

Projecte - Treball final de carrera

Estudi: Enginyeria Industrial. Pla 2002

Títol: Avaluació estructural d'un panell de façana de formigó de molt altes prestacions reforçat amb fibres (UHPFRC)

Document: Annexos

Alumne: Marc Prat i Casellas

Director/tutor: Miquel Llorens i Sulivera

Departament: Enginyeria mecànica i de la construcció industrial

Àrea: Mecànica de medis continus i teoria de les estructures

Convocatòria (mes/any): Setembre 2015

INDEX ANNEXOS

INDEX	X AN	NEXOS
A. I	DESC	CRIPCIÓ EUROCODI
A.1	F	Força del vent
A.2	2. F	Rugositat del terreny 6
A.3	8. \	Velocitat de referència del vent7
A.4	l. (Coeficient d'exposició9
A.5	5. (Coeficients de pressió exterior 10
B. S	SIMU	JLACIÓ MITJANÇANT ANSYS D'UN PANELL DE FAÇANA 12
B.1	(Característiques geomètriques del panell 12
B.2	2. (Característiques del material 12
B.3	S. [Definició entorn de treball12
B.4	. [Definició del model a simular 15
I	8.4.1	. Definició dels elements i dels materials 15
I	B.4.2	2. Creació geometria del panell 20
I	B.4.3	8. Mallat del model del panell 21
I	B.4.4	I. Condicions de contorn 25
I	B.4.5	5. Aplicació de forces i pressions 26
I	B.4.6	5. Tipus d'anàlisi del model i solució 28
B.5	i. N	/isualització de resultats

В	.6.	Addició d'un segon material	32
C.	DES	SCRIPCIÓ ELEMENT SOLID65 DEL PROGRAMA ANSYS	35
С	.1.	Descripció	35
С	.2.	Dades entrada SOLID65	36
С	.3.	Dades sortida SOLID45	38
С	.4.	Suposicions i restriccions	40
С	.5.	Restriccions de producte	41
D.	FIT	XA TÈCNICA POLIESTIRÈ EXTRUIT UTILITZAT	42
E.	INS	TAL·LACIÓ GALGA EXTENSOMÈTRICA PAS A PAS	43
F.	PAS	SSOS EXTRES PREPARACIÓ SEGON ASSAIG	49
G.	PRE	ESSUPOST	53

A. DESCRIPCIÓ EUROCODI

L'acció del vent sobre les estructures té un paper molt important en el càlcul i disseny d'aquestes. La distribució i el valor de les pressions amb que actua el vent sobre un edifici i les forces resultants depenen de la forma i les dimensions de l'edifici, de les característiques i la permeabilitat de la superfície, així com de la direcció, intensitat i ràfegues de vent.

Els principals obstacles que s'han trobat les normatives sobre l'actuació del vent són dos:

- La complexitat per descriure el comportament turbulent del vent
- La dificultat per obtenir mètodes que quantifiquin la càrrega sobre l'estructura a partir de la velocitat característica del vent.

Durant el 1975 es va començar a treballar en el desenvolupament del programa dels Eurocodis, en el qual es definiria la normativa per els projectes estructurals. Els principals objectius de l'Eurocodi eren:

- Proporcionar tècniques i mètodes moderns per el disseny d'estructures
- Homogeneïtzar el marc normatiu europeu

Les accions del vent queden recollides en l'Eurocodi 1 (EC-1). Tot seguit veurem quins són els factors que aquest té en compte per calcular les accions del vent.

A.1. Força del vent

Segons l'Eurocodi, la força global que actua sobre una estructura queda definida per la següent expressió:

$$F_v = C_s \cdot C_d \cdot q_p(z_e) \cdot c_f \cdot A_{ref}$$
(Eq. A.1)

On:

- F_v és la força global horitzontal amb la que empeny el vent

El producte C_sC_d és el factor estructural que quantifica l'efecte de la no simultaneïtat entre els pics de pressió punta del vent sobre la superfície. C_s és el factor d'escala i C_d és el factor dinàmic.
 En l'apartat 6.1 de la EN 1991-1-4 [5] defineix els criteris per el càlcul d'aquests

paràmetres, que en casos normals es poden prendre iguals a 1.

- $q_p(z_e)$ és la pressió de la velocitat punta del vent a l'altura z_e .
- C_p coeficient de força
- A_{ref} és la projecció de l'estructura sobre el pla normal del vent.

La pressió punta de la velocitat del vent es pot expressar com el producte entre la pressió dinàmica bàsica (q_b) i el coeficient d'exposició (c_e):

$$q_p(z) = c_e(z) \cdot q_b = [1 + 7 \cdot l_v(z)] \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)\right)$$
 (Eq. A.2)

On:

- q_b és la pressió de la velocitat bàsica del vent i es pot expressar:

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2 \tag{Eq. A.3}$$

- v_m és la velocitat mitja del vent, obtinguda de l'equació:

$$v_m(z) = c_r(z) \cdot c_o(z) \cdot v_b \tag{Eq. A.4}$$

On:

- c_o(z) és el factor de topografia, que es pren igual a 1 sempre que no es produeixi la canalització del vent. L'apartat 4.3.3 de la EN 1991-1-4 [5] proposa el càlcul del coeficient en casos especials.
- c_r(z) és el factor de rugositat (definit a la UNE-ENV 1991-2-4 [2])

$$c_r = k_r \cdot ln\left(\frac{z}{z_o}\right) \, si \, z \ge z_o$$
 (Eq. A.5)

$$0 \text{ bé, } c_r = k_r \cdot ln\left(\frac{z_{min}}{z_o}\right) \text{ si } z < z_o$$
(Eq. A.6)

- k_r és el factor del terreny i depèn de la longitud de la rugositat z_0 :

$$k_r = 0.19 \cdot \left(\frac{z_o}{0.05}\right)^{0.07}$$
 (Eq. A.7)

- *v_b* és la velocitat bàsica del vent:

$$v_b = c_{dir} c_{season} v_{b,0} \tag{Eq. A.8}$$

On:

- c_{dir} és el factor de direcció. Normalment es pren igual a 1
- *c*_{season} és el factor temporal (estacional) que també es pren igual a 1.
- *V_{b,0}* és el valor fonamental de la velocitat bàsica del vent, definida a l'annex nacional.

El valor de la velocitat bàsica del vent $v_b(p)$ amb una probabilitat de ser excedida p diferent de 0,02 es defineix com:

$$v_b(p) = v_b \cdot c_{prob} = v_b \cdot \left(\frac{1 - K \cdot ln[-ln(1-p)]}{1 - K \cdot ln[-ln(0,98)]}\right)^n$$
(Eq. A.9)

On K és un paràmetre que es pren igual a 0,20 i n igual a 0,50.

