

1. Sumari

1. SUMARI	1
2. ASPECTES DESCRIPTIUS DELS PAVIMENTS INDUSTRIALS	3
2.1. Accions exteriors.....	3
2.1.1. Càrregues	3
2.1.2. Atacs químics i desgast	3
2.1.3. Canvis de temperatura o humitat.....	4
2.2. Propietats.....	4
2.2.1. Resistència estructural.....	4
2.2.2. Resistència a l'impacte – Tenacitat	4
2.2.3. Resistència al desgast	4
2.2.4. Resistència a la fatiga.....	5
2.2.5. Coeficient de lliscament	5
2.2.6. Regularitat superficial	5
2.2.7. Deformacions i fissuració.....	5
2.3. Elements que formen un paviment industrial	6
2.3.1. Esplanada	6
2.3.2. Base.....	6
2.3.3. Paviment	6
2.3.4. Juntes	6
2.4. Descripció del funcionament d'un paviment de formigó	6
2.5. Descripció dels elements que suporten el paviment.....	10
2.5.1. Esplanació	10
2.5.2. Base granular	11
2.6. Càlcul de l'espessor del paviment de formigó.....	12
2.7. Tipus i criteris d'aplicació de les juntes	13
2.8. Condicions constructives	16
3. SOLUCIÓ ADOPTADA EN EL PROJECTE	17
4. CARACTERÍSTIQUES I DISSENY ESTRUCTURAL DEL PAVIMENT DE FORMIGÓ REFORÇAT AMB FIBRES D'ACER	19
4.1. Materials principals: formigó i fibres d'acer	21
4.1.1. Fibres d'acer	21
4.1.2. Formigó.....	23
4.2. Propietats mecàniques exigides.....	24
4.3. Dosificació.....	25
4.4. Fabricació	27



4.5. Transport i posta en obra	28
4.6. Compactació.....	29
4.7. Curat	30
4.8. Control de qualitat i tractaments finals	30
4.8.1. Deformacions i control de les fissures.....	30
4.8.2. Planimetria	32
4.9. Tractaments superficials	33
4.9.1. Tractaments sobre formigó fresc	33
4.9.2. Tractaments sobre formigó endurit	34
4.9.3. Tractaments mitjançant capes suplementàries.....	35
4.9.4. Tractament específic amb resines	36
4.10. Classificació dels defectes	37
4.10.1. Defectes superficials	37
4.10.2. Defectes superficials en les juntes	38
4.10.3. Defectes estructurals.....	39
4.11. Tècniques de reparació i manteniment.....	41
4.11.1. Reparacions superficials	41
4.11.2. Reparacions estructurals.....	42
4.11.3. Segellat d'esquerdes.....	42
4.11.4. Reforços.....	43



2. Aspectes descriptius dels paviments industrials

En aquest document es realitzarà una descripció detallada de les característiques i del mètode utilitzat en la formació del paviment de formigó dels establiments industrials de la nau.

Però, abans d'entrar en el disseny específic del tipus de solera que s'utilitzarà, s'esposarà una àmplia explicació sobre els aspectes descriptius més importants dels paviments industrials.

Els paviments industrials es podrien definir com aquells paviments de grans dimensions que hauran d'estar sotmesos a càrregues importants, tant puntuals com repartides. Aquests es poden dedicar a una sèrie d'usos ben diferents. En el cas d'aquest projecte, l'ús serà clarament industrial.

Tot seguit es fa una descripció general de les característiques que s'hauran d'avaluar i considerar en el disseny i el càlcul estructural dels paviments industrials.

2.1. Accions exteriors

2.1.1. Càrregues

Els tipus de càrregues a suportar per als paviments és un dels aspectes més importants. Aquestes accions podran ser puntuals o uniformement repartides.

2.1.2. Atacs químics i desgast

En funció del seu ús i de la seva ubicació, els paviments industrials poden estar sotmesos a atacs químics, abrasió, desgast, etc, que moltes vegades fan necessària la utilització d'acabats de protecció com resines, dispersió de materials durs, etc.



2.1.3. Canvis de temperatura o humitat

Cal tenir en compte també les tensions provocades pels gradients tèrmics, o problemes derivats dels gradients d'humitat.

2.2. Propietats

Amb la finalitat de millorar la seva funcionalitat, les propietats dels paviments industrials a optimitzar són:

2.2.1. Resistència estructural

Normalment es fa servir formigó d'una resistència entre 25 i 45 N/mm² a compressió en funció de les necessitats. En el cas dels formigons reforçats, s'augmentarà el contingut de ciment i per tant la resistència estructural.

