



PROJECTE DE RECERCA DEL CECAM-UdG-FORMIGONS ALSINA (I)

El passat 3 de desembre del 2001, es va signar el conveni per al projecte de recerca “Comportament dels nusos rígids d’estructures de formigó armat executades amb formigons de diferent qualitat” per part del Cecam, Universitat de Girona i Formigons Alsina, i amb la col.laboració de Sika i Prefer, i amb el suport institucional d’Arquitectura i Habitatge de la Generalitat de Catalunya.

ANTECEDENTS I INTRODUCCIÓ DE L’OBJECTE DE LA RECERCA

Des de ja fa un temps ençà es parla de les estructures de prestacions superiors a les habituals, de l’habitatge del segle XXI i de la sostenibilitat en el món de la construcció. És sobre aquestes inquietuds de futur que va néixer aquest projecte de recerca: sovint en els diferents projectes d’arquitectura i enginyeria ens hem plantejat utilitzar formigons ajustats en resistència en forjats (elements estructurals horitzontals sotmesos principalment a esforços de flexió) i augmentar la seva qualitat i prestació final en pilars i pantalles (elements estructurals verticals normalment comprimits). Aquest fet, entre d’altres raonaments, dóna una protecció afegida als pilars i pantalles, augmentant la seva durabilitat, disminució de la seva secció respecte als criteris de càlcul habituals, i no representa cap encariment en el cost de l’estructura (ja que les quanties d’acer i formigó baixen notablement).

Però un dels problemes que més ens inquieten als qui ens dediquem al món del càlcul i execució d’estructures és el comportament real de la zona de transició entre formigons de diferent qualitat com és el nus d’unió forjat-pilar resultant en aquests tipus d’estructures.

Segons aquest contracte-conveni es contempla com una primera fase d’un projecte més ampli en el qual, en funció dels resultats obtinguts, es realitzarà una sèrie més extensa d’assaigs sistemàtics sobre diferents tipologies de nusos, tenint en compte diferents combinacions d’armadura, la seva capacitat sismoresistent i diverses combinacions de les característiques dels formigons emprats. D’acord amb això, en aquesta primera fase es realitzarà un estudi sobre una sèrie limitada de provetes atenent a les característiques dels

elements més utilitzats en el nostre entorn.

Les tasques a desenvolupar per cadascun dels participants en el present conveni queden detallats com segueixen:

La UdG portarà a terme els estudis teòrics que calgui per a la definició de les característiques de les provetes. Al mateix temps serà responsable de l’anàlisi dels resultats, de la seva interpretació i de les possibles conclusions.

La Direcció General d’Arquitectura i Habitatge participarà com a suport institucional per al foment de la recerca en noves tecnologies aplicades a la construcció.

El Cecam es farà càrrec de la realització dels assaigs en les condicions prèviament concertades entre les parts i en facilitarà els resultats en el format que s’hagi acordat entre els participants en el contracte.

Formigons Alsina, S.L. confeccionarà les provetes per a l’estudi, encarregant-se de la fabricació dels motlles i el subministrament i posada en obra del formigó.

SIKA i Prefer actuaran com a col.laboradors en aquest contracte amb l’aportació respectiva d’addicions de fum de silici i additius per al formigó, i la ferralla necessària per a les provetes.

PRIMERES CONCLUSIONS DE L’ESTUDI REALITZAT PER FORMIGONS ALSINA

En el marc de la missió encomanada a l’empresa de formigó preparat “Formigons Alsina”, en el mes de setembre de 2002 hi va haver un primer resultat interessant: fou l’obtenció de resistències màximes aconseguides amb formigons compostos d’addició de fum de silici o microsilici i àrids de naturalesa calcària, donant resistències de l’ordre de 60 New/mm² (600 Kg/cm²). Cal dir que per aconseguir resistències majors cal la presència d’àrids granítics, ja que la ruptura o trencament del formigó no es produeix en la zona de transició o interfase àrid-pasta (tal com succeeix en els formigons convencionals) sinó en el trencament del propi àrid. És de destacar que en les nostres comarques no disposem d’àrids granítics i, per tant, qualsevol formigó fabricat amb àrids de l’entorn no superarà, més que segur, la resistència de 60 New/mm².