- $l_{\nu}(z)$ és la intensitat de la turbulència a l'altura z. Es defineix com:

$$l_{v}(z) = \frac{k_{l}}{c_{o}(z) \cdot ln\left(\frac{z}{z_{o}}\right)} o \ b\acute{e}, l_{v}(z) = l_{v}(z_{min}) \ si \ z < z_{min}$$
(Eq. A.10)

Amb k_l el factor de turbulència que es sol agafar és igual a 1.

c_e(z) és el coeficient d'exposició que relaciona la pressió dinàmica bàsica amb la pressió dinàmica de pic. Es desenvolupa segons la següent equació, considerant els coeficients c_o, c_{dir}, c_{season} i k_l iguals a 1:

$$c_e(z) = \frac{q_p(z)}{q_b} = \frac{\left[1 + 7 \cdot I_v(z)\right] \cdot \left[\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_m^2(z)\right]}{\left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2\right)}$$

$$= \left\{k_r^2 \cdot \left[ln^2\left(\frac{z}{z_o}\right) + 7 \cdot ln\left(\frac{z}{z_o}\right)\right]\right\}$$
(Eq. A.11)

Com a resultat de totes les expressions anteriors tenim que la força del vent és:

$$F_{v} = \left(\frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_{b,0}^{2}\right) \cdot \left(c_{prov}^{2}\right) \left\{k_{r}^{2} \cdot \left[ln^{2}\left(\frac{z}{z_{o}}\right) + 7 \cdot ln\left(\frac{z}{z_{o}}\right)\right]\right\} \cdot c_{f} \cdot A_{ref}$$
(Eq. A.12)

A.2. Rugositat del terreny

La rugositat del terreny ens permet obtenir, en funció de l'entorn on es troba l'estructura, la càrrega de vent que incideix en ella. La rugositat ve definida per la variable z_o que és el valor de la longitud de la rugositat.

Segons l'entorn on ens trobem, l'EC-1 defineix 5 categories diferents:

altes prestacions reforçat amb fibres

Nombre de la categoría	Descripción del terreno	Z ₀	z _{min}
Categoría 0	Mar abierto o zona costera expuesta al mar abierto.	0,003	1
Categoría I	Lagos o áreas planas y horizontales con vegetación despreciable y sin obstáculos.	0,01	1
Categoría II	Áreas con vegetación baja (hierba) y obstáculos aislados, con separación mayor de 20 veces la altura de los obstáculos.	0,05	2
Categoría III	Áreas con cobertura de vegetación uniforme o edificación con obstáculos aislados de separación máxima de 20 veces la altura de los obstáculos.	0,3	5
Categoría IV	Áreas en las que al menos un 15 % de la superficie está cubierta por edificios cuya altura media supera los 15 m.	1	10

Taula A.A-1. Categories i paràmetres del terreny segons EC-1

A.3. Velocitat de referència del vent

La velocitat de referència del vent depèn del clima característic de la regió i ve definit per una determinada categoria del terreny. Cada normativa defineix la velocitat de referència en un gràfic en funció de la localització geogràfica.

En el cas de l'Eurocodi, el mapa venia definit en la UNE-ENV 1991-2-4.1995 [5] (figura següent):



Figura A-1. Mapa europeu velocitat de referència segons EC-1

En la última versió de l'Eurocodi d'accions del vent, EN 1991-1-4.2005 [5], deixa en mans de les autoritats nacionals la definició de la velocitat de referència, i no indica cap mapa amb les dades referència de la velocitat bàsica del vent. Per tant haurem de anar al CTE-2006 [4] per trobar el valor de la velocitat bàsica. El mapa utilitzat es defineix en la figura A-2.



Figura.A-2. Mapa velocitat bàsica del vent segons CTE-2006

Com podem veure, en la versió anterior de l'Eurocodi Catalunya quedava dividida en varies zones on el valor de la velocitat bàsica del vent es trobava entre 27 i 30 m/s. En el mapa del CTE-2006 el valor és de 29 m/s.

A.4. Coeficient d'exposició

El coeficient d'exposició és el tercer factor en el càlcul de la força equivalent del vent i depèn de quatre paràmetres: el factor del terreny, la rugositat, l'altura mínima i l'altura z. Com ja hem vist en la taula anterior, l'Eurocodi diferia entre 5 tipus de terreny per tal de definir les variables de la rugositat. Per el càlcul del coeficient d'exposició tenim representat gràficament cada un dels 5 tipus de terreny amb cinc corbes que relacionen l'altura amb el coeficient d'exposició (figura A-3).



Figura A-3. Representació gràfica coeficient d'exposició per cada un dels tipus de terreny

A.5. Coeficients de pressió exterior

Si la pressió del vent actua en la superfície exterior, w_e s'ha de calcular amb la següent expressió:

$$w_e = q_p(z_e) \cdot c_{pe} \tag{Eq. A.13}$$

On:

- Z_e és l'altura de referència per la pressió externa
- C_{pe} és el coeficient de pressió per la pressió externa, el qual depèn de les dimensions de l'àrea carregada. Aquest serà = $c_{pe,10}$ si l'àrea carregada és major a 10 m².

Per parets verticals tenim els següents croquis que ens defineixen les cares d'actuació i els coeficients que corresponen, depenent de l'altura i l'amplada de l'edifici.



Figura A-4. Cares d'actuació del vent en un edifici de parets verticals

Amb la taula de la figura A-5 podem definir quin és el valor del coeficient d'exposició, entrant amb les dades de cara on volem calcular l'acció del vent i relació d/h de l'edifici.

Zona	1	١	B,	B*		С	1	D	1	E
d/h	C _{pe,10}	Cpe, 1	Cpe, 10	Cpe,1						
≤ 1	-1,0	-1,3	-0,8	-1,0	-(),5	+ 0,8	+ 1,0	-0),3
≥ 4	-1,0	-1,3	-0,8	-1,0	-(),5	+ 0,6	+ 1,0	-0),3

Figura A-5. Coeficients pressió del vent

B. SIMULACIÓ MITJANÇANT ANSYS D'UN PANELL DE FAÇANA

En aquest apartat descriurem els passos a seguir per fer les simulacions del panell de façana prefabricat de formigó UHPFRC que hem utilitzat al laboratori de construccions per fer els càlculs experimentals.

B.1. Característiques geomètriques del panell

El panell estudiat experimentalment al laboratori té una secció de 1000x10 mm² i una llargada de 1000 mm. És un panell fet de formigó d'ultra altes prestacions reforçat amb fibres.