2.2.2. Resistència a l'impacte – Tenacitat

Els impactes produïts per la caiguda d'objectes pesats, arrossegament de maquinaria, trànsit intens, etc, generen sobre el paviment uns esforços que poden produir el deteriorament progressiu del mateix, per tant caldrà optimitzar aquesta resistència.

2.2.3. Resistència al desgast

Deponent principalment de la composició del formigó s'aconseguirà una menor o major resistència. És necessària per tal de limitar l'impacte dels possibles moviments dels prestatges o les frenades dels vehicles o carretons que circulin.



2.2.4. Resistència a la fatiga

La resistència a la fatiga és molt important, doncs representa la resistència a totes les càrregues cícliques a que estarà sotmès el paviment durant la seva vida útil.

2.2.5. Coeficient de lliscament

No es necessari un coeficient de fregament molt elevat, doncs el trànsit que ha de circular (en cas que hi circuli) ho farà a velocitats reduïdes. Tot i així, per evitar accidents i lliscaments, es requereixen uns mínims de fregament. D'altra banda, en alguns casos serà necessari un poliment el més gran possible, com a les naus de muntatge de motors, on s'ha de minimitzar la pols per abrasió del paviment.

2.2.6. Regularitat superficial

És molt important en aquests casos aconseguir la màxima regularitat. S'haurà d'assolir una elevada planimetria per tal d'evitar inclinacions en les prestatgeries o problemes per als vehicles que manipulen mercaderies.

2.2.7. Deformacions i fissuració

El control de la fissuració és probablement el seguiment més important a fer en un paviment industrial. En general, en els paviments aquest control es realitza mitjançant l'execució de juntes controlades per tal d'evitar l'aparició de fissures. El formigó reforçat amb fibres d'acer substitueix les juntes per una sèrie de fissures controlades produïdes durant el procés de retracció. L'eliminació de les juntes, però, no suposa l'eliminació de la retracció.



2.3. Elements que formen un paviment industrial

2.3.1. Esplanada

És el seient del ferm i està construïda pel material que ha quedat al descobert al realitzar l'excavació, o bé, pel material de reomplert, si el paviment ha de construir-se a major cota que la del terreny natural.

2.3.2. Base

És la capa del ferm situada directament sota el paviment. Pot no ser necessària si l'esplanada de terreny és de qualitat suficient per a suportar directament el paviment.

2.3.3. Paviment

És el construït en formigó, lleugerament armat, que reposa directament sobre l'esplanació de terreny o sobre una base, degudament compactades i que, per la rigidesa a flexió de la llosa de formigó, transmet i reparteix les càrregues actuants sobre zones relativament àmplies de la base o esplanada.

2.3.4. Juntes

Es denomina així a les vores de cadascuna de les lloses en que es divideix el paviment.