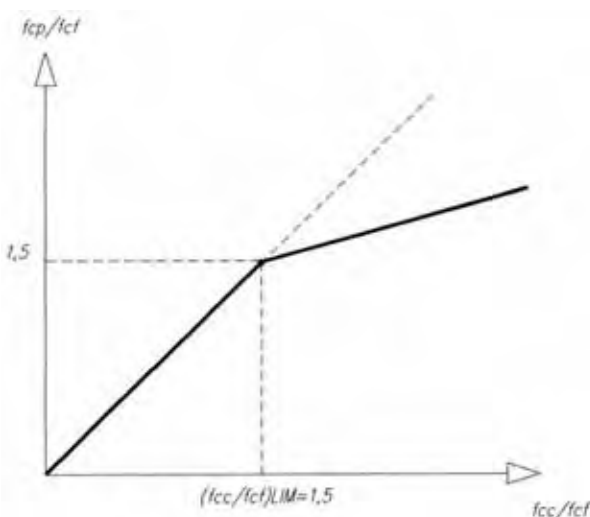
Aquest primer resultat és molt important per a la decisió a

prendre en les màximes resistències a poder oferir a obra i en l'aplicable al present projecte de recerca.

ANÀLISI REALITZAT PER LA UNIVERSITAT DE GIRONA I MODELITZACIÓ DE PROVETA

La modelització del tipus de proveta, que a partir d'ara anomenarem "model", ha estat el resultat de nombroses sessions de debat entre els companys de la Universitat de Girona. El contingut de les diferents discussions fetes es poden resumir en els següents apartats:

1. Rebuig en la mesura del possible, del factor reducció d'escala: la quantitat de paràmetres afectats ens podien fer desvirtuar en molt els resultats buscats. Les limitacions de la capacitat de càrrega i recorregut de l'equip de premsa ha estat determinant per poder eliminar la idea de fer reduccions d'escala.
2. L'estat de l'art del tema investigat ens condueix a concentrar



fcc- resistència del formigó en pilar.
 pcf- resistència del formigó en forjat.
 fcp- resistència virtual formigó confinat en nus.

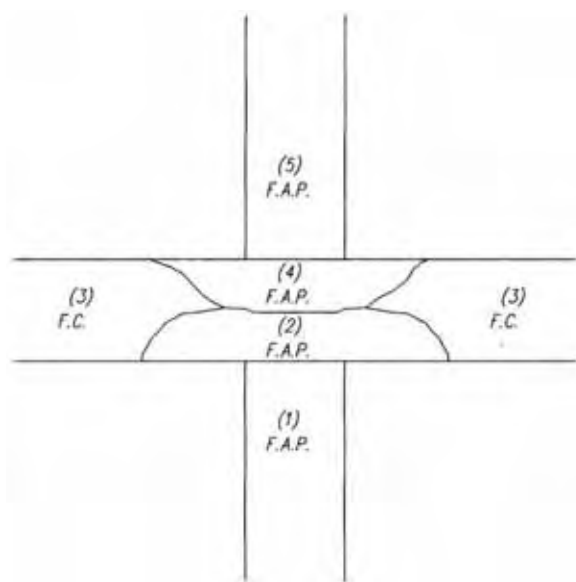
Fig. 1 Relació de resistències PILAR-FORJAT obtingudes en un programa experimental l'any 1960 en pilars interiors.

els esforços i mitjants en el confinament del formigó del forjat dins del nus. És l'any 1960 que trobem un estudi experimental fet als Estats Units, basat en l'anàlisi de 54 especímens de formigó de qualitat diferent del nus rígid pilar-forjat amb les qualitats següents :

- Formigó columnes (fcc) = 60 a 20 New/mm²
- Formigó forjat (pcf) = 20 a 14 New/mm²

A partir de la càrrega que suporta la columna es troba la resistència aparent del formigó del forjat que té en compte el confinament (fcp). El resultat d'aquesta anàlisi dona una gràfica per pilars interiors tal com es mostra en la Fig.1. Podem observar que per relacions (fcc/pcf) no majors al valor límit de 1,5 no hi ha afectació aparent del canvi de qualitats del formigó en forjat i pilars; en canvi a partir d'aquest valor la resistència del formigó dels pilars comença a ser desaproveitada per la minoració de resistència que experimenta el formigó del forjat dins del nus. És en aquest interval que veiem l'efecte del confinament d'aquest mateix formigó. Aquest resultat és el que recents estudis s'han basat en limitar la diferència de resistències entre pilars i forjats quan no es prenen mesures addicionals com la que ens condueix al present projecte de recerca. En concret i per resoldre aquest tema, en el primer edifici construït a Espanya amb formigons d'altres resistències (l'edifici "Natura-playa" situat a El Campello, província d'Alacant), es va usar fck=70 New/mm² en tots els pilars i pantalles fins la 4ª planta i fck=25 New/mm² en la resta de pilars i tots els forjats. El procés d'execució del formigó dels àbacs dels forjats reticulars es va realitzar tal com mostra la Fig.2, per a corregir el fenomen de la diferència de resistències ja descrit. Tal com es pot apreciar aquesta forma de procedir ens complica exagerament la fabricació i posada a obra del formigó del nus, fins al punt de ser inviable en la majoria d'obres on el formigó és preparat de central i no de pròpia fabricació com fou el cas concret d'aquest edifici. Així doncs, i com a conclusió d'aquest apartat, vàrem acordar que el procediment constructiu no es pot complicar com fou el cas de El Campello, fins i tot, cal simplificar-lo en tot el possible.