B.2. Característiques del material

Sabem que podem trobar molta varietat de formigons UHPFRC, amb diferents dosificacions, diferents fibres, curats més o menys controlats, que fan que les propietats d'aquest variïn. Com que en el nostre cas no disposem inicialment de les característiques mecàniques del formigó que utilitzarem al laboratori, agafarem els valors usuals per representar el model.

Propietats mecàniques			
Mòdul de Young	55000 MPa		
Coeficient de Poisson	0,19		
Tensió límit a			
compressió	100 MPd		
Tensió límit a tracció	10 MPa		

Taula B-1. Propietats mecàniques UHPFRC

Aquestes dades són necessàries en els casos lineals i per als models "concrete".

B.3. Definició entorn de treball

El programa que utilitzarem per estudiar estructuralment el panell de formigó UHPFRC mitjançant el mètode dels elements finis és l'ANSYS 15.0. Cal tenir en compte que el

programa no treballa amb unes unitats definides, si no que treballa amb unitats coherents; és a dir, cal que entre elles hi hagi relació. Com que sabem que:

$$MPa = \frac{N}{mm^2}$$

durant tot l'estudi utilitzarem les següents unitats:

- Pressions, tensions i esforços: Mega Pascals (MPa)
- Forces i reaccions: Newtons (N)
- Mesures de distància: mil·límetres (mm)

Al iniciar el programa ANSYS 15.0 ens apareix la pantalla de càrrega i tot seguit ens trobem en la pantalla inicial de treball del programa ANSYS.



Figura B-1. Pantalla presentació ANSYS 15.0

ANNEXOS





Figura B-2. Pantalla inicial de treball del programa ANSYS

Com podem veure, el programa té molts camps de treball: fluids, estructures, electrònica i sistemes. És important tenir clar en quin camp estarem treballant per definir-ho al programa, i així aquest inhabilitarà totes les ordres que no siguin necessàries.

En el nostre cas únicament farem càlculs d'estructures, per tan anirem al Menú Principal, a la pestanya *Preferences* i activarem la opció *Structural*.



Figura B-3.Selecció opció Structural

Abans de començar a treballar és important preparar bé el document, amb un nom ben definit i tenir clar a quin directori el guardem per tal de poder-lo recuperar en qualsevol moment. Per tant és molt recomanable que mentre es va avançant en la simulació es vagi guardant l'arxiu.

B.4. Definició del model a simular

Un cop definit l'entorn de treball, podem començar a treballar en la simulació del nostre model. Descriurem pas a pas tot el procés que s'ha seguit per fer la simulació.

B.4.1. Definició dels elements i dels materials

El primer pas en la simulació és definir els elements i materials amb els que treballarem. Per fer-ho anirem al menú de l'esquera i executarem la següent ordre: Preprocessor > Element Type > Add Edit/Delete. S'obrirà la finestra de la figura, en la qual clicant el botó *Add..* s'obrirà la llibreria d'elements disponibles. En el nostre cas escollirem l'element SOLID65. Només ens caldrà seleccionar-lo i clicar sobre *Apply* perquè el programa ens l'afegeixi en la nostra llista d'elements.

Main Menu 🛞	P	
Main Menu	Element Types Defined Element Types: NONE DEFINED	
Sections Modeling Meshing Checking Ctrls Checking Ctrls Archive Model Coupling / Ceqn Multi-field Set Up Loads Physics		
Path Operations Solution General Postproc	Add Options	Delete
TimeHist Postpro ROM Tool Prob Design Rediation Opt	Close	Help

Figura B-4. Afegir un nou element

Avaluació estructural d'un panell de façana de formigó de molt

ANNEXOS

Library of Element Types	Structural Mass Link Beam Pipe Solid Shell Solid-Shell	Quad 4 node 182 8 node 183 Brick 8 node 185 20node 186 concret 65 concret 65
Element type reference number	1 Cancel	Help

Figura B-5. Selecció del tipus d'element

En el nostre cas, només utilitzarem un tipus d'element ja que únicament estudiarem el comportament de la placa de formigó UHPFRC. Tots els components del UHPFRC, com les fibres, ja estan definits en les propietats mecàniques d'aquest

Un cop definits els elements a utilitzar hem de introduir les constats reals dels materials. Anirem al menú Preprocessor > Real Constants > Add/Edit/Delete.

Main Menu	\otimes	A Real Constants
 Preferences Preprocessor Element Type Real Constants Add/Edit/Delete Thickness Func Material Props Sections Modeling Meshing Checking Ctrls Numbering Ctrls Archive Model 		Defined Real Constant Sets NONE DEFINED
Coupling / Ceqn Multi-field Set Up Loads Physics Path Operations Solution General Postproc TimeHist Postpro ROM Tool		Add Edit Delete Close Help

Figura B-6. Menú definició constants reals

En la finestra que ens apareix clicarem sobre el botó *Add* i en la pantalla que s'obre escollirem l'element el qual volem editar les seves constants. Com que no volem

1

Help

editar cap constant, ja que no volem cap reforç dins del formigó UHPFRC, donarem el valor de constant 1 en la primera casella i les altres les deixarem buides. Tanquem la finestra i passarem a definir les propietats mecàniques del material.



Figura B-7. Constants reals de l'element SOLID65

Per definir les propietats mecàniques anirem al menú Prepocessor > Material Props > Material Models.



Figura B-8. Menú per definir propietats mecàniques del material

Se'ns obrirà una finestra amb diferents opcions de material a utilitzar, agrupats segons característiques dels materials. En primer moment entrarem el valor del mòdul elàstic (EX) i el coeficient de Poisson (PRXY). Aquests els trobem a Structural > Linear > Elastic > Isotropic.

A Define Material Model Behavior	
Material Edit Favorite Help	
Material Models Defined	Material Models Available
Material Model Number 1	 Favorites Structural Linear Elastic Sotropic Orthotropic Anisotropic Nonlinear Density Thermal Expansion Damping Friction Coefficient Considered Materials
Linear Isotropic Mater Temperatures EX PRXY 0.19	rial Properties for Material Number 1
	OK Cancel Help

Figura B-9. Definició de les propietats del UHPFRC

Entrem els valors que anteriorment hem definit. Igual com la resta de accions, es pot fer també mitjançant transaccions en la barra superior. Per exemple, per definir el mòdul de Young i el coeficient de Poisson introduiríem les següents línies:

- **MP,EX,1,55000** : Definim la propietat EX (mòdul de Young) de l'element 1 i li donem valor 55000.
- **MP,PRXY,1,19E-2** : Definim la propietat PRXY (coeficient de Poissont) de l'element 1 i li donem valor 0,19.

