



(12) FASCICULE DE BREVET

(11) N° de publication : **MA 33686 B1** (51) Cl. internationale : **C04B 14/48**

(43) Date de publication :
01.10.2012

(21) N° Dépôt :
34794

(22) Date de Dépôt :
20.04.2012

(30) Données de Priorité :
20.10.2009 ES P200902042

(86) Données relatives à l'entrée en phase nationale selon le PCT :
PCT/ES2010/000422 15.10.2010

(71) Demandeur(s) :
**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA, C/ Jordi Girona, 31 E-08034
Barcelone (ES)**

(72) Inventeur(s) :
**VALLS, Roser ; KLEIN, Nayara ; AGUADO DE CEA, Antonio ; MOLINS BORRELL,
Climent**

(74) Mandataire :
M. MEHDI SALMOUNI-ZERHOUNI

(54) Titre : **BÉTON À ULTRA HAUTE RÉSISTANCE ARMÉ AVEC DES FIBRES D'ACIER**

(57) Abrégé : L'INVENTION CONCERNE UN BÉTON À ULTRA HAUTE RÉSISTANCE ARMÉ DE FIBRES D'ACIER, LEQUEL BÉTON COMPREND: AU MOINS UN CIMENT PORTLAND DE CATÉGORIE CEM I DANS UNE PROPORTION COMPRISE ENTRE 600 ET 800 KG/M3, AVEC UNE RÉSISTANCE À LA COMPRESSION APRÈS 28 JOURS, DE 52,5 MPA MINIMUM; DES AGRÉGATS DANS UNE PROPORTION DE 900 À 1300 KG/M3, DES FIBRES DE RENFORT AJOUTÉES, LESQUELLES COMPRENNENT AU MOINS UNE FIBRE D'ACIER, DANS UNE PROPORTION DE 150 À 210 KG/M3; DES CHARGES DANS UNE PROPORTION DE 25 À 45 KG/M3, Y COMPRIS DU CARBONATE DE CALCIUM NATUREL ET DE LA NANOSILICE; ET UN ADDITIF SUPERPLASTIFIANT À BASE DE POLYCARBOXYLATES DANS UNE PROPORTION DE 45 À 55 KG/M3; ET DE L'EAU POTABLE POUR PERMETTRE LE MÉLANGE DANS UNE PROPORTION DE 125 À 160 KG/M3.

ABRÉGÉ

Béton à ultra haute résistance armé avec des fibres d'acier,
qui comprend:

- 5 • au moins un ciment Portland de catégorie CEM I dans une proportion de 600-800 kg/m³, avec une résistance à la compression après 28 jours minimale de 52,5 Mpa ;
- des agrégats dans une proportion de 900-1300 kg/m³,
- des fibres de renforts ajoutées, comprenant au moins une fibre d'acier, dans une proportion de 150-210 kg/m³ ;
- 10 • des charges dans une proportion de 25-45 kg/m³, y compris du carbonate de calcium naturel et de la nanosilice ; et
- un additif superplastifiant à base de polycarboxylates dans une proportion de 45-55 kg/m³ ; et
- de l'eau potable pour le mélange dans une proportion de 125-160 kg/m³.

01 OCT 2012

BÉTON À ULTRA HAUTE RÉSISTANCE ARMÉ AVEC DES FIBRES D'ACIER

La présente invention s'inscrit dans le domaine des bétons à ultra haute résistance renforcés par l'incorporation de fibres métalliques dans le mélange. Le béton de la présente invention trouve une application particulière, bien qu'il ne se limite pas à celle-ci, dans la production de plafonds préfabriqués de façades pour des bâtiments réalisés avec des procédés hautement industrialisés.

10 Antécédents de l'invention

On connaît, au moins depuis 1990, des bétons à ultra haute résistance armés avec l'incorporation entre autres de fibres d'acier, dits UHPFRC pour leurs sigles en anglais (ultra high performance fibre reinforced concrete).

Dans les brevets US 6478867, US6080234, FR2633922, DE3734327, EP934915 et EP1984310 on décrit divers exemples de compositions de bétons à haute résistance et à ultra haute résistance avec la participation de fibres d'acier, en général en combinaison avec d'autres fibres, en particulier des fibres organiques, pour leur application dans des bâtiments et des structures de voirie en fournissant de bonnes propriétés mécaniques et une résistance élevée à l'impact.

