

ÍNDEX

1. INTRODUCCIÓ	5
2. ORIGEN I EVOLUCIÓ DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE	6
3. DEFINICIÓ I CARACTERITZACIÓ DEL CONCEPTE DE FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE	9
4. TIPIFICACIÓ	11
5. COMPONENTS BÀSICS DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE	13
5.1. Ciment	14
5.2. Aigua	14
5.3. Àrids	15
Fillers.....	16
Arenes.....	16
Graves.....	17
5.4. Addicions	17
Cendres volants	17
Fum de sílice.....	18
5.5. Additius.....	18
5.6. Altres addicions	19
6. DOSIFICACIONS	19
7. ELABORACIÓ I TRANSPORT DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE	22
8. POSADA EN OBRA DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE	23
9. CURAT DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE.....	24
10. CONTROL DE QUALITAT DELS FORMIGONS AUTOCOMPACTABLES.....	25

10.1.	Caracterització de la fluïdesa mitjançant l'assaig d'escorriment. UNE 83361.....	25
	Equipament necessari per realitzar l'assaig.....	26
	Procediment.....	26
	Interpretació dels resultats.....	27
10.2.	Determinació del temps de fluxe mitjançant l'assagis de l'embut en V. UNE 83364	28
	Equipament necessari per realitzar l'assaig.....	28
	Procediment.....	29
	Interpretació dels resultats.....	30
10.3.	Caracterització de la fluïdesa en presència de barres mitjançant el mètode de la caixa en L. UNE 83363	30
	Equipament necessari per realitzar l'assaig.....	31
	Procediment.....	32
	Interpretació dels resultats.....	33
10.4.	Caracterització de la fluïdesa en presència de barres mitjançant l'Assaig de l'escorriment amb l'anell japonès. UNE 83362.....	33
	Equipament necessari per realitzar l'assaig.....	34
	Procediment.....	35
	Interpretació dels resultats.....	36
10.5.	Altres assaigs no normalitzats.....	36
	Assaig de caixa en U	36
	Assaig de la caixa de reomplert.....	37
	Assaig "Orimet"	37

Assaig d'estabilitat de tamís GTM.....	38
11. CARACTERÍSTIQUES MECÀNIQUES DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE	38
11.1. Resistència de càlcul del formigó	38
Compressió.....	38
Tracció	39
Esforç tallant	39
11.2. Adherència entre formigó i acer.....	39
11.3. Mòdul de deformació longitudinal del formigó	39
11.4. Retracció del formigó.....	40
Retracció plàstica.....	40
Retracció endògena	40
Retracció tèrmica	41
Retracció per secat	41
11.5. Fluència del formigó	41
12. AVANTATGES I INCONVENIENTS DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE	42
12.1. Durabilitat	42
12.2. Econòmia i rendiment de producció	44
12.3. Inconvenients	45
13. BIBLIOGRAFIA	45

1. INTRODUCCIÓ

El formigó autocompactable es pot definir com aquell formigó que te capacitat de fluir a l'interior d'un encofrat, omplint-lo de forma natural, passant entre les barres de l'armadura i altres impediments de l'encofrat i compactant-se només sota l'acció del seu propi pes. A més a més la composició d'aquest formigó ha d'esser el suficientment homogènia perquè després de la seva posta en obra, no presenti segregació dels seus components i mantingui totes les seves característiques. Es pot trobar habitualment per les seves sigles, *FAC -Formigó autocompactable* en català- o *HAC en espanyol* o *SCC de Self-compacting concrete* en angles

Per tal de poder oferir tots aquests avantatges, es necessari que el formigó autocompactable o FAC en estat fresc presenti una sèrie de característiques que li permetin oferir les prestacions necessàries. Entre les principals propietats es troben: alta fluïdesa o capacitat de reompliment, suficient viscositat i cohesió entre els components per tal de garantir un flux continu i uniforme, habilitat de pas i estabilitat davant la segregació, en nivells molt superiors als del formigó tradicional.

Com a principals avantatges del FAC en front al formigó convencional, en destaquen:

- Disminució de les despeses de personal i equips, i reducció en gran mesura dels terminis d'execució al no dependre del vibrat per la seva posta en obra. Els temps de posta en obra es poden reduir entre un 20 i un 40% depenent de la complexitat de l'obra.
- Disminució de la dependència de la formació i experiència dels operaris per manipular, abocar i vibrar el formigó, amb el que operaris sense experiència utilitzant FAC poden obtenir acabats molt mes depurats que els qualificats amb formigó tradicional Per tant, augment de la possibilitat de realitzar projectes més complexes i exigents tan en disseny de l'objecte a formigonar com de l'armat que contingui. El no dependre del vibrat per garantir la qualitat i durabilitat del formigó fa que sigui el tipus de formigó ideal per elements resistents amb altes exigències
- Reducció de sorolls i riscos derivats de l'eliminació del vibrat i manipulació.
- Millora de les condicions ambientals i eliminació dels riscos laborals imputats a la compactació, pel que fa als aspectes relatius a l'ambient de treball i salut laboral.

Amb aquesta monografia doncs es pretén fer un recull de tota aquella informació important relacionada amb el formigó autocompactable o FAC. D'una manera ordenada i esquematitzada, es descriuen les diferents característiques i propietats del formigó autocompactable, així com també els assajos que s'empren .

Aquest document, permetrà introduir o aprofundir sobre el tema descrit i servirà de consulta per tots aquells interessats.

2. ORIGEN I EVOLUCIÓ DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE

El formigó és un dels materials de construcció que s'ha utilitzat des de l'època de l'Imperi Romà i la millora de les seves característiques ha evolucionat de forma lenta fins a dia d'avui.

No obstant, durant els darrers 60 anys la indústria del formigó a experimentat notables avenços que han anat millorant les característiques i rendiments de les estructures construïdes amb aquest material.

A partir de mitjans dels anys 60, es van començar a utilitzar fluïdificants, derivats de processos industrials de la fabricació del paper. Amb aquests, s'aconseguia una reducció acceptable de l'aigua de pastar i per tant millorar la seva consistència i treballabilitat sense necessitat d'afegir aigua d'amasat, però a la vegada comportaven efectes secundaris negatius com el retardament del fraguat i altres. És una època en que es treballava amb formigons de consistència seca i això feia que la seva col·locació a l'obra fos lenta i laboriosa, fet que produïa grans errors d'execució i per tan la millora de la consistència era una tasca important en la recerca del formigó.

Procedents del Japó i Alemanya, als anys 70 es comencen a utilitzar superfluïdificants,. Els resultats del seu ús són bons i s'aconsegueix reduir de forma important la relació aigua-ciment, i millorar de forma substancial la consistència del formigó sense els efectes negatius de generacions anteriors de fluidificants, millorant per tant la qualitat del formigó i per tant la de l'execució.

No obstant, la gran fita aconseguida en aquest temps és l'aparició a finals dels anys 80 dels superfluidificants i les addicions que permeten desenvolupar el formigó autocompactable. Amb aquest s'obre les portes a un nou estil de construcció amb formigó que es caracteritza per augmentar la seguretat d'una correcta posada en obra, la durabilitat de l'estructura i la seguretat i salut del treballador, fet que millora els inconvenients diversos del formigó convencional.

L'origen del concepte de formigó autocompactable es remunta al Japó dels anys 80, zona on l'alt risc de moviments sísmics condiciona estructures amb una alta densitat d'armadures. A aquest fet, que per si mateix ja genera grans dificultats d'execució, se li suma, entre altres, el fet que la major part del territori es caracteritza per tenir un ambient marítim i per la reducció gradual de la mà d'obra especialitzada, punt molt important ja que una bona formulació del formigó pot perdre totes les seves propietats per una incorrecta posta en obra.

Davant d'aquests fets, que influeixen de forma negativa en la durabilitat del formigó, es promou la necessitat d'investigar nous formigons amb l'objectiu de trobar un producte on la seva qualitat no depengui de la seva posta en obra, sinó que simplement quedi garantida des del moment del seu disseny.

Habitualment tot el formigó utilitzat en construcció és del tipus convencional i per tant és necessari l'ús de mitjans de compactació durant el procés de posta en obra del mateix, generalment mitjançant l'ús de vibrador d'agulla en el moment en que s'aboca a la zona de formigonat, per tal d'aconseguir compacitats compatibles amb la resistència i durabilitat requerides.

Aquest mètode comporta que una mala execució del vibrat produeixi situacions de manca d'uniformitat en la vibració o una manca de compactació general i que depèn directament de la habilitat de l'operari que l'ha de portar a terme o de les condicions en que aquest ho ha de fer, que no sempre són les òptimes per fer-ho. Dificultat d'accés, treballs en posicions incòmodes o falta de mesures de seguretat condicionaran la forma en que el treballador porti a terme aquesta tasca i per tan, condiciona la qualitat del formigó final.

Així mateix, cal tenir en compte els inconvenients que en matèria de seguretat i salut es produeixen durant la posta en obra del formigó, i que pot produir malalties professionals en els operaris que tenen un contacte directe amb cert equipament, com ara la vibració transmesa a l'operari per part del vibrador emprat en obra, que pot donar lloc a una dolença denominada "dits blancs" ("white finger syndrom"), o, els propis sorolls generats pels equips de compactació ja siguin vibradors d'agulla o taules vibradores, que en general resulten perjudicials pels treballadors i persones alienes.

Per evitar aquests problemes, el professor Okamura de la Universitat de Kochi a Tokio, va introduir el concepte de Formigó Autocompactable l'any 1986.

Ozawa i Maekawa, també de la Universitat de Tokio, desenvolupen dos anys més tard aquest concepte i apareix el primer prototip. A més, Ozawa, a l'any 1989, introdueix el concepte de "Self-compacting Concrete" al "Congrés d'Enginyeria Estructural de East Asia", a Singapur, obrint una nova porta a la tecnologia del formigó.

La utilització del formigó autocompactable es va estenent per la resta d'Àsia i a principis dels anys 90 arriben al nord d'Europa a través dels països escandinaus aprofitant el desenvolupament de les noves tecnologies dins del món dels additius d'alt rang per formigons.

Així va néixer el formigó autocompactable, configurant-se com una alternativa innovadora, que a més de presentar una sèries d'avantatges en estat fresc (fluïdesa, cohesió, viscositat, homogeneïtat, treballabilitat,...) ofereix unes excel·lents propietats en estat endurit (resistència, durabilitat,...) millorant les condicions de treball (treballs de compactació, soroll,...) i la productivitat.

No obstant, aquest material es va trobar amb un obstacle important en front als formigons tradicionals: la manca de mètodes d'assaig, procediments de dosificació o mètodes d'acceptació i rebuig en obra específics per aquest tipus de formigó, va fer que es frenés lleugerament la seva implantació.

Des de la seva invenció s'han realitzat diversos Congressos Internacionals i es va crear un grup de treball dins del Comitè Europeu de Normalització per programar la normalització del mateix formigó autocompactable i dels seus corresponents mètodes d'assaig.

Actualment, més del 25% de la producció europea de formigó és d'aquest tipus, principalment en la indústria dels prefabricats. Els països nòrdics i Holanda són els que més l'utilitzen dins d'aquest continent, arribant a produccions del 80%. No obstant, països com Alemanya, Bèlgica, Espanya, França i Itàlia el seu desenvolupament s'està iniciant. Pel que fa a USA, aquest producte va ser introduït a finals del segle XX i el seu creixement de producció ha set molt notable, especialment en la prefabricació.

