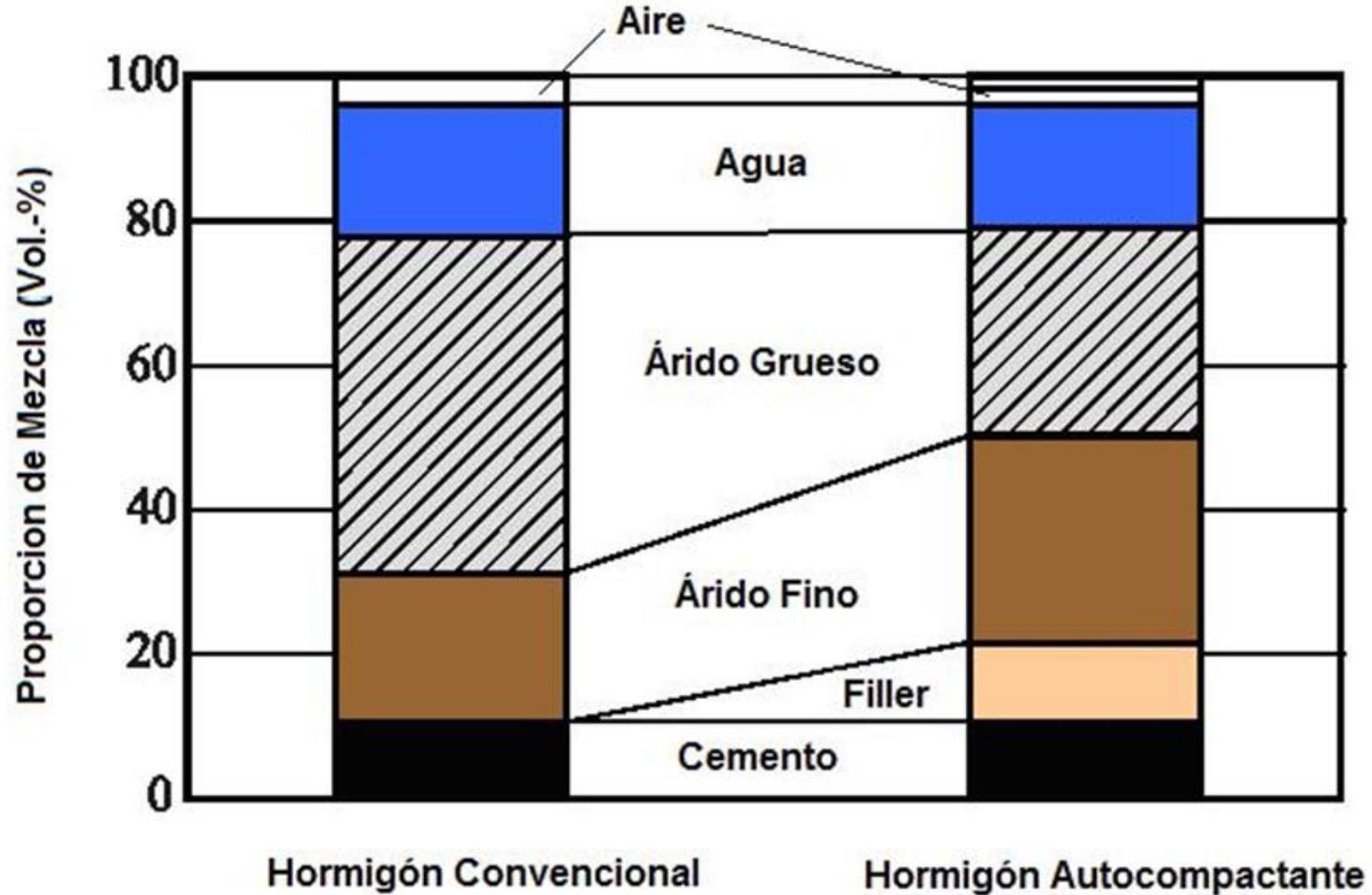
- Ajustar y hacer el balance de la fluidez y la viscosidad de la pasta mediante una selección y proporción estricta del cemento y las adiciones, limitando la relación agua / finos.
- Elegir adecuadamente un superplastificante y (opcionalmente) un aditivo modulador de viscosidad.
- La clave para conseguir una buena capacidad de llenado, capacidad de paso y resistencia a la segregación es controlar correctamente estos componentes del HAC, su compatibilidad e interacciones.