Si es vol fer un càlcul elàstic, no caldria definir cap més característica. Si el que es vol és fer un càlcul no lineal necessitarem entrar més dades. Per fer-ho, anirem al mateix

menú anterior, però en aquest cas canviarem de carpeta i entrarem a Structural > Nonlinear > Inlastic > Non-metal Plasticity > Concrete. La opció *Concrete* fa un càlcul on entrant les dades de tensió límit a tracció i a compressió segueix una corba tensió deformació recta com si fos elàstica. Quan es sobrepassa algun dels límits de tensió el material pateix una ruptura fràgil.



Figura B-10. Menú definició dades estudi no lineal

En la finestra que enes apareix definim els valors límits a tracció i a compressió del formigó UHPFRC.

	-	T1	-	
emperature			_	
Open Shear Transfer Coef	1			
Closed Shear Transfer Coef	1			
Iniaxial Cracking Stress	10			
Jniaxial Crushing Stress	180			
Biaxial Crushing Stress			_	
lydrostatic Pressure			-	
lydro Biax Crush Stress	-			
lydro Uniax Crush Stress	-			

Figura B-11. Definició dels límits a tracció i a compressió del formigó UHPFRC

En els càlculs que es faran amb l'opció Concret, la definició de material finalitza en aquest punt.

B.4.2. Creació geometria del panell

El model del panell ha de tenir les característiques geomètriques que s'han definit a la introducció.

Crearem la geometria entrant un volum prismàtic mitjançant la definició de dues cantonades dels extrem. Definirem que el volum comença en el punt (0,0,0) i acaba al punt (1000,10,1000). Per entrar aquestes dimensions anirem al menú Prepocessor > Modeling > Create > Volumes > Block > By 2 Corners & Z.



Figura B-12. Introducció de la geometria del panell

Un cop introduïdes les coordenades podem visualitzar el panell.

altes prestacions reforçat amb fibres



Figura B-13. Panell amb les dimensions introduïdes

B.4.3. Mallat del model del panell

Un cop definit el volum amb la geometria desitjada, el pas següent és mallar el model. Aquest mallat ens permetrà dividir les seccions en les quals es basarà el càlcul. Com més petit fem el mallat, més seccions i mes definit serà el càlcul. Per contra, com més detallat sigui el càlcul més temps necessitarà el programa per dur-lo a terme. Cal trobar un valor en el que l'estudi sigui prou acurat i el temps acceptable.

Per fer-ho utilitzarem l'eina que ens proporciona el programa ANSYS, la trobem al menú Preprocessor > Meshing > Mesh Tool. La finestra que se'ns obre ens permet definir totes les opcions necessàries per fer la malla que desitgem.

En aquest cas farem un mallat amb elements cúbics, ja que és el cas en el que l'element sòlid 65 millor treballa. Donarem una separació de 10 mm entre cada línia de separació de la malla, al ser el mateix valor que el gruix de la placa crearem elements cúbics.

ANNEXOS

altes prestacions reforçat amb fibres



Figura B-14. Finestra Mesh Tool

En la part superior hi trobem *Element Attributes*, aquest ens permetrà, clicant al botó *Set*, escollir, si tenim més d'un element definit, quin material volem que sigui el volum que mallarem. Per exemple, en pròxims apartats, quan haguem de mallar el formigó o la placa aïllant, escollirem el material des d'aquest punt.

En l'apartat *Size Controls > Global* cliquem sobre *Set.* En la finestra que ens apareix podem definir la separació entre línies del mallat o el total de línies sobre la superfícies. En el nostre cas diem que volem una separació de 10. En l'apartat *Mesh* hem de seleccionar *Hex* i *Mapped*, així aconseguirem un mallat amb elements rectangulars.

Avaluació estructural d'un panell de façana de formigó de molt

ANNEXOS

altes prestacions reforçat amb fibres

	MeshTool
rkPlane Parameters Macro MenuCtris Help	Element Attributes:
VOLIMES TYPE NUM	Fine 6 Coarse
Global Element Sizes	Global Set Clear
ESIZE] Global element sizes and divisions (applies only to "unsized" lines)	Lines Set Clear
IZE Element edge length 10 VDIV No. of element divisions - 0 - (used only if element edge length, SIZE, is blank or zero)	Copy Flip Layer Set Clear Keypts Set Clear
OK Cancel Help	Mesh: Volumes -
	C Free Mapped C Sweet 3 or 4 sided
	Refine at: Elements
	Refine

Figura B-15. Definim el mallat desitjat

Un cop definits els paràmetres del mallat, el programa ens demana que seleccionem el volum que volem mallar. Només cal seleccionar el panell que ja tenim dibuixat i prémer OK, i el volum que teníem passa a ser un nombre molt gran d'elements. El resultat del volum mallat és el de la figura B-16.



Figura B-16. Panell mallat

Si fem zoom per veure amb més detall el mallat podrem veure la forma cúbica que li hem donat a cada element de la malla.



Figura B-17. Detall del mallat cúbic realitzat

B.4.4. Condicions de contorn

El següent pas és definir les condicions de contorn que aplicarem al panell.

En un primer estudi les condicions de contorn que aplicarem seran dos suports al llarg de dos arestes oposades.

Per definir les condicions de contorn anirem al menú Solution > Define Loads > Apply > Structural > Displacement > i escollim l'element on volem aplicar les condicions de contorn, pot ser sobre línies, àrees, nodes, etc. Ens apareixerà una finestra que ens permetrà seleccionar els elements que desitgem i on podem definir quin són els moviment que limitarem.



Figura B-18. Menú selecció de línies per definir condicions de contorn

Seleccionem dues arestes oposades i definim que volem bloquejar el moviment d'aquestes en tots els eixos.



Figura B-19. Panell recolzat per dues arestes oposades

B.4.5. Aplicació de forces i pressions

Una vegada definides les condicions de contorn passarem a aplicar les pressions i forces que ha de suportar el panell. En un primer anàlisi només aplicarem la pressió pic que hem trobat en el càlcul de l'acció del vent, que és de 1,47 KN/m².

Com que hem dit que preníem com a unitats bàsiques de la força el N i de la longitud el mm, haurem d'aplicar: $1,47 \cdot 10^{-3}$ N/mm².

Anirem al menú de l'esquerra, Solution > Define Loads > Apply > Structural > Pressure > On Areas.

ANNEXOS

altes prestacions reforçat amb fibres



Figura B-20. Menú selecció àrees per aplicar pressió

Seleccionem l'àrea superior i apliquem al força obtinguda.