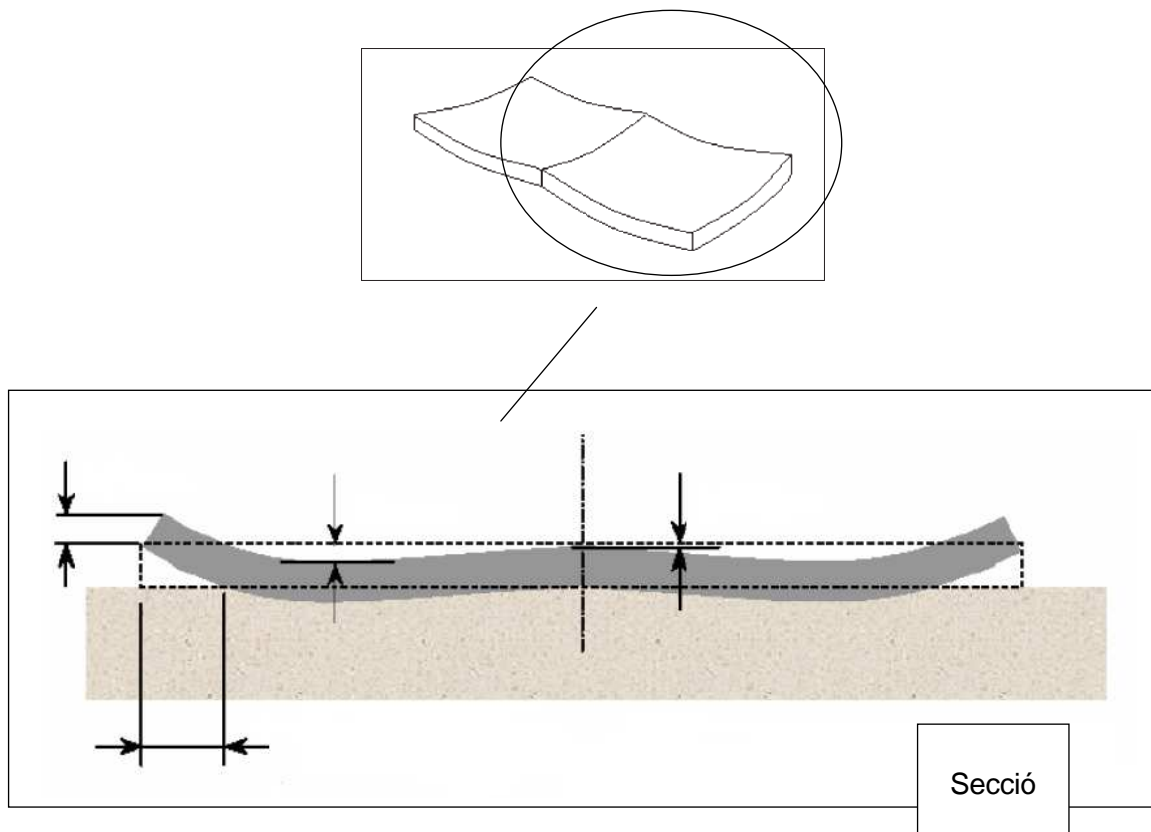
2.4. Descripció del funcionament d'un paviment de formigó

Les sol·licitacions que suporta una llosa de paviment són extremadament complexes. El seu estudi teòric ha estat completat amb els resultats d'assajos i de l'experiència acumulada.



Un grup de sol·licitacions és el derivat de les variacions termo-higro-mètriques que pateix el formigó.

En les representacions següents es pot observar la deformació que es produeix en una llosa de paviment a causa del descens de la temperatura ambient.



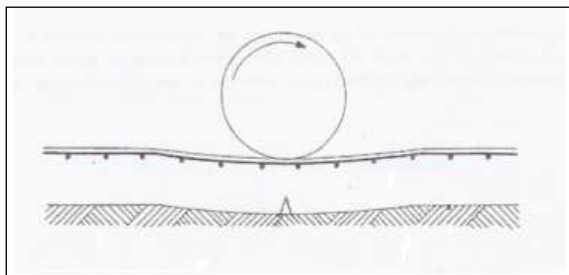
La cara superior de la llosa, al disminuir la seva temperatura més ràpidament que la inferior, pateix un escurçament major. Aquest fet produeix una flexió de la llosa que fa que les seves vores, i especialment les cantonades, treballin en voladís. Un augment de la temperatura produiria una deformació en el sentit contrari.

Al retreure el formigó, especialment en els primers dies després del formigonat, la cara inferior té el seu escurçament notablement impedit pel fregament amb el terreny, i això origina una deformació del mateix tipus que l'indicat en la figura anterior.

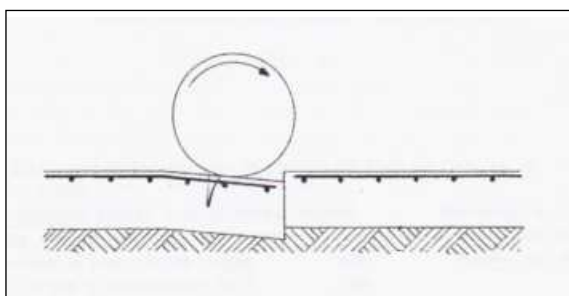
Un altre grup de sol·licitacions és el de les càrregues de servei. Normalment aquestes càrregues actuen a través de les rodes dels vehicles.



En el centre d'una llosa, la deformació produïda és del tipus que s'indica a continuació:



La cara inferior del paviment es troba sotmesa a tracció. En les vores de la llosa la deformació que es produeix és la següent:



Des del punt de vista de les càrregues de tràfic, les sol·licitacions pèssimes es produeixen en les vores i, sobretot, en les puntes de les lloses, originant-se traccions en la cara superior d'aquestes zones.