DOSIFICACION DE LA MEZCLA PARA HAC

Diferencias respecto a hormigón convencional:

- Menor contenido de áridos gruesos
- Mayor contenido de pasta
- Menor relación agua / finos
- Aumento de superplastificante
- Opcionalmente aditivos moduladores de viscosidad

DOSIFICACION DE LA MEZCLA PARA HAC



DOSIFICACION DE LA MEZCLA PARA HAC

Diseño básico de mezcla:

- No existe un método normalizado para diseño de mezclas de HAC. Instituciones académicas, fabricantes de aditivos, empresas de premezclado, prefabricadores y contratistas han diseñado su propio método.
- Curvas granulométricas óptimas.
- Optimización de la fluidez y estabilidad de la pasta.

DOSIFICACION DE LA MEZCLA PARA HAC

Componente	Rango típico por masa (kg/m ³)	Rango típico por volumen (litros/m ³)
Finos	380 – 600	
Pasta		300 – 380
Agua	150 – 210	150 – 210
Áridos gruesos	750 – 1000	270 – 360
Áridos finos (arenas)	El volumen de otros constituyentes es usualmente un 45 – 55% del peso total de los áridos en dosificaciones equilibradas.	
Relación agua / finos por volumen		0.85 – 1.10

- Tabla muestra el rango usual de cada componente.
- La prueba específica determina la cantidad de cada componente.
- El punto de partida podría basarse en experiencias con hormigón convencional.