Apply PRES on areas				~
[SFA] Apply PRES on are	as as a	Con	stant value	•
f Constant value then:				
VALUE Load PRES value	1	1.47	E-3	
LKEY Load key, usually	face no.	1		
(required only for sh	ell elements)			
OK	Apply	Cancel	Help	

Figura B-21. Valor de la pressió aplicada

B.4.6. Tipus d'anàlisi del model i solució

Abans de executar la solució del model cal que definim quines és el tipus d'anàlisi que volem aplicar en l'estudi del model. Per fer-ho anirem al menú Solution > Analysis Type > Sol'n Controls.

En tots els casos aplicarem les mateixes condicions d'anàlisi, especificades en la figura B-22.



Figura B-22. Definició tipus d'anàlisi

A la finestra que ens apareix, a la pestanya Basic definim que volem que el sistema faci l'anàlisi en 10 *substeps* i escollim la opció *Write every step.* Això significa que el programa aplicarà les forces i pressions definides progressivament dividint-les en 10 iteracions. Cada una d'aquestes iteracions les calcularà per separat i un cop feta la solució les podrem estudiar individualment i veure l'evolució de l'estructura a mesura que la força creix fins al valor final. Hem de analitzar el model amb un nombre d'iteracions no massa elevat, ja que com més iteracions i més elements tingui el model, més temps tardarà l'ordinador a fer el càlcul.

Quan ja tenim definit l'anàlisi només falta solucionar l'estructura, Solution > Solve > Current LS.

Avaluació estructural d'un panell de façana de formigó de molt

altes prestacions reforçat amb fibres

ANNEXOS



Figura B-23. Menú solucionar el model

B.5. Visualització de resultats

Per la visualització dels resultats podem fer-ho gràficament o per llistats. Les dues opcions les trobem en el menú principal a General Postproc.

Si anem a General Postproc > List Results > Nodal Solution podem llegir tots els resultats del càlcul en llistat per cada un dels nodes definits. De igual manera podem trobar els resultats per els elements, anant al menú Element Solution.

Per visualitzar els resultats gràficament anirem al menú General Postpoc > Plot Results i podem escollir diferents opcions. Per exemple, podem veure el panell deformat clicant sobre la opció Deformed Shape. Avaluació estructural d'un panell de façana de formigó de molt

altes prestacions reforçat amb fibres

ANNEXOS







Figura B-25. Deformació del model representat

Amb el mateix menú també podem visualitzar gràficament les tensions dels nodes en qualsevol de les tres direccions. Per exemple, si les volem obtenir en l'eix Z hem de fer: General Postproc > Plot Results > Contour Plot > Nodal Solu i a la finestra que se'ns obre escollir Nodal Solution > Stress > Z-Component of stress. El resultat obtingut és el mostrat en la figura B-27.



Figura B-26. Menú representació gràfica de les tensions en l'eix Z



Figura B-27. Tensions en l'eix Z

B.6. Addició d'un segon material

Per tal de simular el segon assaig, on tenim juntament amb el panell de formigó una placa de poliestirè extruït, hem afegit al model anterior un nou element repetint el passos descrits anteriorment. Només s'han introduït les dades de l'assaig lineal del material.

Propietats mecàniques	
Mòdul de Young	12 MPa
Coeficient de Poisson	0,12

Taula B-2. Propietats mecàniques del panell de poliestirè extruït

Un punt important al utilitzar dos materials és que hem de definir diferents volums. L'àrea de la placa aïllant és menor que la del panell de formigó UHPFRC i això pot ser un problema alhora de mallar el model ja que perquè el mallat es traspassi correctament de volum a volum és important que les àrees de contacte siguin iguals.

Per tant hem dividit el problema en 4 volums: 3 que formaran el panell de formigó i un que serà la placa de poliestirè. En la figura B-28 podem diferenciar els quatre volums.



Figura B-28. Model dos materials creat amb 4 volums

Un cop tenim creats els volums necessaris cal que definim al programa que treballen conjuntament, per tant els hem d'unir. Per fer-ho anirem al menú Preprocessor > Modeling > Operate > Booleans > Glue > Volumes. Com que en el nostre cas volem unir tots els volums, seleccionem la opció Pick All.



Figura B-29. Menú Glue

Amb els volums units podem realitzar el mallat. El farem igual que en el model anterior tenint en compte que en aquest cas hem de definir dos materials diferents.

Començarem mallant la placa de poliestire. Anirem al menú de mallat i a l'opció superior clicarem sobre el botó set. A la pantalla que ens apareix escollirem l'element 2, que és el que li correspon quan hem definit propietats dels materials.

Escollim el tipus d'element 2 SOLID65, el material 2 i la constant real 2.

Avaluació estructural d'un panell de façana de formigó de molt

ANNEXOS

altes prestacions	reforçat amb	fibres
-------------------	--------------	--------

Default Attributes for Meshing		Element A	ttributes:	
[TYPE] Element type number	2 SOLID65	Global		Set
[MAT] Material number	2	E Smort (Zino	
[REAL] Real constant set number	2 💌	1 Shiairs	5126	Þ
[ESYS] Element coordinate sys	0 🗸	Fine	6	Coarse
SECNUM] Section number	None defined 👻	Size Contro	ols:	
		Global	Set	Clear
		Areas	Set	Clear
		Lines	Set	Clear
			Сору	Flip
OK Cancel	Help	Layer	Set	Clear
		Keypts	Set	Clear

Figura B-30. Escollim el material en funció del volum a mallar

Ajustem la mida del mallat que desitgem i cliquem sobre el botó Mesh. Seleccionem el volum que defineix la placa aïllant i pulsem OK.

Repetim el procés per els altres 3 volums tenint en compte que hem de tornar a definir el material número 1, que és el formigó UHPFRC.

A partir d'aquest punt, tots els següents, de definició de condicions de contorn, aplicació de càrregues, obtenció de la solució i lectura de resultats són idèntics als explicats en el primer model.

C. DESCRIPCIÓ ELEMENT SOLID65 DEL PROGRAMA ANSYS

En el següent annex descriurem l'element que hem utilitzat en la modelització del panell de formigó UHPFRC d'aquest projecte, l'element SOLID65.

C.1. Descripció

L'element SOLID65 s'utilitza per elaborar models tridimensionals de sòlids amb o sense barres de reforç. El sòlid és capaç de fissurar-se en el cas d'aplicar forces de tracció i d'aixafar-se al aplicar forces de compressió. En les aplicacions per formigó, per exemple, la capacitat del sòlid es pot utilitzar per a fer el model del formigó i la capacitat de les barres de reforç per fer el model del comportament de l'armadura de reforç.

Altres casos en els quals l'element també és aplicable serien materials compòsits, com la fibra de vidre, i materials geològics, com la roca.