De forma concloent es pot dir que el concepte d'autocompactabilitat ha revolucionat el món de la tecnologia del formigó i, tenint en compte que avui en dia les exigències de qualitat i durabilitat del formigó, així com la seguretat en la construcció, augmenten progressivament, la implantació d'aquest es convertirà en un dels avenços més importants dins la indústria del formigó.

3. DEFINICIÓ I CARACTERITZACIÓ DEL CONCEPTE DE FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE

El formigó autocompactable, FAC, es defineix com un formigó que, com a conseqüència d'una dosificació estudiada i d'emprar additius superplastificants específics, es compacta per l'acció del seu propi pes, sense necessitat d'energia de vibració ni de qualsevol altre mètode de compactació, no presentant segregació, bloqueig de l'àrid gruixut, sangrat ni exsudació de la lletada. En general la prestació d'autocompactació, afegeix a les propietats del formigó convencional, la propietat de l'autocompactabilitat descrita anteriorment.

Els FAC estan definits i normalitzats actualment per la EHE-08 i se'n fa un tractament específic a l'annex 17 de l'esmentada normativa.

Les característiques principals que ha de reunir un Formigó autocompactant son:

- Elevada fluïdesa, que l'ha de permetre fluir lliurement per tot l'encofrat sense ajudes externes.
- Elevada resistència a la segregació. La massa ha de mantenir l'homogeneïtat tant en si mateixa com després del pas a través de l'armat durant el procés de posta en obra
- Alta viscositat plàstica que l'ha de permetre fluir per l'acció del seu propi pes, que li permeti córrer per l'encofrat, acomodant-se a la forma del mateix i a l'armat que comporta.
- Deformabilitat en estat fresc que el permeti adaptar-se i recobrir perfectament per obtenir uns acabats perfectes del paraments vistos.

L'alta fluïdesa que presenten aquests formigons és tan gran que els mètodes d'assajos tradicionals corresponents han quedat obsolets tenint-ne que adaptar de nous. No obstant, aquesta elevada fluïdesa no ha de suposar un augment de la segregació o exsudació. En tot moment la massa ha de mantenir la homogeneïtat des de la seva fabricació fins la posada en obra.

La viscositat i la cohesió que presenten, eviten la segregació dels seus components garantint d'aquesta manera deformacions uniformes durant la col·locació i que no es bloquegi en el seu pas a través de les armadures.

A més els formigons autocompactables han de garantir que els efectes derivats de la generació de calor, enduriment o retracció per fraguat siguin mínims i que la permeabilitat del formigó enfront a la penetració de l'oxigen, clorurs i aigua siguin també mínims, fet que obligarà a l'ús de continguts ajustats del ciment i relacions d'aigua/ciment baixes.

Totes aquestes característiques bàsiques han de mantenir un equilibri entre elles encara que, en un principi, algunes com són fluïdesa i cohesió presentin cert antagonisme. Aquest equilibri s'aconsegueix amb la utilització d'additius superplastificants de darrera generació; i amb una adequada i cuidada formulació es mantindrà aquest equilibri durant el temps de fabricació, transport i posta en obra.

Entre el formigó convencional i el formigó autocompactable existeixen característiques reològiques significativament diferents que provenen de que la microestructura i les interfases àrid – pasta són més denses en un formigó autocompactable que en un convencional amb la mateixa relació aigua/ciment; i que la permeabilitat a clorurs i gasos en el primer formigó és menor que en els convencionals; i l'adherència entre el formigó i les barres d'armadures, en el cas de formigons autocompactables, és millor.

No obstant, degut a un major contingut de pasta en el cas de formigons autocompactables, és d'esperar un increment de la sensibilitat a l'hora del curat, que pot dur a fissuracions per retracció plàstica en elements horitzontals de caràcter superficial (lloses, paviments, etc) si no es porta a terme correctament. A més per les seves característiques, el mòdul de deformació és més baix i la retracció endògena en formigons autocompactables d'alta resistència és més elevada.

Donat que un formigó autocompactable no pot ésser caracteritzat pels mitjans habituals amb que es caracteritzen els formigons tradicionals s'han d'emprar mitjans específics i que venen definits actualment per les següents normes que permeten avaluar les prestacions dels material en termes de fluïdesa, mitjançant assaigs d'escorriments descrits en la UNE 83.361, d'escorriments en embut en V, segons UNE 83.364, resistència al bloqueig, mitjançant assaigs de l'escorriments amb anella J, segons UNE 83.362 o mitjançant assaigs de la Caixa en L, segons UNE 83.363 i de resistència a la segregació. Aquests assaigs es descriuen amb més detall a l'apartat de Control de qualitat.

4. TIPIFICACIÓ

En general, per parlar d'un formigó autocompactable, s'haurà de tenir en compte allò que estableix la taula A17.2 de l'annex 17 de la EHE-08, sobre els requisits generals per la autocompactabilitat.

Requisits generals per la autocompactabilitat.

Assaig	Paràmetre mesurat	Rang admissible
Escorriments	T_{50}	$T_{50} \leq 8 \text{ seg}$
	d_f	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 850 \text{ mm}$
Embut en V	T_V	$4 \text{ seg} \leq T_V \leq 20 \text{ seg}$
Caixa en L	C_{bL}	$0,75 \leq C_{bL} \leq 1,00$
Escorriments amb anella J	d_{Jf}	$\geq d_f - 50 \text{ mm}$

Els formigons autocompactables hauran de mantenir les característiques de autocompactabilitat durant un període de temps, denominat com "temps obert", que sigui suficient per a la seva posta en obra correcta en funció de les exigències operatives i ambientals del projecte. Per a la determinació del "temps obert" es poden utilitzar els assaigs de caracterització indicats anteriorment, comparant el resultat de diverses repeticions del mateix assaig realitzades consecutivament amb la mateixa mostra.

A l'hora de tipificar els formigons autocompactables s'ha de tenir present que aquesta és anàloga a la del formigons convencionals, de forma que en lloc d'emprar la sigla C de la consistència s'utilitzen les sigles AC. Article 39.2 de l'Annex 17 EHE 08.

D'aquesta manera, la tipificació del formigó és la següent:

	T: Tipus de formigó
T-R/AC/Tm/A	R: resistència característica del formigó
	AC: classificació en funció dels resultats dels assajos d'autocompactabilitat
HA-35/AC/20/IIIa	Tm: grandària màxima de l'àrid
	A: classe d'ambient

Alternativament, es podrà definir l'autocompactabilitat mitjançant la combinació de les classes corresponents a l'escorrimt (AC-E), viscositat (AC-V) i resistència al bloqueig (AC-RB), d'acord amb la següent expressió:

$$T-R/(AC-E+AC-V+AC-RB)/TM/A$$

On T, M, TM i A tenen el mateix significat que l'apartat anterior i AC-E, AC-V i AC-RB, representen les classes corresponents d'acord amb les taules següents.

Classes d'escorrimt

Clase	Criteri segons UNE 83361
AC-E1	$550 \text{ mm} \leq d_f \leq 650 \text{ mm}$
AC-E2	$650 \text{ mm} < d_f \leq 750 \text{ mm}$
AC-E3	$750 \text{ mm} < d_f \leq 850 \text{ mm} (*)$
* d_f representa l'escorrimt de l'assaig segons UNE 83361	

Classes de viscositat

Classe	Criteri per l'assaig d'escorrimt, segons UNE 83.361	Criteri alternatiu per l'assaig de l'embut en V, segons UNE 83.364
AC-V1	$2,5 \text{ seg.} < T_{50} \leq 8 \text{ seg.}$	$10 \text{ seg.} < T_v \leq 20 \text{ seg.}$
AC-V2	$2 \text{ seg.} < T_{50} < 8 \text{ seg.}$	$6 \text{ seg.} < T_v \leq 10 \text{ seg.}$
AC-V3	$T_{50} \leq 2 \text{ seg.} (*)$	$4 \text{ seg.} \leq T_v \leq 6 \text{ seg.}$

Classes de resistència al bloqueig

Classe	Exigència de la característica	Criteri per l'assaig de l'anell J, segons UNE 83362 (*)	Criteri per l'assaig de caixa en L, segons UNE 83363
AC-RB1	Exigible quan la mida màxima de l'àrid sigui superior a 20 mm o l'espessor dels buits pels quals passi el formigó estigui compresa entre 80 i 100 mm	$d_{Jf} \geq d_f - 50 \text{ mm}$, amb una anella de 12 barres	$\geq 0,80$, amb 2 barres
AC-RB2	Exigible quan la mida màxima de l'àrid sigui igual o inferior a 20 o l'espessor dels buits pels quals passi el formigó estigui compresa entre 60 i 80 mm	$d_{Jf} \geq d_f - 50 \text{ mm}$, amb una anella de 20 barres	$\geq 0,80$, amb 3 barres
* d_{Jf} , representa l'escorrimt en l'assaig d'anella J segons UNE 83362.			

En el cas que el formigó hagi de passar per zones amb espessors inferiors a 60 mm, s'haurà d'analitzar el comportament experimentalment, dissenyant elements que permetin valorar la resistència específica al bloqueig per al cas concret.

En general, es considera la classe d'autocompactabilitat AC-E1 com la més adequada per a la major part dels elements estructurals que es construeixen habitualment. En particular es recomana el seu ús en els següents casos:

- estructures no molt fortament armades
- estructures en les quals l'ompliment dels encofrats és senzill, el formigó pot passar per buits amplis i els punts d'abocament del mateix no exigeix que es desplaci distàncies horitzontalment llargues en l'interior de l'encofrat.
- elements estructurals en els quals la superfície no encofrada se separa lleugerament de l'horitzontal

Per la seva part, es recomana la classe d'autocompactabilitat AC-E3 en els següents casos:

- Estructures molt fortament armades.
- Estructures en els que l'ompliment dels encofrats és molt difícil, el formigó ha de passar per buits molt petits i els punts d'abocament del mateix exigeixen que es desplaci horitzontalment distàncies molt llargues en l'interior de l'encofrat.
- Elements estructurals horitzontals en els quals és molt important aconseguir l'autoanivellament del propi formigó.
- Elements estructurals molt alts, de gran esveltesa i molt fortament armats

5. COMPONENTS BÀSICS DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE

Els components del formigó autocompactable acostumen a ser els mateixos que els del formigó convencional, no obstant, les proporcions dels mateixos varien significativament, caracteritzant-se el formigó autocompactable, per un menor contingut d'àrids gruixuts, major contingut de fins i, en general, una menor grandària de l'àrid i una corba granulomètrica molt estudiada.

Com es desprèn de la definició, el formigó autocompactable ha de complir tres propietats intrínseques bàsiques. Per un costat la fluïdesa o habilitat de fluir sense ajuda externa i reomplir els encofrats; per un altre costat, oferir resistència al bloqueig o tenir habilitat per passar entre les

barres que componen l'armadura; i, per últim, donar estabilitat dinàmica i estàtica, o resistència a la segregació, permetent obtenir finalment una distribució uniforme de l'àrid en tota la seva massa.

Totes aquestes característiques bàsiques han de mantenir un equilibri entre elles, com ja s'ha anat comentant anteriorment. Per arribar a aquest objectiu és important una adequada formulació del formigó ja que implicarà que aquest equilibri es sustenti durant el període complet de transport i col·locació en obra.