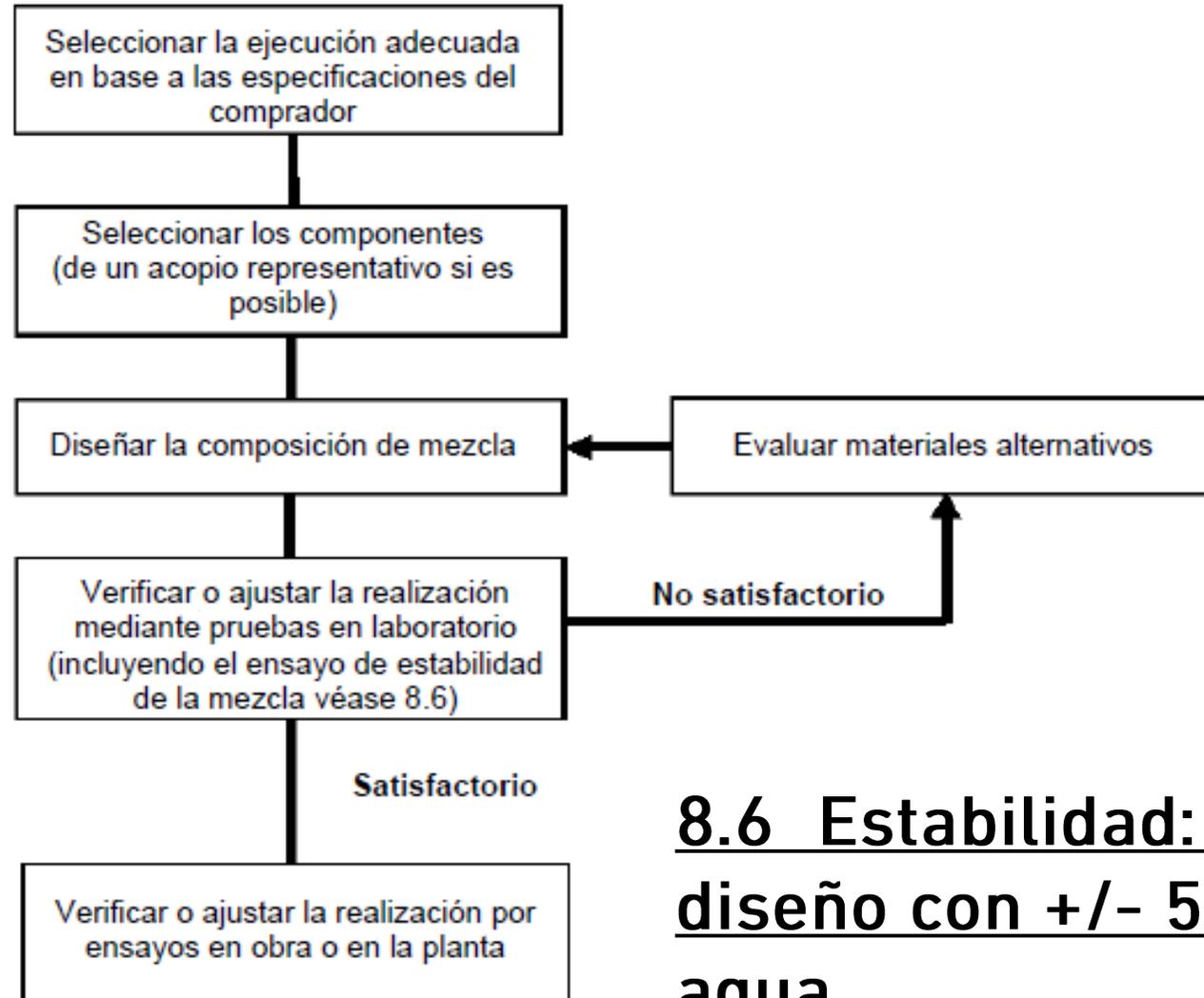
DOSIFICACION DE LA MEZCLA PARA HAC

F'c	350	Kgcm2	28 días
F'c	262,5	Kgcm2	7 días
Fluidez	SF2 (660 - 750 mm):		
Viscosidad	VS1		
Capacidad de paso	PA2		
Resistencia a la segregación	SR2		

MATERIAL	UNIDAD	CANTIDAD	DENSIDAD	VOLUMEN DE AGREGADOS (m3)	VOLUMEN (m3)	BATCH (M3)	HUMEDAD ABSORCION	HUMEDAD NATURAL	CORRECCION AGUA	CORRECCION HUMEDAD	
						7,00	%	%	Kg	Kg	
Cemento ATENAS GU	Kg	400,0	2900		0,138	2800,0				2800,0	Proporción agregados
Arena Natural	Kg	918,1	2510		0,366	6426,5	1,72%	6,380%	299,5	6726,0	54%
Piedra 12mm	Kg	704,2	2260	0,677	0,312	4929,2	1,52%	0,550%	-47,8	4881,3	46%
Agua	Kg	160,0	1000		0,160	1120,0			251,7	868,3	
Policarboxilato	1,00%	4,0	1100		0,004	28,0				28,0	
Modificador	0,30%	1,2	1100		0,001	8,4				8,4	
Aire	2,00%				0,020						
		2187,4			1,000	15303,6				15312,0	
A/C	0,400										
					Aire real				Rendimiento real		
					Peso hormigón				→		
					Volumen				→		
					Densidad						
Observaciones:	Slump inicial		cm								
	Slump 0:30		cm								
	Slump 1:00		cm								
									Eficiencia	0,00%	

DOSIFICACION DE LA MEZCLA PARA HAC

Proceso de diseño



8.6 Estabilidad: probar el diseño con +/- 5 y 10 lts de agua

ELEMENTOS PREFABRICADOS CON HAC



ELEMENTOS PREFABRICADOS CON HAC



CLASIFIQUE LA SIGUIENTE MEZCLA HAC