L'element està definit per vuit nodes amb tres graus de llibertat cadascun: translacions en les direccions nodals x, y i z. I es poden definir fins a tres tipus de diferent reforç.

L'element SOLID65 és similar al SOLID45 (sòlid estructural tridimensional), amb l'afegit de les capacitats de fissuració i plastificació. L'aspecte més important d'aquest element és el tractament de les propietats no lineals dels materials. El sòlid és capaç d'esquerdar-se (en tres direccions ortogonals), d'aixafar-se, de deformar-se plàsticament i de fluir. Les armadures del formigó tenen la capacitat de suportar tensions i compressions, però no esforços tallants. També tenen capacitat de deformar-se plàsticament.



Figura C-1. Element SOLID65

C.2. Dades entrada SOLID65

La geometria, les ubicacions dels nodes i el sistema de coordenades per aquest element es mostren a la figura B-1. L'element està definit per vuit nodes i per característiques isotròpiques dels materials. L'element té un material sòlid i fins a tres materials de reforç.

Els reforços tenen unes especificacions que s'entren con a *Real Constants*, i que inclouen el número de material definit, el rati de volum i els angles d'orientació (teta i phi). Les orientacions de les barres de reforç també es poden definir gràficament.

La relació de volum es defineix com el volum de les barres de reforç dividit pel volum total de l'element . L'orientació està definida per dos angles (en graus) del sistema de coordenades de l'element. Un nombre de barres de reforç igual a zero o igual al nombre del material de l'element elimina aquesta capacitat de reforç.

Les dades addicionals del sòlid, com ara els coeficients de transferència per tallant, les tensions de tracció i de compressió s'entren al model per la taula de dades del material. El coeficient de transferència del tallant té un rang que va de 0 a 1, essent 0 la fissura llisa (pèrdua completa de transferència de tallant) i 1 la fissura en aspra

(sense pèrdua de transferència de tallant). Aquesta especificació es pot fer tan per una esquerda tancada com per una esquerda oberta.

Les càrregues puntuals s'apliquen als nodes, mentre que les pressions es poden entrar com a càrregues superficials a les cares de l'element. Les pressions positives actuen cap a l'element. Les temperatures i fluències es poden entrar com a càrregues corporals als nodes de l'element.

L'element incorpora varies comandes opcionals que ens poden ajudar a resoldre el models:

- KEYOPT (1): s'utilitza per activar o desactivar els desplaçaments addicionals de al secció.
- KEYOPT (5) i KEYOPT (6): ofereixen diverses opcions per obtenir les solucions de l'element, segons si preferim que els càlculs es facin al centroide de l'element o als punts d'integració.
- La relaxació de tensions va associada amb KEYOPT (7)=1, i només s'utilitza per ajudar a accelerar la convergència dels càlculs quan la fissuració és imminent. (Es pot introduir un multiplicador per la quantitat de relaxació amb la constat C9 a la taula de dades del model "concrete"). La relaxació no representa una relació de tensió-deformació per al comportament posterior a la fissuració. Després que la solució convergeixi a l'estat fissurat, el mòdul normal a la cara esquerdada s'estableix a zero.

L'element incorpora un model pel material especialment pensat per modelitzar formigó, el model "concrete". Aquest model ens presenta una sèrie de constants que ens ajudaran a definir el comportament desitjat del material. Les constants i la seva definició al trobem a la taula C-1.

altes prestacions reforçat amb fibres

Constant	Meaning
1	Shear transfer coefficients for an open crack.
2	Shear transfer coefficients for a closed crack.
3	Uniaxial tensile cracking stress.
4	Uniaxial crushing stress (positive).
5	Biaxial crushing stress (positive).
6	Ambient hydrostatic stress state for use with constants 7 and 8.
7	Biaxial crushing stress (positive) under the ambient hydrostatic stress state
	(constant 6).
8	Uniaxial crushing stress (positive) under the ambient hydrostatic stress
	state (constant 6).
9	Stiffness multiplier for cracked tensile condition, used if KEYOPT(7)=1
	(defaults to 0.6).

Taula C-1. Constants per el model "concrete"

Si les constants de la taula B-1 no es defineixen es desactivarà la capacitat de fissuració i plastificació. Introduir el valor -1 a les constants 3 i/o 4 desactivarà la capacitat de fissuració i plastificació, respectivament. Si entren valors a les 4 primeres constants però no de la 5 a la 8 s'agafaran els valors per defecte. Si n'introduïm alguna de la 5 a la 8, les altres s'agafaran els valors per defecte.

C.3. Dades sortida SOLID45

Les dades de sortida associades a l'element es presenten de dues formes diferents:

- Desplaçaments nodals inclosos en la solució nodal global.
- Solucions dels elements que formen el model

La figura B-2 mostra diversos models de sortida de dades. Les direccions de les tensions de l'element són paral·leles al sistema de coordenades del propi element. La solució no lineal del material només apareix si s'especifiquen les propietats no lineals. Només apareixeran les solucions del reforç per les barres de reforç definides. Si són possibles la fissuració o la plastificació, podem tenir solucions als punts d'integració del sòlid des del moment que ocorrin. Amb la comanda PLCRACK (gràfic de les fissuracions) podem mostrar l'estat dels punts d'integració.

En la taula C-2 es mostren totes les possibles sortides de dades de l'element SOLID65.

Name	Definition
EL	Element number
NODES	Nodes - I, J, K, L, M, N, O, P
MAT	Material number
NREINF	Number of rebars
VOLU:	Volume
PRES	Pressures P1 at nodes J, I, L, K; P2 at I, J, N, M; P3 at J, K, O, N;
	P4 at K, L, P, O; P5 at L, I, M, P; P6 at M, N, O, P
TEMP	Temperatures T(I), T(J), T(K), T(L), T(M), T(N), T(O), T(P)
FLUEN	Fluences FL(I), FL(J), FL(K), FL(L), FL(M), FL(N), FL(O), FL(P)
CENT: X, Y, Z	Global X, Y, Z location
S:INT	Stress intensity
S:EQV	Equivalent stress
EPEL: X, Y, Z, XY, YZ, XZ	Elastic strains
EPEL: 1, 2, 3	Principal elastic strains
S: X, Y, Z,	Stresses
XY, YZ, XZ	
S: 1, 2, 3	Principal stresses
THETCR,	THETA and PHI angle orientations of the crack
PHICR	
STATUS	Element status
IRF	Rebar number
MAT	Material number
VR	Volume ratio
THETA	Angle of orientation in X-Y plane
PHI	Angle of orientation out of X-Y plane
EPEL	Uniaxial elastic strain
S	Uniaxial stress
EPPL: X, Y, Z, XY, YZ, XZ	Average plastic strains
NL:EPEQ	Average equivalent plastic strain
NL:SRAT	Ratio of trial stress to stress on yield surface
NL:SEPL	Average equivalent stress from stress-strain curve
NL:HPRES	Hydrostatic pressure
EPCR: X,Y,Z,	Average creep strains
XY, YZ, XZ	
EPEL	Average uniaxial elastic strain
EPPL	Average uniaxial plastic strain
SEPL	Average equivalent stress from stress-strain curve
EPCR	Average uniaxial creep strain