5.1. Ciment

La condició d'autocompactabilitat s'aconsegueix gràcies a un alt contingut de fins. Inicialment el formigó autocompactable s'aconseguia exclusivament amb l'ús de ciment, el que donava lloc a mescles molt riques, en les que els fins del ciment assumien les condicions de viscositat requerides per evitar la segregació, però, que per altre costat, incrementaven els problemes associats a la inestabilitat durant el procés de d'endurit i la retracció derivada del procés

Amb els avenços obtinguts en les dosificacions dels FAC, amb l'ús d'àrids estudiats, addicions i aditius, els ciments emprats, han passat a tenir una importància relativa, essent utilitzables qualsevol dels ciments definits per la normativa vigent, la RC-08.

Només caldrà tenir en compte que quan s'utilitzin ciments per a usos especials específics per a formigó autocompactant que incloguin en la seva composició una quantitat d'addició complementària destinada exclusivament a dotar en formigó autocompactant de la quantitat de partícules fines (partícules que passen pel tamís 0'125 mm) necessària, les quantitats mínimes a emprar dels esmentats ciments seran tals que, després de deduir la quantitat d'addició complementària que continguin, compleixin amb les exigides a l'Article 37.3.2 d'aquesta Instrucció. A més, la quantitat d'addició complementària no es computarà als efectes d'obtenir la relació aigua/ciment, ni la quantitat màxima de ciment. Tant el valor màxim de la relació aigua/ciment, com la quantitat màxima de ciment compliran amb les especificacions incloses en l'Articulat de aquesta Instrucció.

5.2. Aigua

El contingut d'aigua de pastat ha de limitar-se per així poder prevenir els fenòmens d'exsudació, segregació i bloqueig de les graves al pas a través de les armadures. D'aquesta forma no es sobrepassaran quantitats d'aigua superiors als 200 l/m³ de formigó; ni tampoc es confeccionaran

formigons amb quantitats d'aigua per davall dels 160 – 170 l/m³ de formigó perquè continguts baixos d'aigua no ofereixen bons resultats.

A més d'aquesta limitació en el contingut d'aigua, cal tenir en compte que ha de guardar una relació amb el volum de fins i el volum de ciment. Aquesta segona relació, no obstant, ha passat a segon terme amb l'aparició de l'actual formigó autocompactable; sent més important la relació entre el volum de fins i el contingut d'aigua.

Pel que fa a la primera relació mencionada dir que, relacions volumètriques d'aigua/fins no poden ser inferiors a 0,9 ja que es generarien formigons massa cohesius, que necessiten molt volum per autocompactar-se; però tampoc poden ser superiors a l'1,05 perquè implicarien un elevat risc d'exsudació.

Pel que fa a la dosificació de l'aigua i el càlcul de la relació aigua/ciment s'ha de considerar la quantitat i el tipus d'addició. Encara que anteriorment s'hagi esmentat la idea que aquest punt havia passat a un segon pla, continua sent important a l'hora d'avaluar la durabilitat i resistència mecànica del formigó. A més, relacions extremadament baixes i sense prendre les precaucions addicionals pertinents, poden conduir a situacions problemàtiques des del punt de vista de la qualitat dels acabats.

És important prestar especial atenció a la humitat i la capacitat d'absorció dels àrids, i a més, que la utilització de moduladors de la viscositat redueixen la sensibilitat dels formigons autocompactables enfront a la sobreadicció d'aigua.

5.3. Àrids

La dimensió màxima de l'àrid per a formigons autocompactables ha de limitar-se a 25 mm, sent més recomanable dimensions màximes entre els 12 mm i els 20 mm, en funció de la disposició de les armadures.

Pel que fa a les característiques de les diferents tipologies d'àrids, els triturats tendeixen a millorar la resistència gràcies a l'enclavament de les partícules angulars, mentre que els àrids rodats milloren el flux com a conseqüència de la menor fricció interna.

Fillers.

Els "fillers" són àrids on la major part del mateix passa pel tamís de 0,063 mm i que s'obtenen després de tractar els materials dels que provenen.

Es consideraran correctes tots aquells fillers que provenen del mateix material que els àrids que compleixen les prescripcions específiques d'aquests. No obstant caldrà vigilar que la qualitat d'aquestes cendres sigui l'òptima ja que de no ser així podrien provocar taques negres a la superfície del formigó.

D'acord amb la Norma UNE EN 12620:2002, la granulometria del filler és la següent:

Dimensió del tamís (mm)	Percentatge que passa en massa
2	100
0,125	85 a 100
0,063	70 a 100

La EHE-08 recomana, exclusivament per al cas dels formigons autocompactants, que la quantitat resultant de sumar el contingut de partícules d'àrid fi que passen pel tamís UNE 0,063 i l'addició calcària, en el seu cas, del ciment no sigui major de 250 kg/m³ de formigó autocompactant. Per a l'emmagatzemament del filler s'utilitzaran mitjans similars als utilitzats per al ciment, havent d'utilitzar-se recipients o sitges impermeables que el protegeixin de la humitat i de la contaminació. La demanda d'aigua dels fins inerts que passen pel sedàs UNE 0,063 s'ha de compensar mitjançant l'ús d'additius superplastificants adequats que garanteixin el compliment de les relacions aigua/ciment per garantir d'aquesta manera la durabilitat.

Arenes.

En un principi no existeixen limitacions pel que fa a la naturalesa de l'arena, de forma que poden ser arenes triturades o rodades, o pel la seva composició, silícies o calcàries. No obstant sí que cal tenir en compte, pel que fa a la distribució de dimensions, que aquestes siguin contínues, sense talls en la seva granulometria i, preferentment, sense formes tallants, pròpies de les arenes silícies matxucades.

La quantitat d'arenes ha d'anar lligada amb la de grava, de forma que el 50-60% de la quantitat de l'àrid total vingui representat per arenes. Aquest interval de quantitat percentual respon a les

variacions que comporten la naturalesa de l'àrid, la quantitat d'addició en forma de pols mineral i ciment i les característiques de la grava.

És important, pel que fa a la reologia del formigó autocompactable, una certa aportació de fins per part de les arenes, aconseguint així una reducció de la demanda d'addició i ciment.

Graves.

Encara que no existeixen limitacions pel que fa a la naturalesa de les graves, aquest component serà el que més exigències rebrà en quan a materials que confeccionen el formigó autocompactable.

Pel que fa a la dimensió màxima de l'àrid, que guardarà relació amb la distància entre armadures, es limita a dimensions no superiors a 25 mm, ja que superar aquest valor implica un augment en el risc de bloqueig i segregació de la massa. No obstant, es recomana que el valor màxim no superi els 20 mm, sent més aconsellable que les dimensions màximes es trobin entre els 12 i 16 mm.

Pel que fa al coeficient de forma, aquest ha de ser el més baix possible ja que les graves rodades suposen assolir les millors propietats autocompactables sense bloquejos i una elevada fluència del formigó.

Tots els àrids hauran de complir el que estableix l'article 28 de la EHE-08 i la UNE-EN 12620.

5.4. Addicions

Les addicions son aquells materials inorgànics, putzolònics o amb propietats hidràuliques latents que molguts finament poden esser afegits al formigó amb la finalitat de millorar-ne alguna prestació o característica especial. La EHE-08 recull únicament l'ús de les cendres volants i del fum de sílice com a addicions al formigó en el moment de la seva fabricació.

Cendres volants

Les **cendres volants** són els residus sòlids que es recullen per precipitació electroestàtica o per captació mecànica de les pols que acompanyen als gasos de combustió dels cremadors de centrals termoelèctriques alimentades per carbons polvoritzats.

Fum de sílice

El **fum de sílice** és un subproducte que s'origina en la reducció de quars de elevada puresa amb carbó en forns elèctrics d'arc per a la producció de silici i ferrosilici.

Les addicions poden utilitzar-se com a components del formigó sempre que es justifiqui la seva idoneïtat per al seu ús, produint l'efecte desitjat sense modificar negativament les característiques del formigó, ni representar perill per a la durabilitat del formigó, ni per a la corrosió de les armadures.

Per utilitzar cendres volants o fum de sílice com addició al formigó, haurà d'emprar-se un ciment tipus CEM I. A més, en el cas de l'addició de cendres volants, el formigó haurà de disposar d'un distintiu de qualitat oficialment reconegut

L'ús de cendres i fum de sílice, d'acord amb la EHE-08 quedarà limitat pels següents paràmetres:

Ús	Formigó pretensat	Formigó armat	Formigó d'alta resistència
Addició			
Cendres volants CV	≤20% pes del ciment	≤35% del pes del ciment	FS+CV ≤ 20% pes del ciment
Fum de sílice FS	≤10% pes del ciment	≤10	≤10% del pes del ciment
La quantitat mínima de ciment haurà de complir els mínims de la taula 37.3.2 de la EHE			

Les cendres volants hauran de complir allò que estableix l'article 30.1 i estaran d'acord amb la norma UNE EN 450-1. El fum de sílice haurà de complir els límits de l'article 30.2 de la EHE-08 i la UNE-EN 13263-1.

5.5. Additius

L'ús d'un additiu superplastificant és requisit fonamental en el formigó autocompactant i, en ocasions, pot ser convenient l'ús d'un additiu modulador de la viscositat que minimitza els efectes de la variació del contingut d'humitat, el contingut de fins o la distribució granulomètrica, fent que el formigó autocompactant sigui menys sensible, quant a la propietat d'autocompactabilitat es refereix, a petites variacions en la qualitat de les matèries primeres i en les seves proporcions. La EHE-08 considera els següents tipus d'additius per formigons autocompactants:

Tipus d'additiu	Funció principal
Reductors d'aigua d'alta activitat / Superplastificants	Disminuir significativament el contingut d'aigua d'un formigó sense modificar la treballabilitat o augmentar significativament la treballabilitat sense modificar el contingut d'aigua.
Moduladors de la viscositat	Ajuden a aconseguir mescles adequades minimitzant els efectes de la variació del contingut d'humitat, el contingut de fins o la distribució granulomètrica dels àrids.

No obstant, abans d'utilitzar qualsevol dels dos additius s'haurà de conèixer la compatibilitat entre ells i amb el ciment, comprovant que les propietats reològiques no varien durant el temps previst per la posada en obra del formigó i estudiar les característiques mecàniques corresponents si cal realitzant assaigs previs.

Els additius compliran allò que estableix la Norma UNE EN 934-2.

5.6. Altres addicions

En formigons autocompactables on sigui important l'acabat superficial, serà important la utilització de desencofrant que no afecti l'acabat del formigó.

En aplicacions horitzontals serà imprescindible emprar curadors superficials adequats per poder conservar l'acabat correcte que proporciona el formigó autocompactable per la seva naturalesa.

Tanmateix, si existeixen deficiències en el contingut de fins es pot incorporar additius airejants a la mescla del producte final. A més, si es preveuen problemes derivats del fenomen de retracció es podran utilitzar les fibres d'acer o polipropilè, d'acord a la normativa vigent específica.

6. DOSIFICACIONS

Els Formigons autocompactables, és caracteritzen per la seva alta fluïdesa, falta de segregació i baix risc de bloqueig. Aconseguir aquests paràmetres depèn bàsicament de la dosificació dels components de la mescla. Per obtenir un formigó amb aquestes propietats existeixen els següents requisits bàsics en la formulació:

- Alt contingut de pasta de ciment, entre el 35 i el 40% del total del producte final
- Contingut de fins (< 0,1 mm) entre 500 i 550 kg/m³

- Relació aigua/fins en volum entre el 0,9 i l'1,5
- Utilitzar corbes d'àrids contínues amb els mínims talls possibles i amb un adequat coeficient de forma.
- Grandària màxima de l'àrid limitat a 25 mm, sent més recomanable els de dimensions contingudes entre els 10 i els 20 mm
- La relació de grava no superior al 50% de l'àrid total
- Utilització d'additius superplastificant.