20 La présente invention apporte une nouvelle formulation de béton, alternative à celles connues dans l'état de l'art et spécialement adaptée pour son application à des bâtiments avec des plafonds ou des panneaux de façades préfabriqués.

Brève exposition de l'invention

25 Le béton UHPFRC de cette invention a pour but de fournir les propriétés mécaniques suivantes:

Résistance à flexo-traction $f_{ct, fl, k} = 30 \text{ N/mm}^2$

Résistance à la traction $f_{ct, k} = 10 \text{ N/mm}^2$

Résistance à la compression $f_{ck} = 100 \text{ N/mm}^2$

30 On a prévu l'utilisation de fibres métalliques de 13 mm de longueur et 0,2 mm de diamètre avec une participation au volume total du béton de 2%.

Les matériaux utilisés comprennent dans une mise en œuvre préférée deux types de ciment: du ciment gris Portland provenant de la société UNILAND y du ciment gris Portland de la société CEMENTOS MOLINS, selon les spécifications suivantes:

- 35
- ciment Portland d'UNILAND: ciment Portland gris.
 - ciment Portland de CEMENTOS MOLINS: est un ciment Portland gris 35 de catégorie CEM I et de résistance à la compression très élevée 52,5 R, c'est à dire une résistance à la compression après 28 jours minimale de 52,5 Mpa, des valeurs de 58 MPa étant habituelles,

40 bien qu'il est possible d'utiliser seulement le deuxième de ces ciments.

Le reste des matériaux utilisés dans le mélange pour la formation de ce béton sont :

- des agrégats: deux types de sable:
 - du sable calcaire beige de 0-1 mm de taille de grain ; et
 - du sable de silice de 0-7 mm de taille de grain ;
- 5 - des fibres de renfort ajoutées:
 - une fibre d'acier OL 13/0,20, et
 - trois types de fibres de PVA (poly(acétate de vinyle)) lesquels sont REC (S) 100x12, REC 15x8 et REC 15x12 ;
- des charges: carbonate de calcium naturel et nanosilice ;
- 10 - de l'additif superplastifiant à base de polycarboxilates
- de l'eau potable pour le mélange.

Brève description des dessins

15 La figure 1 montre les résultats de l'essai d'égouttement du béton pour la caractérisation à l'état frais du béton UHPFRC de cette invention.

La figure 2 montre les résultats de résistance à la compression des bétons fabriqués selon cette invention.

La figure 3 montre les résultats de résistance à la traction desdits bétons.

20 Description détaillée d'un exemple de mise en œuvre préférée

Les matériaux constitutifs du béton précités sont obtenus chez divers fournisseurs:

- les ciments de sociétés CEMENTOS MOLINS et UNILAND ;
- le carbonate de calcium naturel est fabriqué à partir de calcite sélectionnée, avec un haut degré de pureté, un faible contenu en oxyde de fer et l'absence de métaux lourds ; on utilise l'OMYACARB -12 Cl qui est caractérisé par sa large gamme de
25 tailles de particule et par sa pureté ; la composition chimique de la matière première apporte 97% de CaCO_3 y le résidu au tamis de 100 micromètres est inférieur ou égal à 0,5% et le résidu au tamis de 45 micromètres est inférieur ou égal à 10% ; centrale de production de l'entreprise L'Arboç (Tarragone – Espagne) ;
- 30 - la nanosilice est du Rheomac VMA 350 (additif basé sur une dispersion de nanoparticules sphériques non agglomérées de dioxyde de silice pur, libre de chlorures et une finesse très élevée) fournie par BASF ;
- l'additif superplastifiant réducteur de l'eau à haute activité basé sur des polycarboxylates (apte pour les bétons préfabriqués) est le Glenium ACE 425, fourni
35 par BASF ;
- les fibres d'acier OL 13/0,20 ont été fournies par la société N.V. BEKAERT ;
- les fibres de PVA ont été fournies en guise d'échantillons par la société japonaise KURARAY ;
- l'eau a été prise du réseau d'eau potable de Martorell (Barcelone – Espagne).

On inclut à la suite le tableau 1 qui montre les ajustages dans les dosages initialement prévus et des essais avec des fibres de PVA pour une préparation du béton proposé, selon les spécifications indiqués.