Taula C-2. Definició dades de sortida de l'element SOLID65



Figura C-2. Dades sortida SOLID65

C.4. Suposicions i restriccions

- No estan permesos elements de volum igual a zero.
- Els elements es poden numerar com desitgem i les cares IJKL i MNOP poden ser intercanviades. A més, l'element no pot ser torçat de tal manera que quedin dos volums separats. Això passa amb més freqüència quan els elements no estan numerats correctament.
- Tots els elements han de tenir 8 nodes.
- Un element prismàtic es pot formar mitjançant la definició per duplicat de K i L si dupliquem els números dels nodes O i P. És possible crear una forma tetraèdrica.
- Sempre que s'utilitzin barres de reforç assumirem que les propietats de reforç es troben repartides als elements juntament amb les del sòlid. La suma de les relacions de volum per a totes les barres de reforç no ha de ser major a 1.
- L'element és no lineal i requereix una solució iterativa.
- Quan utilitzem la fissuració i plastificació de manera conjunta s'ha de tenir cura per aplicar la carrega lentament per prevenir un possible trencament fictici del formigó abans de la transferència adequada de la càrrega. Això passa

generalment quan excessives tensions per fissuració s'ajunten a les direccions ortogonals degut a l'efecte de Poisson. A més, en aquests punt d'integració, on s'ha produït l'aixafament, les deformacions plàstiques de sortida i les tensions d'esquinçament són de la iteració anterior. A més, quan s'ha produït la fissuració, la deformació elàstica inclou la deformació per la fissura. La resistència tallant perduda dels elements fissurats i/o aixafats no es pot transferir al reforç, ja que aquest no presenta cap rigidesa tallant.

- Les dues opcions següents no són recomanables si la fissuració o la plastificació estan activades:
 - o L'efecte tensió rigidesa
 - Deformacions i fletxes grans. Els resultats poden no convergir o poden ser incorrectes, especialment si hi ha una rotació significativa.

C.5. Restriccions de producte

No hi ha restriccions de producte específics per aquest element.

ANNEXOS

D. FITXA TÈCNICA POLIESTIRÈ EXTRUIT UTILITZAT



Resistencia a compresión EN 826 250 kPa ≤5% Estabilidad dimensional (23°C y 90%) EN 1604 Deformación bajo carga y temperatura EN 1605 ≤5% Absorción inmersión total EN 12087 ≤0,7% Resistencia hielo - deshielo FT2 EN 12

Código	Espesor mm	Ancho m	Largo m	Resistencia térmica m²-K/W	Disponible	Ud /paquete	m² /paquete	m² /palet
2120079	30	0,60	1,25	0,90	Stock	14	10,50	126,00
2133755	40	0,60	1,25	1,20	Stock	.9	6,75	94,50
2108498	50	0,60	1,25	1,50	Stock	8	6,00	72,00
2111614	60	0.60	1,25	1,80	Consultar	T	5,25	63.00
2138655	30	0.60	2,60	0,90	Stock	14	21,84	262,00
2138668	40	0.60	2,60	1,20	Stock	9	14,04	196,50
2108415	50	0,60	2,60	1,50	Stock	8	12,48	149.76
2108496	60	0.60	2.60	1.80	Stock	7	10,92	131.04

		VE	RDE		14 1	LEED V.3	BREEAM / LEED V.4	
Espesor mm	Módulos A1-A3		3 Módulo A4	Módulo A5	1 material	1 en peso del producto	1 en peso de producto	
	E. PRIMARIA MJ/m²	CO ₂ kg/m²	Kg/m² cálculo transp	Residuos Kg/m2	reciclado post- consumer	extraido y fabricado a más de 500 millas (aprox. 800 kms)	extraído y fabricado a menos de 500 millas (aprox. 800 kms)	Declaración ambiental de producto
30	87,25	3,81	0,93	0,019	≥30	49%	51%	v
40	116.34	5,09	1.24	0,025	230	49%	513	V
50	145,42	6,36	1,55	0,031	≥30	49%	51%	V
60	174,51	7,63	1,86	0,037	≥30	49%	51%	¥
30	87,25	3,81	0,93	0,019	≥30	49%	51%	2
40	116.34	5.09	1,24	0,025	≥30	49%	513	V
50	145,42	6,36	1,55	0,031	≥30	49%	51%	v
60	174.51	7.63	1.86	0.037	>30	491	511	¥









Excelente aislamiento térmico Excelente resistencia frente al agua

Excelente resistencia mecánica

Reciclable

E. INSTAL·LACIÓ GALGA EXTENSOMÈTRICA PAS A PAS

A continuació descriurem pas a pas el mètode seguit per la col·locació de la galga extensomètrica sobre el panell de formigó.

<u>Primer pas</u>

El primer pas serà preparar la zona on volem instal·lar la galga. Primer de tot marcarem amb llapis i regle l'eix en el que volem la galga. És molt important que la superfície on col·loquem la galga sigui neta i llisa. Per tant, netejarem molt bé la zona i aplicarem un desengreixant que no reaccioni amb el material que estem assajant.

<u>Segon pas</u>

Tot seguit, amb paper de vidre o una polidora mecànica intentarem eliminar totes les rugositats i porus que hi puguin haver en la superfície de contacte amb la galga. Per una correcte lectura és important que la superfície sigui totalment llisa. Un cop hem deixat al superfície llisa, tornem a netejar-la per treure les restes que hagin pogut quedar de l'operació, i ja tindrem la zona llesta.

<u>Tercer pas</u>

Per tal de col·locar la galga ens ajudarem amb un tall de cinta autoadhesiva que ens permetrà presentar correctament la galga abans d'aplicar l'adhesiu. Així, primer de tot, presentarem la cinta en la zona exacte on volem col·locar la galga, fent-la coincidir amb l'eix que anteriorment hem dibuixat.



Figura E-1. Presentem la cinta a l'eix on volem la galga

<u>Quart pas</u>

Ajudant-nos amb unes pinces traiem la galga de dins del seu estoig, aixequem la cinta d'un dels seus extrems sense desenganxar-la del tot i col·loquem la galga just al centre. Un cop la tenim ben centrada i amb molt de compte tornem a baixar la cinta adhesiva, vigilant no doblegar en cap moment la galga.