Per aconseguir aquestes característiques, existeixen diferents mètodes per al disseny i preparació dels formigons d'aquesta tipologia. No obstant, tots ells incideixen en els mateixos factors: demanda de pasta de ciment, volum de grava limitat i grandària màxima de l'àrid limitada.

Abans de procedir al disseny de la mescla, cal tenir en compte les proporcions relatives dels components claus. Un cop es coneix aquest criteri els passos a seguir per aconseguir la mescla de formigó autocompactable, generalment, seran:

- Determinar i fixar les propietats requerides.
- Seleccionar els materials que s'hauran d'emprar en funció dels requisits de cada obra.
- Dissenyar i ajustar la composició de la mescla.
- Verificar o ajustar el rendiment en laboratori.
- Si tot es correcte, verificar el rendiment a la planta de formigó o a l'obra.

Al dosificar un formigó autocompactable, s'hauran de tenir en compte les exigències corresponents que marca el projecte, és a dir:

- Exigències estructurals, tenint en compte l'espai entre barres d'armadura, dimensions de l'element, complexitat arquitectònica de l'encofrat, cares vistes, particularitats del projecte que poden influenciar com és el cas de canvis d'espessors, etc.
- Operatives, estudiant la modalitat de reomplert, velocitat i duració d'aquest, característiques de l'encofrat, visibilitat del formigó durant el reomplert, alçada de caiguda, accessibilitat del camió formigonera, posicionament dels equips de bombeig, etc.
- Ambientals, tenint en compte el clima i temperatura de l'ambient a l'hora de dur a terme els treballs de reomplert, temperatura dels materials, duració del transport, situacions eventuais crítiques com a conseqüència del tràfic, etc.

- De prestacions, pensant en la classe d'exposició ambiental, resistència característica, i altres possibles requisits.

Un cop s'ha obtingut la mescla inicial, caldrà verificar en laboratori que aquesta sigui correcta, i aplicar, en cas de ser necessari, els ajustos pertinents. Un cop aquests resultats siguin satisfactoris en tots els paràmetres, la mescla s'haurà de contrarestar a escala completa a la planta de formigonar o a l'obra.

En cas que els resultats de rendiment no siguin satisfactoris caldrà buscar un redisseny fonamental de la mescla, de forma que es poden arribar a afegir nous materials alternatius. Algunes de les solucions que es poden donar en funció del problema que s'ha d'afrontar són les següents:

- Ús de fillers
- Modificació de les proporcions d'arena o de grava
- Ús d'agents modificadors de la viscositat si no han estat afegits en la mescla inicial
- Ajust de la dosificació del superplastificant i/o de l'agent modificador de la viscositat
- Ús de tipologies alternatives de superplastificants i/o d'agents modificadors de la viscositat, buscant així una major compatibilitat amb els materials locals
- Ajust de la dosificació d'additius per modificar el contingut d'aigua i en conseqüència de la relació aigua/fins.

En general, es aconsellable una tàctica conservadora de disseny per garantir que el formigó pugui mantenir les seves propietats específiques en fresc, tenint en compte les variacions de qualitat de les matèries primes i les variacions en el contingut d'humitat dels àrids en la fase de disseny de la mescla.

S'adjunten a continuació una taula amb l'evolució de les diferents proporcions dels components del formigó al llarg del temps i l'evolució que les diferents proporcions que es presenten.

Autors Kg/m ²	Domone i Chai (1996)	Sedran et al (1996)	Kim et al (1998)	Bartos i Grauers (1999)	Ambroise i Péra (2001)	Su et al. (2001)	UPC (2004)
	Ciment	218	350	370	280	380	300
Cendres volants	125		159			148	
Fum de sílice							49
Escories	280					63	
Filler caliç		134		240	20		195
Arena	686	852	782	865	900	928	
Arid ≤5 mm							869
Arid ≤10 mm		363					579
Arid ≤16 mm					800		
Arid ≤20 mm	785	571	820	750		718	
Superplastificant	8,2	7,1	10,0	4,2	4,0	8,2	7,72
Mod. Viscositat					2		3
Relació Aigua/Ciment	0,82	0,48	0,50	0,71	0,53	0,57	0,45
Relació Aigua/Fins	0,28	0,34	0,35	0,36	0,50	0,40	
Resistència a compressió 28 dies (MPa)	n.d	50	47	47	48	41	76.3

7. ELABORACIÓ I TRANSPORT DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE

Donada la incidència de l'humitat en els àrids, es recomana que aquest s'emmagatzemin a cobert dels agents atmosfèrics. El filler rebrà el mateix tracte que el ciment. Pel que fa a la resta dels components, s'emmagatzemaran d'acord amb les condicions del fabricant-proveïdor.

Durant el procés de fabricació del formigó autocompactable s'ha de treballar de forma més acurada que amb els formigons convencionals. essent important que la producció de formigó autocompactable s'executi a plantes on l'equipament, el funcionament i els materials es controlin de forma adequada.

La EHE exigeix que si es confecciona formigó autocompactable amb l'us de cendres volants, s'haurà de disposar de distintiu de qualitat per poder-ho fer. Això significa que la producció s'ha de realitzar-se en plantes acreditades amb distintiu de qualitat. A més, és aconsellable que la plantilla

de producció que participi en la fabricació de formigó autocompactable tingui una mínima experiència i rebi informació.

Els requisits generals i més destacats que s'han de cuidar durant el procés de fabricació del formigó autocompactable són els següents:

- S'ha de determinar amb precisió la humitat dels àrids durant el seu emmagatzematge, i prèviament a la mescla i amassat dels components del formigó, per així evitar variacions no previstes que afectin a la docilitat del formigó.
- La incorporació d'additius es pot realitzar en planta o en obra. No obstant, per les especials característiques d'aquest formigó, és convenient la combinació d'ambdues situacions, sota el control del fabricant del formigó i sempre s'haurà de fer un cop incorporada l'aigua d'amasat o seguint les instruccions del fabricant

8. POSADA EN OBRA DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE

Pel que fa als encofrats, en principi no es demana cap requisit especial, no obstant, es necessita una bona estanquitat i poca cosa més que no es demana al formigó convencional.

En cas de grans volums de formigó i alta velocitat d'abocat, caldrà estudiar l'empenta que aquest tipus de formigó pot ocasionar a l'encofrat ja que fins i tot es pot considerar que es tracti de pressió hidrostàtica i s'ha de tenir en compte

Tenint en compte les característiques d'aquest formigó, el bombeig és el mitjà òptim per la posada en obra i aquest és el mètode més utilitzat a l'hora de treballar amb el formigó autocompactable. Si s'arribés a abocar el formigó autocompactable amb cubilot, caldria prestar atenció de forma especial al tancament de la comporta.

Cal tenir en compte, a més, que a l'hora d'abocar el formigó a l'obra mitjançant bombeig, cal seguir una sèrie de prescripcions encara que el seu abocat sigui més fàcil que el del convencional. Així es recomana una distància màxima de col·locació, de forma que no s'abocarà a més de 5 metres en caiguda lliure vertical ni a una distància permissibile de flux horitzontal superior a 10 metres, sempre respecte al punt de descàrrega. Es recomanable que quan es comenci a formigonar, la mànega estigui situada tan propera al fons de l'encofrat com sigui possible.

A més, tenint en compte que no és necessari sotmetre al formigó a un procés de compactació, el procés serà més ràpid, segur, senzill i amb una millor utilització de la mà d'obra.

Donat que l'enduriment del formigó autocompactable, en general, és més ràpid que el formigó convencional donat que l'aigua de sagnat de la superfície és poca o fins i tot, nul·la, és important que el curat inicial es comenci el més aviat possible després de la seua abocament, aconseguint així una minimització de les fissures per retracció.

9. CURAT DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE

El curat en qualsevol tipologia de formigó és molt important, però ho és més quan es parla del formigó autocompactable. Com a conseqüència de les seves característiques, és convenient realitzar un bon curat per evitar la dessecació superficial i els efectes derivats de la retracció plàstica.

Les condicions meteorològiques ideals per formigonar són a una temperatura al voltant dels 20°C, una humitat ambiental alta i absència de vents. Quan el formigonat es realitzi en temps calorós, l'atenció en el curat d'aquest haurà de ser més curós perquè el l'afectarà molt negativament.

S'entén per temps calorós aquell que es caracteritza per tenir una temperatura alta, una humitat ambiental baixa i/o una altra velocitat de vent. Aquest ambient si no es te la cura pertinent, afectarà la qualitat tant del formigó fresc com del endurit, o produirà anomalies en les propietats del mateix.

Els efectes negatius més notoris que es poden produir com a conseqüència d'aquests factors són els següents:

- Ràpida evaporació d'aigua de pastat
- Variacions en la consistència
- Adormiment més ràpid
- Fissuració
- Retracció plàstica
- Descens de les resistències

Per reduir al màxim els efectes negatius que les altres temperatures provoquen sobre el formigó autocompactable s'aconsella protegir els acopis, armadures i encofrats del sol; utilitzar els additius

apropiats; aprofitar les hores més favorables per formigonar; protegir les superfícies de formigó del sol i el vent; preferentment, realitzar un curat humit; utilitzar personal amb experiència; i, en definitiva, adoptar la formulació de treball més adient per aquestes condicions.

10. CONTROL DE QUALITAT DELS FORMIGONS AUTOCOMPACTABLES

10.1. Caracterització de la fluïdesa mitjançant l'assaig d'escorrimment. UNE 83361.



Aquest assaig dóna la possibilitat d'avaluar el flux lliure que caracteritza al formigó autocompactable. El seu desenvolupament, inicialment, es va donar a Japó com a valoració del formigó submergit i, essencialment, es basa en la determinació de l'assentament del material.

Es tracta d'un procediment d'assaig sense necessitat d'utilitzar mitjans especials, simple i ràpid, encara que si es desitja comprovar l'assentament a T50 serà necessària la presència de dues persones físiques. Té l'avantatge de poder realitzar-se a la mateixa obra; no obstant, la planxa, un dels components de l'assaig, es bastant robusta, de difícil maneig i necessita d'un terreny correctament anivellat pel bon ús.

És un dels assajos més utilitzats ja que ofereix una bona avaluació de la capacitat de reomplert i, encara que no presenta indicacions de la capacitat que té el formigó en travessar les armadures sense ser bloquejat, pot exhibir indicis de la resistència a la segregació.

Cal tenir en compte que encara que a l'assaig expressi un flux completament lliure i sense restriccions de cap classe, no pot ser representatiu del que succeeix a la pràctica de la construcció amb aquest tipus de formigó.

Equipament necessari per realitzar l'assaig

Es necessita un con d'Abrams, de dimensions internes: 200 mm de diàmetre a la base, 100 mm de diàmetre a la part superior i una alçada de 300 mm, tal com indica la EN 12350-2.



A més es necessitarà una safata plana, de construcció rígida, amb una superfície metàl·lica d'aproximadament 850 mm x 850 mm, no atacable per la pasta de ciment. En el centre de la safata es trobarà gravat amb una creu, les línies de la qual correran paral·leles a les vores de la safata, i amb almenys dos cercles centrals concèntrics de (200 ±1) mm i (500 ±1) mm de diàmetre.

Altres estris que s'empraran per la realització d'aquest assaig seran l'aplanador, la pala, un regle de com a mínim 1000 mm amb graduació de 1 mm i el cronòmetre, amb precisió de de segons per tal de controlar el temps en segons que tarda el formigó en cobrir el cercle de 500 mm de diàmetre.