3. La forma de poder fer guanyar capacitat resistent al nucli de formigó entre pilars i embegut dins del forjat ens ha fet pensar en armar aquesta zona amb un fort estribat d'aquest formigó mitjançant espirals dissenyades a l'efecte que, amb peces comprimides de poca alçada hi dona un increment de resistència a compressió en funció de la quantia mecànica volumètrica d'armat transversal (en aquest cas la quantia



F.C.= Formigó Convencional
F.A.P.= Formigó d'Alta Prestació

Fig. 2 Procés d'execució del formigonat en àbacs, a l'edifici Natura-playa, quan la relació de resistències del formigó en pilars i forjats és superior al 50 %.

volumètrica creix segons un major diàmetre d'espira, menys separació de pas de l'espiral i menor diàmetre del nucli zunxat) que actua confinant el formigó que envolta.

4. La proveta "model" ha estat dissenyada després de nombroses sessions de treball entre els participants del conveni i com a resultat dels punts exposats anteriorment. Es pot apreciar la evolució del nus convencional al proposat en les Fig. 3 i 4. En la Fig.5 veiem la geometria final de la proveta "model" amb algunes combinacions d'armat.

PLANIFICACIÓ DELS TREBALLS A REALITZAR

En el marc de l'anàlisi de variabilitats de l'armat i control de qualitat de les diferents probetes, hem arribat a la següent quantificació de probetes a fer:

19 Ut de probetes cilíndriques de formigó armat tipus "model" de 30cm de diàmetre i 155cm d'alçada realitzades amb formigó HA-25 en el tram central i HA-60 en els trams extrems (veure fig.5): són les que són objecte d'assaig per a poder quantificar el comportament del nus estudiat.
30 Ut de probetes cilíndriques de formigó en massa tipus "UNE" de 15cm de diàmetre i 30cm d'alçada: per a poder controlar la resistència del formigó segons metodologia normalitzada. Es tracta d'un control al 100% establint 3 lots amb dues sèries de 5 probetes per lot.
30 Ut de probetes de formigó en massa igual que l'anterior, anomenat ara tipus "NO UNE": per a poder controlar la resistència del formigó segons mateixes condicions a què s'ha sotmés la proveta model. S'estableix el mateix núm. de probetes que les tipus UNE.

D'altra banda, es preveu realitzar 19 Ut d'assaig de límit elàstic de cada barra d'acer per a executar les espires del nus, així

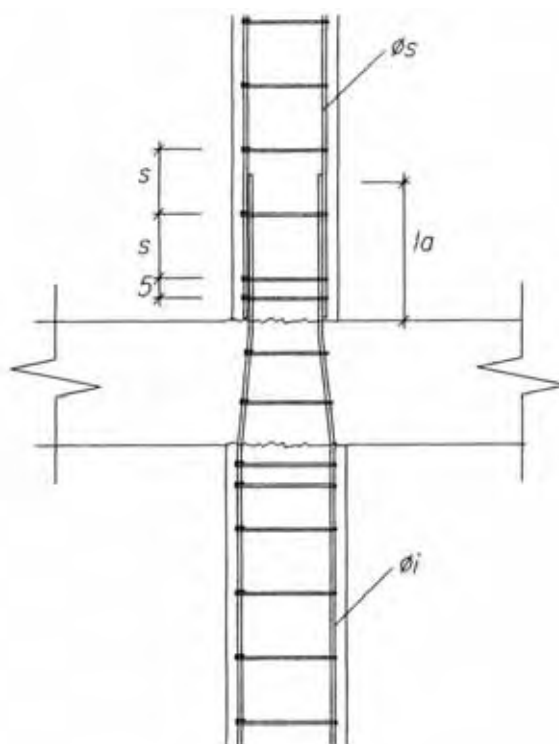


Fig. 3 Resolució convencional de l'armat del pilar dins del nus rígid de F.A.