Figura E-2. Separem parcialment la cinta per col·locar la galga



Figura E-3. Enganxem la cinta deixant la galga en el punt que ens interessa

<u>Cinquè pas</u>

Aixequem la cinta adhesiva amb la galga i apliquem l'adhesiu en tota la superfície.



Figura E-4. Apliquem adhesiu a la part inferior de la galga

<u>Sisè pas</u>

Tornem a baixar la cinta de manera que la galga quedi situada en la posició definitiva que desitgem. Per tal d'assegurar-nos que queda ven adherida farem uns minuts de pressió amb l'ajuda d'un pes i un tall de paper de tefló per tal de no tocar l'adhesiu directament amb cap altre material.



Figura E-5. Apliquem uns minuts de pressió per assegurar que la galga quedi ben adherida

<u>Setè pas</u>

Passat un temps prudencial, desenganxem la cinta autoadhesiva quedant la galga enganxada a la superfície de formigó. Cal realitzar aquesta operació lentament per tal de que la cinta surti bé i la galga quedi al seu lloc.



Figura E-6. Galga adherida a la posició desitjada

<u>Vuitè pas</u>

Aplicarem sobre la galga un protector contra els possibles cops que pugui patir durant al manipulació del panell i també si fos el cas de les condicions ambientals.



Figura E-7. Galga amb protecció contra cops i factors ambientals

<u>Novè pas</u>

Un cop hem acabat el procés de instal·lació, cal soldar els cables de la galga amb els terminals de l'equip amb estany i protegir-los amb cinta aïllant. En aquest punt podem comprovar que les resistències segueixen sent les nominals.



Figura E-8. Soldem la galga a l'equip per recollir dades

Acabat aquest pas tenim la galga col·locada i instal·lada en el seu lloc.



Figura E-9. Galga col·locada a la part central del panell amb el procés acabat

F. PASSOS EXTRES PREPARACIÓ SEGON ASSAIG

En el present annex descriurem els passos extres que hem seguit en la preparació del segon assaig, on hem unit al panell de formigó una placa de poliestirè extruït que treballarà com aïllant.

Tal com hem comentat a la presentació del material, disposem de dues plaques de poliestirè extruït de dimensions 1250x600x40 mm amb mecanitzat lateral mascle-femella. Ens interessa tenir una única placa de 1000x940x40 per tal de cobrir tot el panell menys les zones de recolzament.

Per tant el primer pas és unir les dues plaques per el mecanitzat lateral mascle-femella i amb l'ajuda d'un regle de metre i un llapis dibuixar la secció que ens interessa.



Figura F-1. Plaques poliestirè extruït utilitzades en l'assaig marcades

Tot seguit, i amb l'ajuda d'una serra vertical tallem les prats sobrants per quedar-nos amb la secció que desitgem. Per unir la placa aïllant amb el panell de formigó hem utilitzat adhesiu de contacte especial per poliestirè i ens hem ajudat d'una brotxa per repartir la cola per tota la superfície.



Figura F-2. Cola especial per poliestirè utilitzada en l'assaig

Per tal que la placa de poliestirè treballi correctament és molt important que la unió entre els dos materials sigui forta. La unió es va fer amb 48 hores d'antelació per tal que l'adhesiu tingues temps suficient per reaccionar i treballar en les millors condicions.

En aquest segon estudi, com que la cara on col·loquem l'aïllant és on el panell pateix les tensions a tracció, i és la mateixa cara on volem instal·lar la galga, amb l'ajuda d'un cúter haurem de fer un petit forat rectangular al centre per poder accedir-hi.



Figura F-3. Foradem el poliestirè per col·locar la galga

Un cop tenim l'espai creat per instal·lar la galga repetirem exactament el mateix procediment que en el primer estudi, explicat en l'annex E, incidint especialment en els primers passos referents a deixar la zona ben neta i llisa.

És important que en aquest segon estudi donem molta importància a la neteja de la zona ja que hi trobarem restes de cola que hem d'eliminar per complert. Repetirem la resta de passos fins a tenir la galga instal·lada correctament.



Figura F-4. Galga adherida al panell de formigó



Figura F-5. Instal·lació de la galga extensomètrica per el segon assaig

Una vegada tenim la galga col·locada, recolzarem el panell amb les mateixes condicions de contorn que el primer estudi.

G. PRESSUPOST

Per calcular el pressupost destinat a l'elaboració del present projecte, s'han tingut en compte els següents costos:

- Mà d'obra: aquests inclouen la recerca bibliogràfica sobre el material i la caracterització de les propietats, els assaigs experimentals realitzats al laboratori, la modelització dels assaigs mitjançant el programa ANSYS, l'estudi dels resultats i la redacció del projecte.
- Amortitzacions: aquests costos representen les amortitzacions dels programes informàtics utilitzats (*hardware* i *software*) com també dels equips utilitzats durant els assaigs. Hem tingut en compte que l'amortització dels equips del laboratori és de un 1% per dia utilitzat i el programa informàtic ANSYS hem dividit el cost de l'actualització anual per els 365 dies que té l'any.
- Material: costos associats a tot el material utilitzat per fer els assaigs al laboratori.

Trobem els costos de la realització d'aquest projecte en la taula G.1, considerant que el preu hora d'un enginyer de la construcció és de 20€.

Avaluació estructural d'un panell de façana de formigó de molt

altes prestacions reforçat amb fibres

ANNEXOS

CONCEPTE	UNITATS	PREU UNITARI	AMORTITZACIÓ	СОЅТ
Mà d'obra				
Recerca bibliogràfica i caracterització propietats material	65 hores	20 €/hora		1300€
Assaigs experimentals	30 hores	20 €/hora		600€
Modelització ANSYS	50 hores	20 €/hora		1000€
Estudi resultats	40 hores	20 €/hora		800€
Redacció projecte	60 hores	20 €/hora		1200€
			Subtotal	4900€
Amortització				
Programes informàtics (ANSYS)	90 dies	6000€	16,44 €/dia	1479,60€
Equips laboratori	3 dies	7000€	1 %/dia	210€
			Subtotal	1689,60€
Material				
Material assaigs laboratori	1 unitat	200€		200€
			Subtotal	200€
Subtotal				6789,60€
Costos indirectes (10%)				678,96€
Cost execució projecte sense IVA				7468,56€

Taula G-1. Costos realització del projecte

Per tant, l'execució del projecte a falta de l'IVA té un cost total de SET MIL QUATRE-CENTS SEIXANTA-VUIT EUROS AMB CINQUANTA-SIS CÈNTIMS (7468,56 €)