Procediment

Per començar caldrà preparar la placa d'assentament, la qual s'haurà d'humitejar i situar-la sobre un terreny uniforme i estable. El con d'assentament també s'haurà d'humitejar, per posteriorment, situar-lo en el centre de la placa.

Per dur a terme l'assaig s'agafarà una mostra de 10 litres de formigó. Mantenint el con subjecte fermament cap a baix, aquest s'anirà reomplint, amb l'ajuda de la pala i sense haver de compactar ni vibrar el formigó. Amb l'aplanadora s'anirà anivellant el formigó de la part superior.

Posteriorment, es retirarà el formigó sobrant que envolta la base del con i s'eleva a aquest verticalment de forma continua en un temps compres entre 2 i 3 segons. D'aquesta manera es permetrà que el formigó flueixi cap a l'exterior lliurement.

En el moment que s'ha alçat el con, es posarà en funcionament el cronòmetre, registrant el temps que li costa al formigó arribar al cercle de 500 mm. Aquest interval de temps és el que es coneix com a període T50.

Un cop el formigó ja s'ha expandit del tot, s'hauran de mesurar els diàmetres de dues direccions perpendiculars. Després es calcularà el promig d'aquests dos diàmetres i el valor obtingut representarà el flux d'assentament en mm.

A més, també caldrà observar els voltants del morter o la pasta de ciment sense àrid gruix al límit de l'assentament del formigó, per tal de veure si s'han produït segregacions.

Interpretació dels resultats

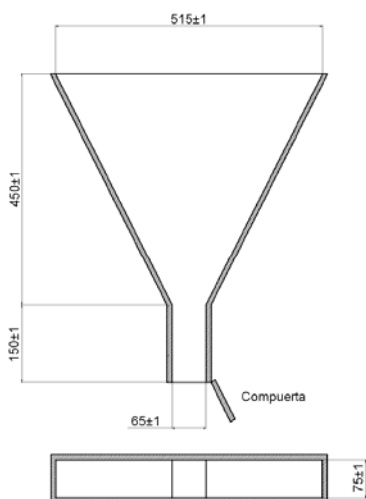
Un valor elevat del flux d'assentament representarà una major capacitat per reomplir l'encofrat pel seu propi pes. En conseqüència, un formigó autocompactable funcionarà millor quan més alt sigui el seu flux d'assentament.

Al menys, per formigons autocompactables, es necessitarà que el promig dels dos diàmetres mesurats sigui igual o superior als 650 mm. No obstant, encara que no hi hagi una tolerància normalitzada, es considera acceptable que aquest promig fluctuï 50 mm amunt o avall.

El període T50 és una indicació secundària del flux, implicant que un període de temps inferior representa una major fluïdesa. Es consideraran correctes valors que, en aplicacions d'enginyeria civil, es trobin entre els 3 i 7 segons i, en edificació, oscil·lin entre els 2 i 5 segons.

Pel que fa a la segregació, si l'àrid gruixut es queda estancat en el centre del doll de formigó i el morter o pasta de ciment viatja fins la perifèria del formigó, es considerarà que s'ha produït una segregació greu. Quan no existeixi àrid gruixut al voltant del morter en el límit del doll de formigó, s'estimarà una segregació menor a l'anterior. No obstant, encara que no es produeixi cap d'aquests dos casos, és a dir, no existeixi segregació, no serà suficient per garantir que a l'obra passarà el mateix. Això és degut a que la segregació és un aspecte relacionat amb el temps, es pot produir en un període més extens.

10.2. Determinació del temps de fluxe mtjançant l'assagis de l'embut en V. UNE 83364



Dimensions en mm



Aquest assaig ens permetrà determinar el temps de flux del formigó autocompactant en estat fresc, en la composició del qual no intervinguin àrids de mida màxima superior a 25 mm, quan llisca dins d'un motlle amb forma de V. Aquesta dada es relaciona amb la capacitat del formigó per acomodar-se a la geometria de l'encofrat i té molt a veure amb la viscositat de la massa. Aquest assaig es va desenvolupar al Japó i l'equipament es base, principalment, en un embut en forma de V

Cal tenir en compte que encara que l'assaig ha set dissenyat per mesurar la fluïdesa, el resultat varia per altres propietats del formigó, diferents a les del flux. La forma característica de l'embut pot tendir a bloquejar el formigó si hi ha gran quantitat d'àrid gruixut. Aquest fet quedarà reflectit en el resultat obtingut. També, un temps de flux elevat pot ser associat a una escassa capacitat de deformació degut a una alta viscositat de la pasta i amb una alta fricció entre partícules.

Equipament necessari per realitzar l'assaig

Motlle, amb la forma d'un embut en V, de secció rectangular, fabricat amb un material no atacable per la pasta de ciment, no absorbent i amb rigidesa suficient per no deformar-se una vegada ple. L'interior del motlle serà llis i lliure de protuberàncies i no presentarà bonys. El conducte inferior de sortida de l'embut serà de secció rectangular. Les dimensions interiors de l'embut seran les següents:

- Boca superior: (515 ±1) mm x (75 ±1) mm.
- Boca inferior: (65 ±1) mm x (75 ±1) mm.
- Altura|Alçària de la V: (450 ±1) mm.
- Longitud del conducte de sortida: (150 ±1) mm.

La base i la part superior estaran obertes, i seran paral·lels entre si i en angles rectes a l'eix de l'embut. La boca inferior estarà dotada d'una comporta capaç de suportar el pes del formigó quan estigui ple, i proveïda amb un dispositiu d'obertura ràpida. L'aresta superior de l'embut serà llisa a fi de permetre enrasar el formigó després de l'ompliment. L'embut està muntat sobre un suport que constitueix part integrant de l'aparell.

Farà falta així mateix un recipient d'ompliment, d'almenys 13 l de capacitat, fabricat amb materials no absorbents ni atacables per la pasta de ciment, i que resulti apropiat per contenir mostres de formigó, per al transport fins al motlle i per a l'ompliment d'aquest, un recipient de buidatge, per recollir el formigó vessat per l'embut (Pot esser el mateix que per l'ompliment) i una barra metàl·lica, per anivellar el formigó a la cara superior. Finalment un cronòmetre, capaç de mesurar el temps amb una resolució suficient per apreciar el resultat de l'assaig en segons.

Procediment

Igual que en l'assaig anterior, el primer pas que es realitzarà serà la humificació de les superfícies internes de l'embut. Seguidament, es fixarà fermament sobre el terreny, mantenint la trapa oberta per fer possible l'eliminació de l'aigua sobrant.

Per realitzar l'assaig s'obindrà una mostra d'uns 13 litres de formigó, presa de forma normal. Un cop s'hagi tancat la trapa i s'hagi col·locat un cubell sota l'embut, es procedirà a reomplir completament de formigó l'aparell, sempre sense compactar ni pressionar. Només serà necessari anar anivellant, mitjançant la pala plana, la part superior del formigó.

Després del reomplert i havent passat 10 segons, s'obrirà la trapa per així permetre que el formigó surti pel seu propi pes. En el moment d'obrir la trapa caldrà iniciar el comptador del cronòmetre i enregistrar el temps que necessita el formigó per completar la descàrrega. Aquest període de temps representarà el temps de flux.

Es donarà com a finalitzada la descàrrega íntegra de l'embut quan sigui possible observar la llum des de la part superior a través de l'aparell.

Cal tenir en compte que l'assaig complet s'ha de realitzar en menys de tres minuts, del contrari no es donarà com a vàlid.

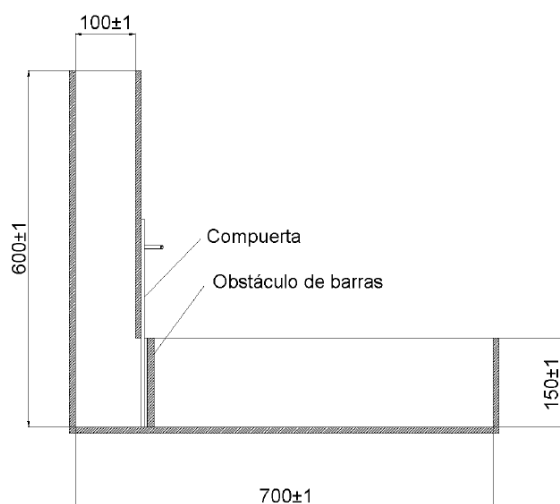
Interpretació dels resultats

Com s'ha dit anteriorment aquest assaig valora la facilitat del formigó per fluir, de forma que un temps de flux més elevat indica una menor fluïdesa d'aquest material. Es considera que, per a formigons autocompactables, un període de 10 segons és adequat.

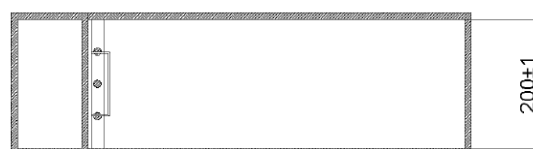
Cal tenir en compte que la forma característica del con invertit restringeix el flux, de forma que temps de flux prolongats poden indicar que la mescla es susceptible a patir bloquejos.

10.3. Caracterització de la fluïdesa en presència de barres mitjançant el mètode de la caixa en L. UNE 83363

Amb aquest assaig es disposa d'un mètode per caracteritzar la fluïdesa en presència de barres del formigó autocompactante en estat fresc, i en la composició del qual no intervinguin àrids de mida màxima superior a 25 mm, mitjançant la determinació del coeficient de bloqueig i el temps d'escorriments en fer lliscar el formigó dins d'un espai confinat.



Secció vertical. Dimensions en mm



Planta. Dimensions en mm

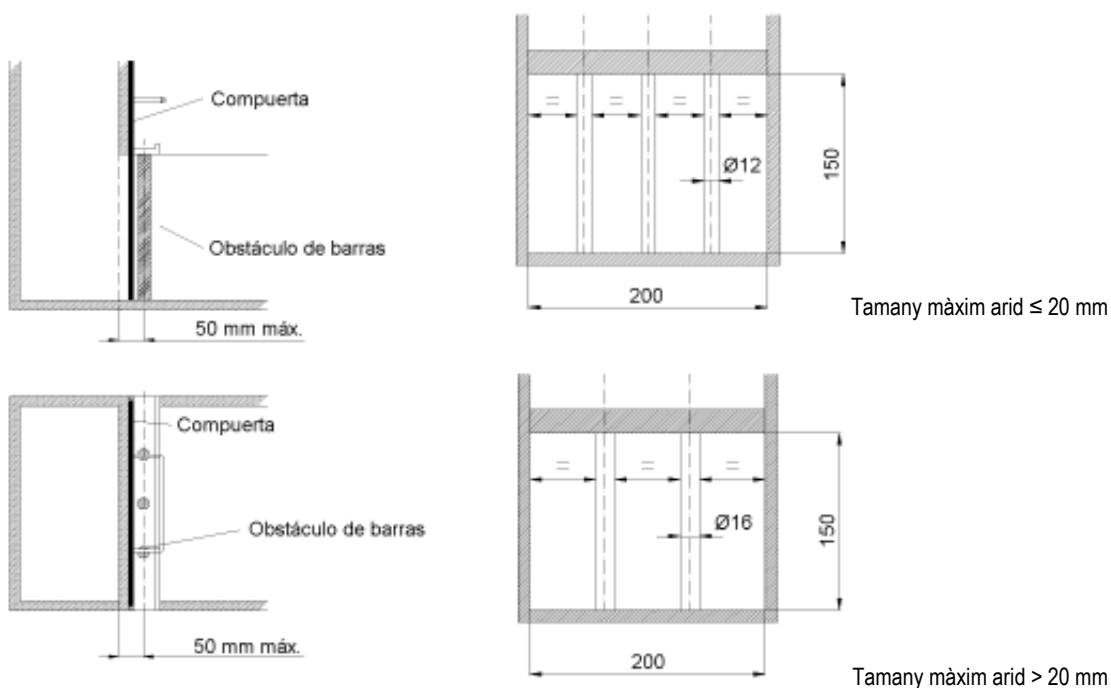
Actualment, el seu ús és molt freqüent i és adequat per laboratori. Tanmateix, en determinades situacions es pot emprar en obra. Té l'avantatge que qualsevol falta greu d'estabilitat, referent a la segregació, es pot detectar visualment. A més, posteriorment, es pot serrar horitzontalment la mostra de formigó i comprovar els resultats obtinguts.