D'aquí l'interès general d'evitar grans deformacions mitjançant la utilització de bases i explanades ben compactades, i de sistemes de juntes que permetin la transmissió de les càrregues d'una llosa a la contigua.

Les juntes són sempre el punt més feble de les lloses, i el seu estudi i execució és determinant en la qualitat del paviment. En els casos de paviments a la intempèrie, o sotmesos a riscos freqüents, si l'aigua pot filtrar-se a través de les juntes fins al fonament del paviment, pot ocasionar arrossegament de partícules del sòl, o debilitar la seva resistència. En aquest cas, el problema s'agreuja, ja que així s'originen deformacions majors i pèrdua de resistència del fonament, presentant-se un cercle viciós que acaba amb el trencament de la llosa.

Els paviments de formigó es dimensionen de manera que les sol·licitacions de les càrregues exteriors siguin resistides per la llosa de formigó, treballant com una secció de

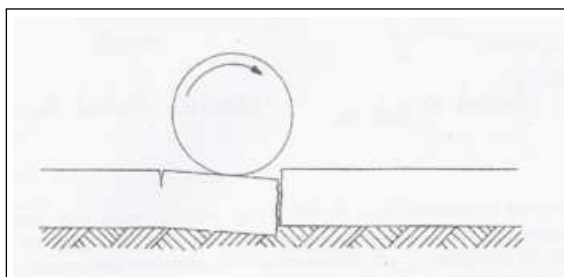


formigó en massa, és a dir, que les traccions corresponents a la flexió son absorbides pel mateix formigó.

L'armat es disposa per a resistir els esforços derivats de les variacions d'humitat i temperatura, i, evitar d'aquesta forma la propagació de fissures.

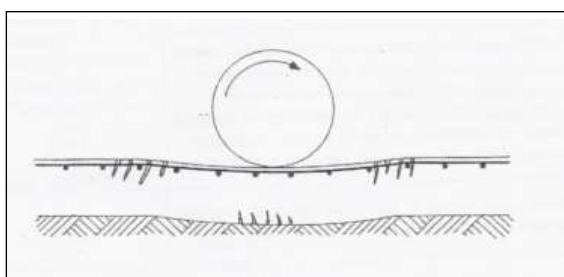
En aquest projecte l'armat consistirà en fibres d'acer distribuïdes uniformement en el formigó, creant així un armat tridimensional que augmentarà la capacitat de càrrega amb espessors de llosa menors. Més endavant s'explicaran les característiques d'aquest tipus de reforç.

A continuació es representa una llosa de paviment fissurada per l'acció del tràfic, o per qualsevol altra causa:



Les càrregues repetides obriran més la fissura, arribant inevitablement a fracturar la llosa (clàssica ruptura de cantonada en els paviments no armats). A partir d'aquest moment, la part trencada es mourà amb el pas de les càrregues, dificultant la circulació, no repartint suficientment aquestes, i permetent l'entrada d'aigua a la base, amb la conseqüent debilitació de la seva capacitat portant i l'extensió del dany a zones immediates.

En la representació següent s'observa l'esquema de deformació d'una llosa lleugerament armada:



Quan l'armat consisteix en un reforç tridimensional de fibres, la deformació de la llosa seguirà les mateixes pautes que l'esquema anterior.

Per suposat, si es produeix una càrrega no prevista o la base cedeix excessivament, també aquesta llosa es fissurarà. Però l'armadura evita la concentració d'aquestes fissures, conduint a unes esquerdes més fines i repartides. L'armadura manté cosides les esquerdes, impedit el moviment de la llosa i la seva fractura, al mateix temps que no permet l'entrada d'aigua a la base.

En resum, encara que l'armadura no es disposi com a resistent per a les càrregues exteriors, la seva presència és bàsica per a resistir qualsevol càrrega que pugui produir una fissuració accidental. I, disposar una armadura adequada és fonamental per a obtenir un paviment de llarga duració.

2.5. Descripció dels elements que suporten el paviment

2.5.1. Esplanació

En els paviments considerats, la qualitat de l'esplanació i el seu grau de compactació no influeixen de forma important en l'espessor necessari del paviment, ni tampoc en la quantitat necessària d'acer. Encara així, la compactació de l'esplanada és vital per al funcionament del paviment, ja que si aquesta es troba pobrament compactada, cap espessor de paviment (dels utilitzats en la pràctica) evitarà el seu deteriorament. Això no és cert només per a les càrregues de tràfic, també en el cas de magatzems amb càrregues repartides sobre el paviment, que, sol·licitant feblement a la llosa de formigó, poden ocasionar assentaments generals de lloses si la compactació de l'esplanada és deficient.