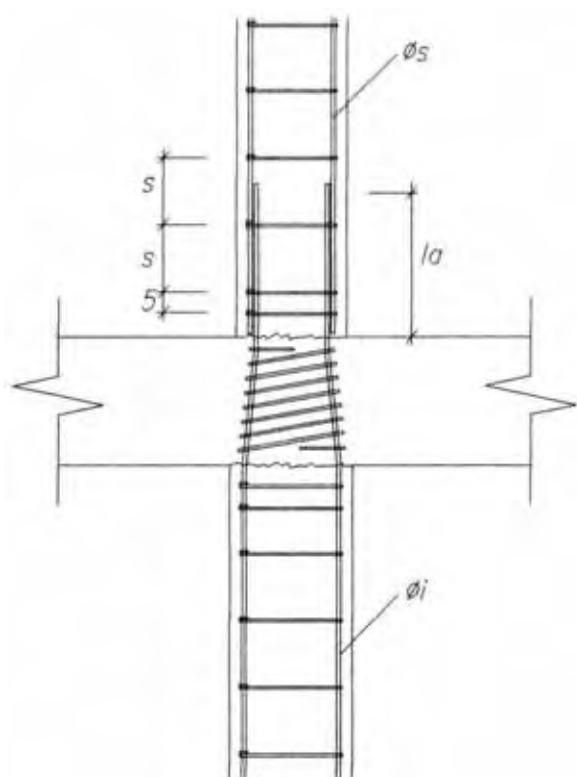
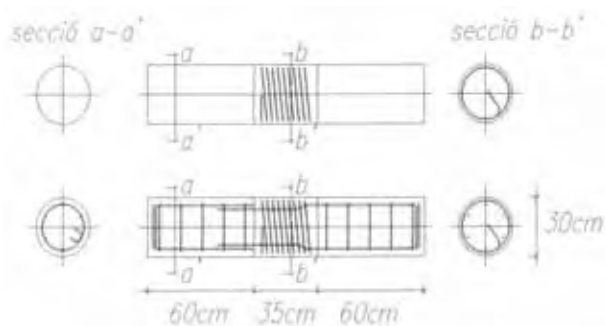


Fig. 4 Proposta d'armat mitjançant espira contínua per a corregir la disminució de resistència del formigó col·locat en aquesta zona.

Ref. Proveta	z (mm)	H (mm)	s (mm)	øS	Quantia volumètrica transversal (w)
P12-40-0-N	40	270	-	-	-
P12-40-100-N	40	270	22	ø8	0,410
P12-40-100-N	40	270	35	ø10	0,410
P12-60-0-N	60	230	-	-	-
P12-60-100-N	60	230	22	ø8	0,410
P12-60-100-N	60	230	35	ø10	0,410
P12-80-0-N	80	190	-	-	-
P12-80-100-N	80	190	22	ø8	0,410
P12-80-100-N	80	190	35	ø10	0,410
P12-80-0-S	80	190	-	-	-
P12-80-100-S	80	190	22	ø8	0,410
P12-80-100-S	80	190	35	ø10	0,410
P12-40-20-N	40	270	63	ø6	0,084
P12-80-20-N	80	190	63	ø6	0,084
P12-40-40-N	40	270	55	ø8	0,170
P12-80-40-N	80	190	55	ø8	0,170
P12-40-60-N	40	270	37	ø8	0,250
P12-80-60-N	80	190	37	ø8	0,250
P12-40-80-N	40	270	28	ø8	0,330
P12-80-80-N	80	190	28	ø8	0,330

Les files ombrejades indiquen l'armat alternatiu per aconseguir un nivell de confinament del 100%

Fig. 5 Detall de l'armat dins de les provetes "model" per a simular el nus confinat amb l'espira proposada embeguda dins el formigó del forjat de menor qualitat. En la taula adjunta s'indiquen algunes combinacions de l'armat de l'espira amb indicació de la quantia volumètrica.



com l'assaig de càrrega i allargament de trencament. Aquesta informació és de notable interès de cara a les conclusions finals, tot i la seva innecessarietat aparent perquè estem treballant amb ferralla certificada.

EDUARD BONMATÍ I LLADÓ
ARQ. TÈCNIC COORDINADOR DEL PROJECTE DE RECERCA