Equipament necessari per realitzar l'assaig

Motlle, fabricat amb material no atacable per la pasta de ciment, no absorbent, que es compon de dos cossos buits, amb la superfície interna llisa, un de vertical i un altre d'horitzontal. Ambdós cossos estan separats per una comporta d'accionament exterior que es desplaça per l'interior d'unes guies.

Les dimensions interiors del cos vertical són (600 ± 1) mm d'alt, (200 ± 1) mm d'ample i (100 ± 1) mm de fons. Les dimensions interiors del cos horitzontal són (600 ± 1) mm de llarg, (150 ± 1) mm d'alt i (200 ± 1) mm d'ample (vegi's la figura 1). L'obertura que connecta el cos vertical amb l'horitzontal tindrà (150 ± 1) mm d'alt i (200 ± 1) mm d'ample.

El motlle es complementa amb una comporta plana, amb les dimensions adequades per facilitar el seu moviment al llarg de guies verticals, garantint l'estanquitat entre els cossos vertical i horitzontal. Així mateix, fa falta un joc separador de barres metàl·liques llises, espaiades a l'ample de la caixa en L, col·locat en una distància màxima entre la cara interior del cos vertical i l'eix de les barres de 50 mm, tal com es mostra al detall,



Disposició del joc separador. Dimensions en mm

Disposició de barres del joc separador

Farà falta així mateix un recipient d'ompliment, d'almenys 13 l de capacitat, fabricat amb materials no absorbents ni atacables per la pasta de ciment, i que resulti apropiat per contenir mostres de formigó, per al transport fins al motlle i per a l'ompliment d'aquest, una barra metàl·lica, per anivellar el formigó a la cara superior, un cronòmetre, capaç de mesurar el temps amb una resolució suficient per apreciar el resultat de l'assaig en segons i finalment un regle de 1000 mm amb graduació d'1 mm amb el punt 0 com a extrem del regle.

Procediment

Per començar serà necessari situar la caixa sobre terreny ferm i uniforme, assegurant-se que la comporta pot lliscar lliurement per després ser tancada sense problemes. Un cop situat l'aparell s'humidificaran les superfícies interiors d'aquest i s'eliminarà l'aigua sobrant.

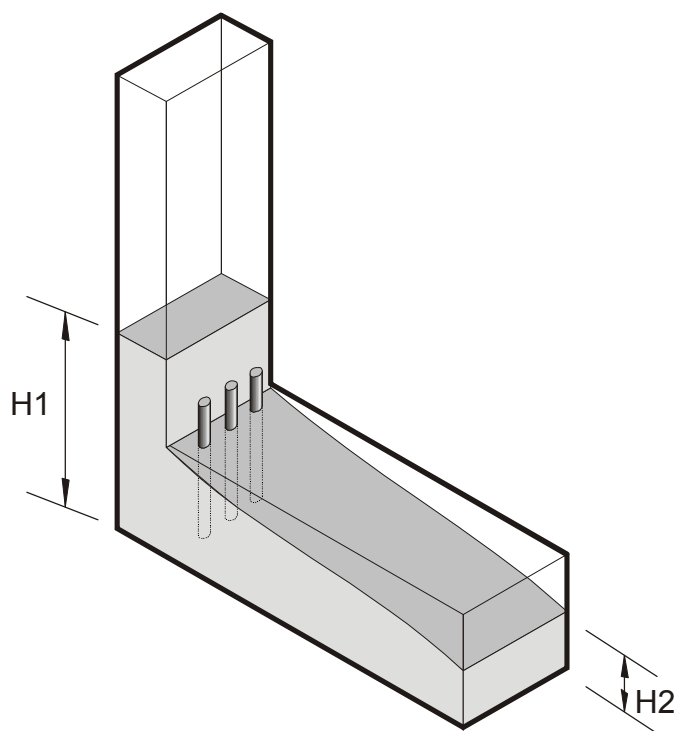
Per realitzar aquest assaig seran necessaris uns 13 litres de formigó, presos com a mostra de forma normal. Mantenint la comporta tancada, s'abocarà el formigó dins de la secció vertical de l'aparell amb l'ajuda de la paleta, sempre sense compactar ni pressionar, simplement anivellant la part superior del formigó.

Un cop s'ha omplert la secció de formigó es deixarà reposar durant un minut, per, posteriorment, elevar la comporta lliscant, deixant fluir el formigó cap a la secció horitzontal en un temps compres entre 2 i 3 segons. De forma simultània, quan s'obri la comporta, s'activarà el cronòmetre i s'enregistraran els temps que es requereixen per què el formigó arribi a l'extrem del motlle horitzontal.

Una vegada cessa completament el moviment del formigó, es mesura la distància vertical entre l'aresta superior del cos vertical i la superfície del formigó, per la part interior de la paret paral·lela que no conté la comporta, i en el centre de la mateixa. Restant aquesta distància de l'altura interior del cos vertical, 600 mm, s'obté l'altura H1

A continuació, es mesura la distància vertical entre l'aresta superior del cos horitzontal i la superfície del formigó, per la part interior de la paret més llunyana a la comporta i en el centre de la mateixa. Restant aquesta distància de la altura alçària interior del cos horitzontal, 150 mm, s'obté l'altura alçària H2

El temps usat en la presa de mostres, replè del motlle i enrasat del formigó no ha de superar els 3 minuts.



Interpretació dels resultats

Tenint en compte que si el formigó flueix tan lliurement com l'aigua, la relació $H2/H1$ serà igual a 1, es pot deduir que quan més s'aproximi el valor de l'assaig a aquest, més capacitat per fluir tindrà el formigó.

El temps d'escorriment, T_{60} , és el temps emprat, en segons, perquè la mostra arribi l'extrem de la caixa en L, situat en la distància de 600 mm des de l'extrem de la comporta.

El coeficient de bloqueig C_{bL} es calcula mitjançant l'expressió: $C_{bL} = (H2/H1) \times 100$

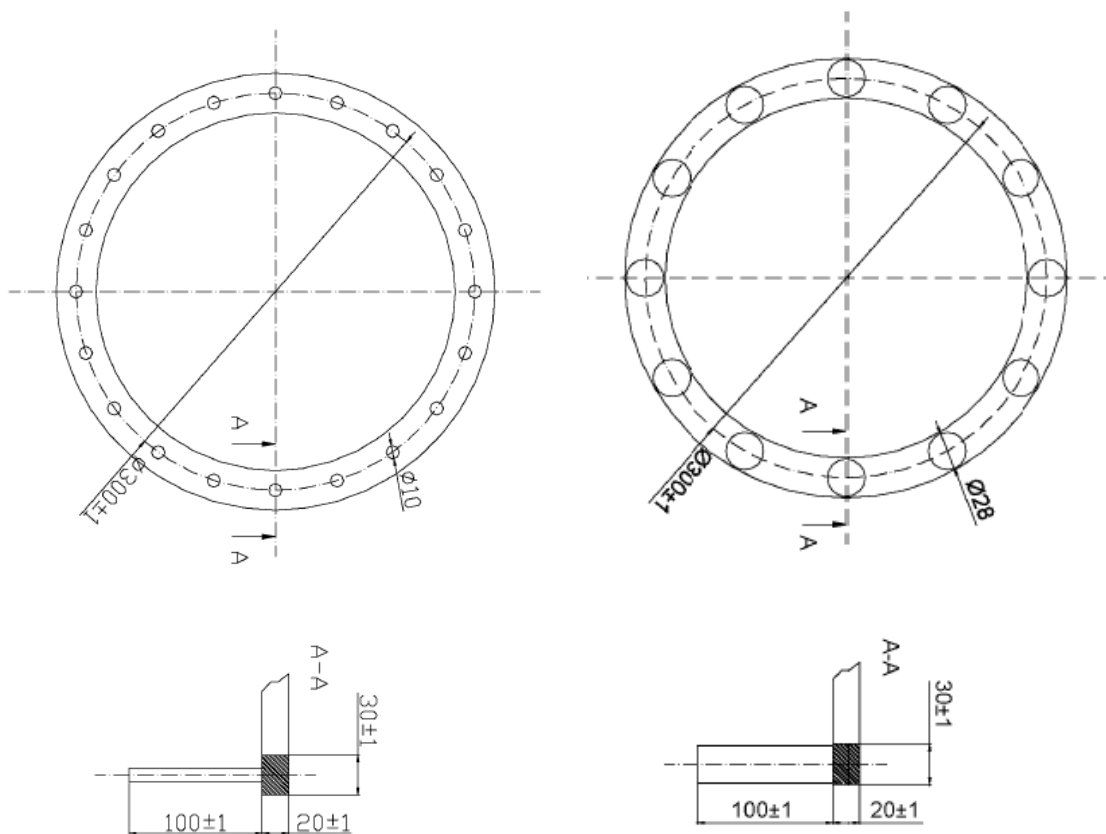
10.4. Caracterització de la fluïdesa en presència de barres mitjançant l'Assaig de l'escorriment amb l'anell japonès. UNE 83362

Amb aquest assaig es disposa d'un mètode per caracteritzar la fluïdesa del formigó autocompactant en estat fresc, en el que no intervinguin àrids de mida màxima superior a 25 mm, mitjançant la determinació de l'escorriment, el temps d'escorriment i el coeficient de bloqueig, mesurats en introduir el formigó en un motlle amb forma de tronc de con i fer-ho passar a través d'unes barres metàl·liques disposades en forma d'anell.

Equipament necessari per realitzar l'assaig

Per realitzar aquest assaig es necessita un con d'abrams sense recolzament de peus, una safata plana de 850x850mm que no sigui atacable per la pasta de ciment i un anell d'acer conegut com a anell japonès de 300 ± 1 mm de diàmetre de una secció rectangular de 30 x 20 mm

Al llarg de la circumferència de l'anell corresponent a un diàmetre de (300 ± 1) mm, es disposaran una sèrie de barres llises equidistants entre si, de longitud (100 ± 1) mm, mitjançant un sistema de fixació que asseguri la rigidesa del sistema de manera que les barres es mantinguin perpendiculars al pla de l'anell.



Anell japonès per tma menor o igual a 20 mm

Anell japonès per tma major a 20 mm

A part d'aquest tres estris, s'emprarà una llana, una pala i una regla.

Procediment

El primer que es farà es preparar la correcta col·locació de les diferents parts que formen aquest assaig, de forma que es situarà la placa base d'assentament damunt d'un terreny estable, i sobre aquesta l'anell J i el con d'assentament. Es buscarà que l'anell estigui centrat a la placa base i el con a l'anell.