5

Tableau 1

Matériaux	Consommation de matériaux (kg/m ³)				
	P ₁	P ₂	P ₃	P ₄	P ₅
Ciment gris CEM I 52,5R	700	-	700	700,3	762,7
Ciment blanc BL I 52,5R	-	700	-	-	-
Sable calcaire 0-1	1228	1228	-	-	-
Sable silice 0-7	-	-	1228	1050,5	953,4
Omyacarb 12-CL	-	-	-	178,1	194
Eau	140	140	140	140,1	152,5
Superplastifiant	47,5	47,5	47,5	47,5	51,8
Nanosilice	40	40	40	40	43,6
Fibres d'acier OL 13/0,20	180	180	180	180	180

On inclut aussi le tableau 2, qui indique les ajustages dans les dosages et les fibres de PVA.

10

Tableau 2

Matériaux	Consommation de matériaux (kg/m ³)					
	P ₆	P ₇	P ₈	P ₉	P ₁₀	P ₆
Ciment gris CEM I 52,5R	762,7	762,7	762,7	762,7	762,7	762,7
Sable silice 0-7	953,4	953,4	1000	953,4	953,4	953,4
Omyacarb 12-CL	194	213	213	194	194	194
Eau	132,2	127,9	127,9	132,2	132,2	132,2
Superplastifiant	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8	51,8
Nanosilice	43,6	25	25	43,6	43,6	43,6
Fibres d'acier 13/0,20	180	180	180	-	-	-
Fibres de PVA 12/0,10	-	-	-	12,5	-	-
Fibres de PVA 8/0,04	-	-	-	-	5	-
Fibres de PVA 12/0,04	-	-	-	-	-	5

En ce qui concerne la production avant de commencer la production de bétons on a mouillé le malaxeur et on l'a mis en mouvement pendant quelques secondes. Cela a été fait pour essayer d'avoir des conditions similaires ente le premier essai et le reste des essais. L'ordre de versement des matériaux dans le malaxeur est montré dans le tableau 3.

15

Tableau 3

	Matériaux	Temps de malaxage
1	Sable	2 minutes, à sec
2	Ciment	
3	Charge/quartz	
4	¼ eau et 14 superplastifiant	3 minutes
5	¼ eau, /1 superplastifiant avec nanosilice	2 minutes
6	Fibre	1 minute

Comme on peut apprécier dans ledit tableau 2, on ajoute tout d’abord les matériaux secs, en allant des plus gros aux plus fins, qui sont le sable, le ciment et la charge (filler). Ces matériaux sont mélangés à sec pendant 2 minutes. Par la suite, on ajoute la moitié de l’eau et de l’additif superplastifiant, avec 3 minutes de malaxage. Ce procédé est justifié par le besoin de disperser les particules de ciment, ce qui évite que l’eau reste attrapée entre les floccules de ciment qui se forment initialement.

Après ce temps, on peut ajouter le reste de l’eau et de l’additif superplastifiant conjointement avec la nanosilice, laquelle est liquide. Tout l’ensemble est mélangé pendant 2 minutes. L’addition de l’eau et du superplastifiant en deux étapes apporte plus d’ouvrabilité au mélange, car ils sont libres d’agir dans la lubrification de la pâte car en ce moment il n’y a pas de floccules de ciment. Pour finir on ajoute les fibres au malaxeur, lesquelles sont mélangées conjointement à l’ensemble pendant une minute.

Dans la production des bétons avec des fibres d’acier, les matériaux granulaires ont été versés dans le malaxeur de manière automatisée, car l’installation offre cette option. Cependant, étant donné que ce ne sont pas des grandes quantités et pour une plus grande précision, l’eau, l’additif superplastifiant et la nanosilice ont été ajoutés à la main, pour pouvoir contrôler les quantités ajoutées sur la base de la visualisation de l’ouvrabilité du mélange. Les fibres ont été versées directement sur la bande transporteuse. Cela évite le contact direct du travailleur avec les fibres et cela évite des accidents. Cela est fondamental dans la sécurité du fait que ces fibres agissent comme de aiguilles, et piquent la peau lorsqu’elles entre en contact avec elle, même si on utilise des gants.

En ce qui concerne la caractérisation à l’état frais on a réalisé l’essai d’égouttement, selon les spécifications de la normative UNE 83361: 2007 (AENOR 2007). Cet essai répond au besoin de vérifier si le béton produit est vraiment autocompactant. En outre, il permet de vérifier l’homogénéité du matériau à travers l’existence d’exsudation et/ou ségrégation du mélange.