Tan si l'esplanada és la part superior del terraplè, com si el terreny ha estat remogut a l'excavar el desmunt, l'esplanada ha de ser compactada i drenada adequadament. Per compactació s'entén l'augment de la cohesió interna del material. Aquest procés es realitza mitjançant l'eliminació d'aire present en el sòl, emprant medis mecànics de compressió.



En casa de dubte i en l'absència d'assajos, ha de disposar-se sempre una base granular entre el paviment i l'esplanada.

En la taula següent s'indica una classificació de les esplanades segons el tipus de sòl, la qual proporciona suficient exactitud per als casos usals. Aquesta classificació intervé en el càlcul de l'espessor del paviment, com es veurà més endavant.

TIPUS D'ESPLANADA	CLASSIFICACIÓ	DESCRIPCIÓ DEL SÒL
A	Dolenta	Llims orgànics i argiles orgàniques i inorgàniques d'alta plasticitat.
B	Normal (cas més usual)	Argiles inorgàniques de baixa plasticitat, argiles sorrenques, sorres llimoses, mescles de sorra i argila i mescles de sorra amb poca grava.
C	Molt bona	Graves, mescles de sorra i grava amb pocs fins i mescles de sorres i graves amb argila.

2.5.2. Base granular

En general, la utilització de base entre el paviment i l'esplanada és molt recomanable, sobretot en esplanades de baixa qualitat. Aquesta capa col·locada sobre l'esplanada té la finalitat de millorar les característiques del conjunt que constitueix el ferm sobre el que anirà el paviment. D'aquesta manera s'intenta aconseguir una capa amb un bon coeficient de drenatge, assolint valors acceptables de regularitat superficial.

La base, per això, no redueix l'espessor del paviment, però crea un recolzament més uniforme per aquest.

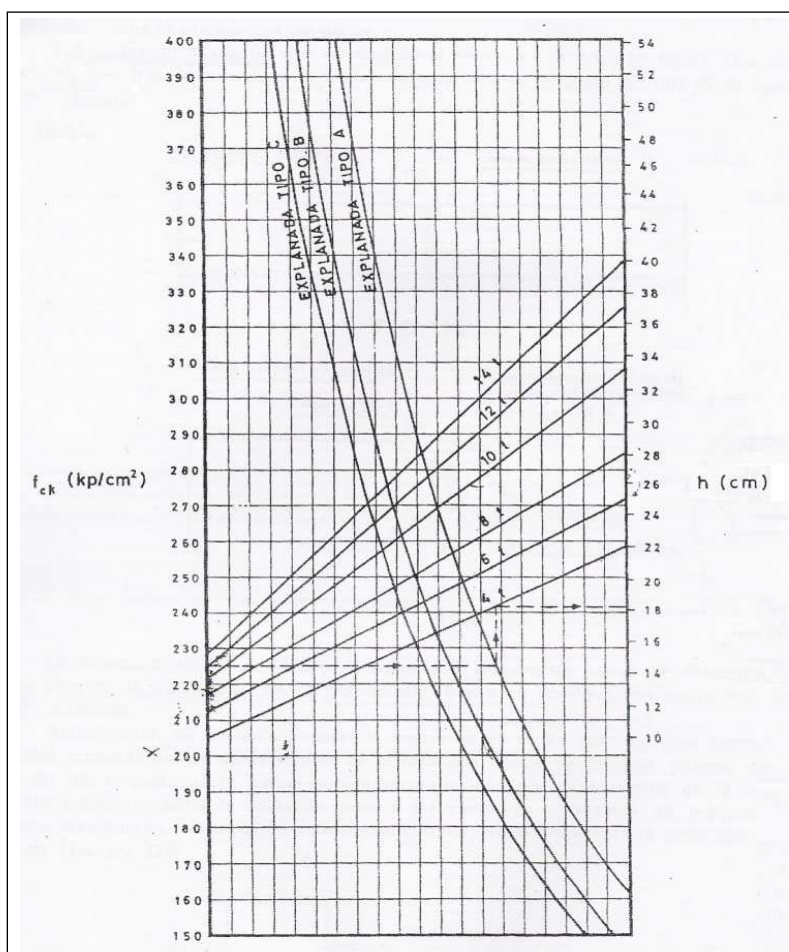
Les mescles de graves i sorres o graves amb mescla d'argiles i sorra formaran bases de molt bona qualitat. S'ha d'evitar, per això, que siguin excessivament plàstiques. Normalment l'espessor de la base és del mateix ordre que el del paviment. La base ha de compactar-se enèrgicament (com norma, al 95% de l'assaig PROCTOR modificat).