Seguidament s'humitejaran la placa base d'assentament i l'interior del con d'assentament, mantenint oberta la trapa per expulsar l'aigua sobrant.

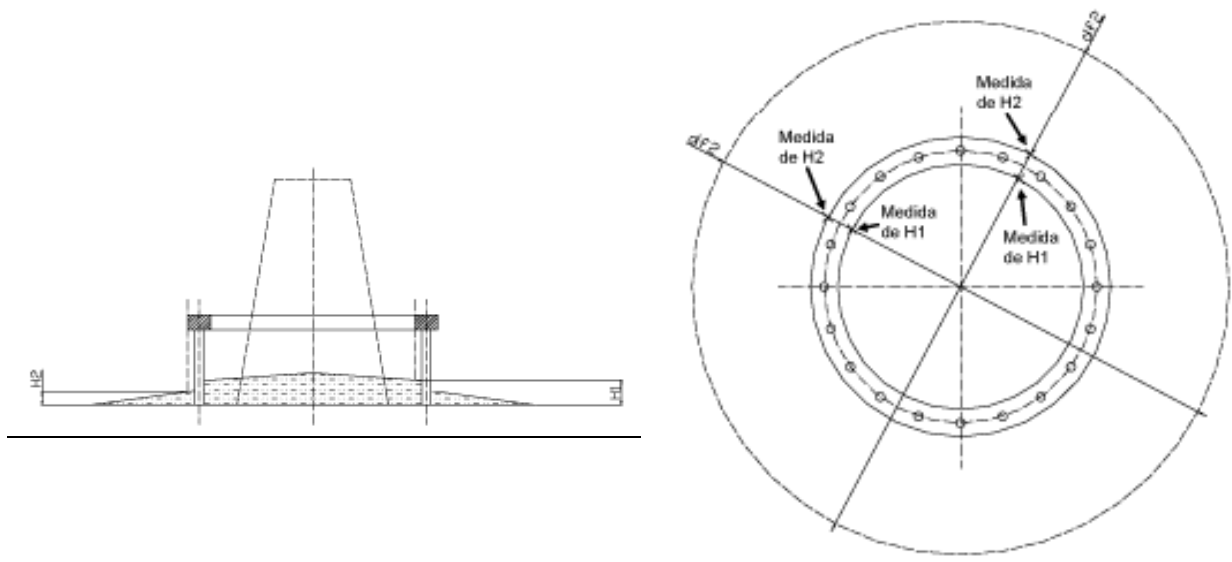
Un cop està tot preparat es tancarà la trapa i s'anirà omplint el con amb els formigó de la mostra necessària per realitzar aquest assaig.. Per realitzar aquesta operació s'emprarà la pala i es tindrà en compte que ni s'ha de compactar ni anivellar el formigó de la part superior del con de formigó únicament s'haurà de retirar el formigó sobrant del voltant de la base del con.

Una vegada s'ha abocat la mostra completa, s'elevant el con verticalment, en un temps compres en 2-3 segons, permetent que el formigó flueixi cap a l'exterior lliurement, pel seu propi pes. Al mateix temps s'activarà el cronòmetre i s'aturarà quan la massa arribi visualment a la marca de 500 mm de diàmetre.

Fet això es mesuraran dues direccions perpendiculars entre elles i es calcularà el promig dels dos diàmetres obtinguts de la mesura. L'assaig es considera correcte quan la diferència entre lectures es igual o inferior a 50 mm.

A continuació, es mesura la distància vertical entre l'aresta superior de l'anell i la superfície del formigó en dos punts de la circumferència interna de l'anell, situats aproximadament en el punt mig de l'espai entre dues barres. Un de aquests punts estarà situat el més pròxim possible a la intersecció de la circumferència interna de l'anell amb el diàmetre en el qual es va determinar d_{f1} . L'altre punt estarà situat el més pròxim possible a la intersecció de la circumferència interna de l'anell amb el diàmetre en el qual es va determinar d_{f2} . Restant aquestes distàncies de l'altura total de l'anell, 120 mm, se n'obté l'altura H1 segons el mostrat a la figura , com la mitjana de les dues determinacions.

Aquest proces es repeteix el procés per la cara exterior de l'anell i s'obté la mesura H2



S'observa detingudament si es produeix segregació, així com la possible exsudació de la pasta a la zona perimetral, o la major concentració d'àrid gruixut a la zona central de la massa de formigó.

El temps emprat a la presa de mostres, omplert del motlle i anivellat del formigó no ha de superar els 3 min

Interpretació dels resultats

L'escorriment, d_{jf} , és el valor resultant de $(d_{f1}+d_{f2})/2$, arrodonit als 5 mm. El temps d'escorriment, T_{J50} , és el temps emprat, en segons, en assolir el diàmetre de 500 mm. El coeficient de bloqueig C_{bE} es calcula mitjançant l'expressió $C_{bE} = (H2/H1) \times 100$

10.5. Altres assaigs no normalitzats

A part dels assaigs normalitzats a través de les normes UNE descrites anteriorment, existeixen altres tipus d'assaigs que es creu interessant incorporar. Aquests son:

Assaig de caixa en U

Aquest mètode, seveix per determinar la resistència a la segregació que presenta un formigó autocompactable.

Aquest assaig, també va ser desenvolupat al Japó, exactament pel Technology Research Centre (Centro d'Investigació Tecnològica) de Taisei Corporation. No obstant, la Societat Japonesa d'Enginyers Civils recomana un disseny alternatiu a aquesta caixa però basat en el mateix principi.

D'aquest assaig es pot dir que és fàcil de realitzar, encara que l'equipament pot resultar complicat de fabricar. Els resultats que s'obtenen permeten una bona avaluació directa de la capacitat de reomplert del formigó.

No obstant, al ser un mètode que encara no ha set normalitzat hi ha dubtes, entre altres, entorn a si una alçada de reomplert inferior als 30 cm és acceptable o no.

Assaig de la caixa de reomplert

Aquest assaig, permet la possibilitat d'establir la resistència a segregació que ofereix el formigó autocompactable. El mètode de la caixa de reomplert també es coneix amb el nom d'assaig "Kajima".

L'assaig es utilitza per mesurar la capacitat de reomplert del formigó autocompactable amb una grandària màxima d'àrid de 20 mm. No obstant, aquest és difícil d'executar a obra per l'estructura, ja que aquesta és complexa, i pel gran pes que suposa el formigó.

Té l'avantatge d'oferir una bona impressió sobre les característiques autocompactables del formigó, inclús una mescla de formigó amb una gran capacitat de reomplert obtindrà resultats negatius si la resistència a la segregació i la capacitat de pas no són bones.

Assaig "Orimet"

Aquest tipus d'assaig servirà per determinar la capacitat de reomplert des del punt de vista de la facilitat de deformació que té el formigó en estat fresc.

L'Orimet va ser desenvolupat per la Universitat de Paisley com un mètode per avaluar les mescles de formigó autocompactable fresc d'elevada fluïdesa en les obres de construcció.

El funcionament d'aquest sistema és molt similar al de l'assaig de l'embut en forma de V, amb l'avantatge que permet simular la capacitat de fluïdesa del formigó fresc durant la seva col·locació real a l'obra. Com en els casos anteriors, es tracta d'un assaig ràpid i amb un equipament senzill i de fàcil manteniment.

Una altra avantatja que es troba és que l'assaig es caracteritza per tenir la capacitat de diferenciar entre mescles d'alta fluïdesa i, en conseqüència, pot resultar pràctic per comprovar el compliment de càrregues successives a l'obra.

No obstant, no tot són avantatges, la determinació del temps subjecta a error i la necessitat de requerir la presència de dues persones en circumstàncies ideals, representen un dels majors inconvenients de l'assaig.

Assaig d'estabilitat de tamís GTM

Aquest assaig, que serveix per determinar la capacitat de pas del formigó autocompactable, va ser desenvolupat, a diferència dels mètodes anterior, per un contractista francès.

Els enginyers que han utilitzat aquest mètode d'assaig i altres experts en la matèria afirmen que es tracta d'un estil molt efectiu i senzill per avaluar la estabilitat del formigó. No obstant, el fet que es requereixi una bàscula precisa i que és un assaig no ràpid de fer, provoquen que no resulti adequat utilitzar-lo a l'obra.

11. CARACTERÍSTIQUES MECÀNiques DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE

Els estudi realitzats sobre la microestructura del formigó autocompactable confirmen la idea que la seva composició característica i la absència de vibració milloren la compacitat de la mateix microestructura. Aquest fet és especialment notori en la millora de la compacitat i qualitat de la zona de transmissió interfacial.

A la pràctica es pot observar un increment de la resistència d'aquesta tipologia de formigó enfront al convencional, mantenint la mateixa relació aigua/ciment.

11.1. Resistència de càlcul del formigó

Compressió

De gran importància es prendre com a referència el valors de la resistència a compressió quan es treballa amb formigons autocompactables.

Considerant el mateix valor de la relació aigua/ciment i els mateixos materials components de la mescla per les dues tipologies de formigó, la resistència a compressió es veurà lleugerament

modificada, augmentant de forma marginal en el cas d'emprar un formigó autocompactable. No obstant, aquest increment depèn de l'activitat dels fillers i en conseqüència és variable.

Tanmateix, cal tenir en compte que, com a conseqüència d'una dosi major d'additius utilitzats, hi ha la possibilitat que en el formigó autocompactable es produeixi un retard en el guany de resistència inicial.

Tracció

La resistència a tracció també es veu lleugerament augmentada amb la utilització de formigó autocompactable. Per aquest fet, es continuarà mantenir la relació entre la resistència a compressió i la resistència a tracció, de forma que es pot continuar aplicant els requisits marcats en la EHE sobre resistències a tracció i flexotracció.

Esforç tallant

Encara que no s'han observat variacions en els valors de les resistències a esforços tallants, sí és cert que els formigons autocompactables presenten una superfície de fissura lleugerament més llisa que la dels formigons tradicionals de la mateixa resistència.

Aquests fets són deguts al menor contingut de graves en la dosificació del formigó autocompactable, i en general de menor grandària màxima.

11.2. Adherència entre formigó i acer

L'adherència entre aquests dos materials és essencial per aconseguir que aquests dos materials treballin de forma solidària.

En termes mitjos, l'adherència entre les barres d'armadura i el formigó resulta superior quan es treballa amb formigons autocompactables que amb convencionals comparables. Per això, continuar considerant les tensions d'adherència normalitzades és dóna com a vàlid, ja que si amb el convencional complien, amb el autocompactable també ho faran.

11.3. Mòdul de deformació longitudinal del formigó

El mòdul de deformació longitudinal varia, entre altres coses, en funció del volum de pasta. El per què d'aquesta explicació és troba en que la pasta sempre té un mòdul de deformació més baix

que el dels àrids. Llavors quan més quantitat de pasta es tingui, menor serà la de l'àrid i en conseqüència més baix serà el mòdul de deformació.

Com el formigó autocompactable té major quantitat de pasta que el convencional, el mòdul de deformació de la mescla resultant serà menor que en el cas dels formigons convencionals, on la quantitat d'àrid era més important.

Es calcula que el decrement que es produeix en el formigó autocompactable és de l'ordre del 7-15%. No obstant, a l'hora de realitzar els càlculs no es tindrà en compte aquesta lleugera variació i serà estudiat com s'ha fet fins ara amb el formigó tradicional.