Les résultats sont indiqués sur la figure 1.

En ce qui concerne la caractérisation à état durci, on a réalisé des éprouvettes pour l’essai de résistance à la compression d’éprouvettes cylindriques à l’âge de 24 heures, 7 jours et 28 jours, selon la normative UNE 12390-3: 2003 (AENOR 2003). On a également préparé des éprouvettes pour l’essai Barcelone de résistance à la traction après 7 jours, selon la normative PrUNE 83515: 2007 (AENOR 2007). Dans le tableau 4 on montre le nombre d’éprouvettes moulées, pour chaque béton, tandis que dans la figure 4 on montre le moulage des éprouvettes.

Les essais réalisés à l'état durci prétendent caractériser les propriétés mécaniques du béton pour ainsi vérifier si elles sont compatibles avec les spécifications structurelles exigées du matériau.

Sur le tableau 3 on détaille le nombre d'éprouvettes produites par essai de béton.

5

Tableau 3

Essai	Âge	Dimensions des éprouvettes (mm)	Nombre d'éprouvettes
Résistance à la compression	24 heures et 7 jours	(150 x 300)	4
	28 jours	(100 x 200)	2
Résistance à la traction	7 jours	(150 x 150)	2

En ce qui concerne les essais de bétonnage avec des éléments constructifs, ils ont été réalisés avec des coffrages en acier et un scellage de joint avec de la silicone neutre.

10 On a utilisé deux types de décoffrants (qui agissent comme des retardateurs de prise) de manière indistincte et séparément, sans aucune répercussion spéciale pendant le décoffrage :

- Pierii Aquarol TT
- 31 -Pieri LM 5 10

Le décoffrant a été appliqué à la main avec une éponge ou chiffon humide. Cela a donné lieu à la formation de taches sous forme de "moirures" sur la face exposée du béton.

15 Le décoffrant a été appliqué avec un pistolet d'aspersion pour obtenir une plus grande homogénéisation lors de l'application.

REVENDEICATIONS

1. Béton à ultra haute résistance armé avec des fibres d'acier, comprenant par m³ de mélange final:
 - 5 • au moins un ciment Portland de catégorie CEM I dans une proportion de 600-800 kg/m³, avec une résistance à la compression après 28 jours minimale de 52,5 Mpa ;
 - des agrégats dans une proportion de 900-1300 kg/m³,
 - des fibres de renforts ajoutées, comprenant au moins une fibre d'acier, dans une proportion de 150-210 kg/m³
 - 10 • des charges dans une proportion de 25-45 kg/m³, y compris du carbonate de calcium naturel et de la nanosilice ; et
 - un additif superplastifiant à base de polycarboxylates dans une proportion de 45-55 kg/m³ ; et
 - de l'eau potable pour le mélange dans une proportion de 125-160 kg/m³.
- 15 2. Béton selon la revendication 1, caractérisé en ce que lesdits agrégats comprennent deux types de sable, du sable calcaire et du sable de silice.
3. Béton selon la revendication 1, caractérisé en ce que l'on utilise un ciment gris ou un ciment blanc, ou un mélange de ceux-ci apportant la proportion de ciment indiquée.
4. Béton selon la revendication 1, dans lequel ledit sable calcaire est du sable beige de 0-1 mm de taille moyenne de grain.
- 20 5. Béton selon la revendication 1, dans lequel ledit sable de silice est de 0-7 mm de taille moyenne de grain.
6. Béton selon la revendication 1, dans lequel lesdites fibres de renfort ajoutées sont au moins une fibre métallique d'acier OL 13/0,20.
- 25 7. Béton selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdites fibres métalliques sont de 13 mm de longueur et de 0,2 mm de diamètre avec une participation dans le volume total du béton de 2%.
8. Béton selon la revendication 6, caractérisé en ce que lesdites fibres de renfort comprennent, outre ladite fibre d'acier, trois types de fibres de PVA (poly(acétate de vinyle)) lesquelles sont REC (S) 100x12, REC 15x8 et REC 15x12.
- 30 9. Béton selon la revendication 8, caractérisé en ce que lesdites fibres de PVA participent au béton dans les proportions suivantes:
 - des fibres de PVA 12/0,10, 5-14 kg/m³
 - des fibres de PVA 8/0,04, 4-8 kg/m³
 - 35 - des fibres de PVA 12/0,04, 4-8 kg/m³.