11.4. Retracció del formigó

Com s'ha dit anteriorment, la composició característica del formigó autocompactable implica un increment en la retracció d'aquest. Per aquest fet serà important que es realitzi un control més exhaustiu que el fet en els formigons convencionals.

Retracció plàstica

El formigó autocompactable té, en comparació amb el convencional, una major quantitat de fins en la seva composició i una alta resistència davant la segregació. D'aquesta forma el material pràcticament no exsuda aigua durant la posada en obra, fet que en un principi pot semblar positiu però que, pensant que aquesta aigua compensa l'aigua que s'evapora en estat fresc, pot resultar tot el contrari, augmentant la fissuració per retracció plàstica.

Per aquest fet serà de vital importància el procurar un bon curat del formigó autocompactable, sobretot quan s'està parlant d'estructures amb altes relacions entre la superfície i el volum.

Retracció endògena

Les característiques pròpies del formigó convencional fan que la retracció endògena sigui superior a la dels formigons convencionals. Propietats com un contingut superior de ciment, l'ús d'un ciment més fi, la major quantitat de material fi en general i les baixes relacions entre aigua i fins, condueixen a una significativa retracció endògena.

No obstant, la utilització de cendres volants i/o pols mineral calcària pot ajudar a disminuir la retracció endògena que caracteritza al formigó autocompactable.

Tanmateix, cal tenir en compte que quan aquesta retracció endògena sigui un paràmetre significatiu per la funció de l'estructura, s'haurà d'avaluar per la mescla en qüestió durant un període de temps no menor a tres mesos a través d'assajos de laboratori sobre provetes segellades immediatament després de desemmotllar-les.

Retracció tèrmica

Les propietats d'un formigó depenen en gran mesura de les condicions a les que es sotmet, particularment en les primeres hores de la seva vida.

Igual que succeeix amb els formigons convencionals, un alt contingut de ciment produirà un major calor d'hidratació, que donarà lloc a una conseqüent dilatació i una posterior retracció tèrmica.

Aquest fet afectarà de forma important a la qualitat final dels elements formigonats, i més si es tracta de paraments de mitjana o gran massa, ja que es

Retracció per secat

Aquest paràmetre assoleix un decrement en el seu valor en comparació amb un formigó convencional d'equivalents característiques.

Davant d'estructures on la retracció per secat del material és un paràmetre significatiu, aquest haurà de ser avaluat per la mescla en qüestió durant un període de temps no inferior als sis mesos i a través d'assajos de laboratori amb atmosfera controlada.

11.5. Fluència del formigó

El comportament en fluència del formigó autocompactable es pot considerar equivalent a la d'un formigó tradicional amb la mateixa relació aigua/ciment, de forma que es podrà avaluar d'igual manera que fins ara.

En aplicacions on la fluència juga un paper crític, aquesta propietat s'haurà de tenir en compte durant el procés de dosificació i ser verificada mitjançant assajos específics de laboratori sobre provetes exposades a una atmosfera controlada.

Els assajos permeten observar que, degut a la composició dels formigons autocompactables, els quals tenen una major quantitat de pasta i menor d'àrids, la major pèrdua d'aigua inicial durant el procés d'hidratació del ciment es compensa amb la menor pèrdua d'aigua per secat, resultant que

la retracció final es anàloga a la del formigó convencional, podent ser estimat el seu valor total amb la mateixa formulació que la utilitzada per aquest últim.

12. AVANTATGES I INCONVENIENTS DEL FORMIGÓ AUTOCOMPACTABLE

El formigó autocompactable és ideal, pràcticament, per qualsevol tipus d'estructura i aplicació en la que es desitgi aconseguir un formigó de qualitat, gràcies a la seva fàcil col·locació i necessari cuidat del disseny i elecció dels materials.

La base de la majoria dels avantatges que es coneixen en els formigons autocompactables es troba en la no necessitat de compactació del formigó un cop abocat a l'obra i l'extensió del formigó simplement pel seu propi pes.

12.1. Durabilitat

Des del punt de vista de la durabilitat, el fet de no haver de compactar implica un augment d'aquesta ja que es perd la dependència amb l'experiència del treballador. Amb els formigons convencionals, un formigó bo que no hagués estat ben vibrat durant la posada en obra pel treballador suposava una falta d'uniformitat i en conseqüència una disminució de la seva durabilitat. A més, un excés de vibrat també perjudica la qualitat inicial del formigó. Actualment, amb l'autocompactable, la durabilitat i resistència no depenen ja d'una bona o mala compactació.

Es pot dir que les propietats quedaran garantides única i exclusivament en el moment del seu disseny, independentment de la seva execució.

A més, el fet de ser un material que flueix pel seu propi pes permet que es pugui arribar en zones estretes i poc accessibles, i que d'una altra manera, seria impossible o molt complicat poder-s'hi acostar.

Totes aquestes avantatges afecten directament a la qualitat del formigó, el qual millora notòriament al ser més uniforme i tenir un millor acabat. Estèticament, presenta un color més uniforme i sense les eflorescències produïdes en el formigons convencionals pel vibrat.

El fet de no necessitar cap mitjà de compactació suposa grans avantatges per als treballadors i l'ambient que rodeja l'obra. Al no utilitzar vibradors s'elimina el símptoma anomenat "dits blancs", que es produïa en els treballadors per les vibracions transmeses; i també una reducció important

del consum d'energia. A més, suposa una reducció important del soroll durant la fase de formigonat, millorant tant les condicions dels treballadors com la de tercers. Eliminar en gran part el soroll significa treballar en un ambient més còmode i menys perjudicial per al treballador; en definitiva minora el risc laboral.

Pel que fa al temps, el formigó autocompactable té l'avantatge de tenir un major temps obert, que permet aconseguir una posada en obra sense problemes, sense retard en l'adormiment ni en les resistències mecàniques inicials. A més, per un altre costat, al no haver de realitzar la compactació, el temps d'execució també minora.

Des del punt de vista de la permeabilitat, el formigó autocompactable és més impermeable que el convencional i això garanteix una major resistència a l'entrada de clorurs i altres ions agressius que es poden trobar en el mediambient. Aquesta baixa permeabilitat s'aconsegueix gràcies a les baixes relacions entre aigua/ciment i aigua/fins, que permeten una important reducció de la porositat.

La densitat, tant la seca com la saturada, augmenta mínimament en els formigons autocompactables enfront als convencionals. La variació no és molt important entre l'un i l'altre.

Altres avantatges que es poden trobar en els formigons autocompactables i que no es troben en els convencionals, és l'augment de l'adherència entre el formigó i l'acer de les armadures d'aquest. A més, l'autocompactable permet reomplir els revoltos o caixes en el cas d'estructures mixtes tipus "sandwich", fet que no es pot realitzar amb el formigó convencional.

També dir que té una ràpida estabilitat enfront a l'absorció capil·lar, de forma que el que amb el formigó convencional li costava cinc dies, amb el formigó autocompactable s'aconsegueix amb unes vint-i-quatre hores.

Aquest formigó autocompactable continua sent bombejable i compatible amb les fibres metàl·liques i de polipropilè. A més permet nous dissenys que amb el formigó convencional eren impensables.

Des del punt de vista de la indústria dels prefabricats, el formigó autocompactable, igual que allarga la vida útil dels encofrats, també augmenta la dels motlles i permet que aquests siguin més lleugers. A més, en aquest àmbit i en el dels formigons d'altres resistències es pot dir que el

formigó autocompactable és acceptable perquè aquest compatibilitza la facilitat de posada en obra amb unes excel·lents prestacions.

12.2. Econòmia i rendiment de producció

És evident que un dels criteris més importants per la implantació satisfactòria de qualsevol tecnologia nova és la necessitat d'oferir un millor valor al consumidor final a un menor cost.

Per conèixer en certesa si aquest material surt rentable o no, és necessari fer un estudi rigorós i global de costos per avaluar l'estalvi i els increments. En un principi, a gran escala surt més rentable que a petita escala ja que un augment de la capacitat de producció significa una reducció dels costos finals.

Encara que aquest producte es pugui presentar amb un cost més elevat a conseqüència del major preu del material, a llarg termini es compensa amb les reduccions del cost d'execució. La utilització de formigó autocompactable suposa, entre altres coses, una reducció del temps d'execució entorn al 70% i una reducció del número de treballadors.

A més de la reducció de la plantilla de treballadors, milloren les condicions laborals a l'haver una reducció notòria del soroll i un menor esforç a l'hora de col·locar el formigó autocompactable a l'obra. Aquest fet implicarà, en un principi, un augment en el rendiment del personal.

Al perdre's la dependència entre un bon formigonat i l'experiència dels treballadors, els errors durant l'execució disminueixen de forma notòria. D'aquesta forma s'aconsegueixen millors rendiments productius i una major durabilitat de les estructures, és a dir, a llarg termini sortiran més rentables perquè tindran una major vida útil i un menor cost de manteniment. A més, tenir menor quantitat d'errors a l'obra suposa haver d'invertir menys per reparar-los, tant econòmicament com en temps.

Pel que fa als costos relacionats amb la maquinària i els mitjans per col·locar el formigó a l'obra són gairebé els mateixos, l'únic que varia és que en els formigons autocompactables no s'han d'utilitzar els equips de compactació, obligatoris en el cas dels formigons convencionals. A més, l'augment de la durabilitat dels encofrats, en el cas del formigonat a obra, i dels motlles, en el cas dels prefabricats, suposa una disminució en els costos d'aquests.

Actualment en preu del formigó autocompactant amb unes prestacions similars a les d'un formigó tradicional estan en una relació de 90 a 120 per un formigó tipus HA-30. versus la mateixa versió en format autocompactable, degut principalment a l'ús d'additius més específics. .

12.3. Inconvenients

No obstant, cal remarcar que, com a conseqüència de la falta de normativa i desconexió del comportament exhaustiu del formigó autocompactable, els nivells d'acceptació de diverses propietats d'aquest es poden considerar del costat de la seguretat, en comparació amb el que seria el cas de formigons convencionals. Amb el temps, i a mesura que vagin augmentant els nivells de coneixements i l'experiència amb el seu ús, les normes podran ser menys restrictives i més ajustades al comportament real.

No obstant, no tot són avantatges en el formigó autocompactable. Aquest, degut a la dosificació específica que el caracteritza, té una retracció endògena més elevada que en el cas dels formigons convencionals. Per aquest fet s'haurà de prendre mesures i està alerta durant el procés de curat, ja que un mal curat pot suposar una baixada important del rendiment del formigó.

Una altra dificultat que es troba en aquesta tipologia de formigó és que hi ha dos propietats bàsiques, fluïdesa i cohesió, que encara que en un principi semblin antagòniques, cal buscar un equilibri entre elles. Això farà que s'hagi de tenir molta cura a l'hora de fer la formulació, utilitzant els additius necessaris per aconseguir el nivell requerit de fluïdesa sense posar en perill la segregació del formigó. Així serà possible garantir un equilibri estable i òptim durant tot el temps de transport i la seva col·locació a l'obra.

13. BIBLIOGRAFIA

- EHE08
- <http://www6.arquitectura-tecnica.com/ARTCERCH77-11.htm>
- <https://upcommons.upc.edu/pfc/handle/2099.1/3358>
- <http://www.ieca.es/noticiasdiarias1.php?Idnoticia=59&Year=2002&Month=1&Tipo=0>
- Especificaciones y directrices para el Hormigón Autocompactable – FAC. EFNARC, Association House, 99 West Street, Farnham, Surrey GU9 7EN, UK. Febrero de 2002.