2.6. Càlcul de l'espessor del paviment de formigó

El gràfic que es mostra en aquest apartat proporciona l'espessor de formigó necessari, en funció de les dades següents:

- Tipus d'esplanada (A, B o C), tal com s'ha comentat anteriorment.
- Resistència especificada del formigó a compressió. No és aconsellable la utilització de formigons de resistència especificada inferior a 200 kp/cm², per raons de durabilitat.
- Càrrega per eix. És aconsellable per al dimensionament de qualsevol paviment considerar una càrrega mínima per eix de 4 tones, encara que no es prevegi tràfic de camions. De 8 tones si el paviment ha de suportar el tràfic de camions lleugers, i de 14 tones si ha d'estar sotmès a tràfic de camions pesats.



En el projecte que s'està estudiant es té una esplanada del tipus B. El formigó utilitzat serà el HA-25, amb una resistència característica $f_{ck} = 250 \text{ kp/cm}^2$. Per últim, es considera, del costat de la seguretat, i en front de possibles modificacions de les activitats que es desenvolupen en l'interior dels establiments industrials, una càrrega mínima per eix de 8 tones.

Amb aquestes dades aplicades en el gràfic, s'obté un espessor necessari de 20 cm per al paviment de formigó situat en l'interior de la nau.

En el que es troba situat en l'exterior, molls de càrrega i vials que envolten la construcció, es considera una càrrega mínima per eix de 14 tones, ja que pot estar sotmès a tràfic de camions pesats, com poden ser els de bombers. Per tant, en aquest, segons el gràfic anterior, serà necessari un espessor de 30 cm.

2.7. Tipus i criteris d'aplicació de les juntes

Les juntes en els paviments sorgeixen pels següents motius:

- Com una solució per a les interrupcions necessàries durant el formigonat.
- Com a precaució davant les tensions excessives de la retracció, que podrien fissurar el formigó, excepte si es disposessin quanties molt elevades d'acer.
- Per últim, en el cas de grans superfícies es necessari crear juntes que permetin la lliure dilatació del paviment.

Per tant, hi hauran diferents tipus de juntes:

- Juntes constructives (de formigonat): Són les produïdes quan acaba la jornada de treball, o per una interrupció de les tasques de posada en obra.
- Juntes d'aïllament: S'executen amb la finalitat d'aïllar el paviment d'elements o estructures fixes, i així evitar la transmissió de càrregues.
- Juntes de retracció: S'executen per absorbir els moviments causats per la retracció del formigó, especialment en els primers dies després del formigonat.

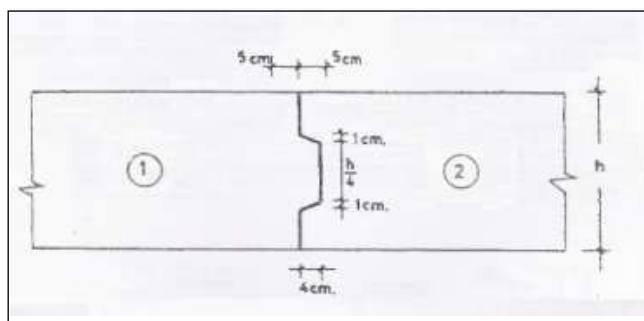


- Juntes de dilatació: S'executen per absorbir els moviments produïts pels canvis de temperatura o humitat en el formigó.

Com ja s'ha comentat, les juntes, especialment les de dilatació, són el punt més feble del paviment, i han de reduir-se al mínim indispensable.

En la majoria dels casos es necessari que puguin transmetre les càrregues. Per aquest motiu es fan servir perfils metàl·lics, passadors arrodonits i, últimament, també passadors plans, rectangulars, etc, que connecten les lloses a través de les juntes i permeten la transferència d'esforços entre elles.

En els paviments industrials, les juntes constructives normalment es fan coincidir amb les de retracció. Una junta de retracció eficaç en paviments industrials és la indicada a continuació:

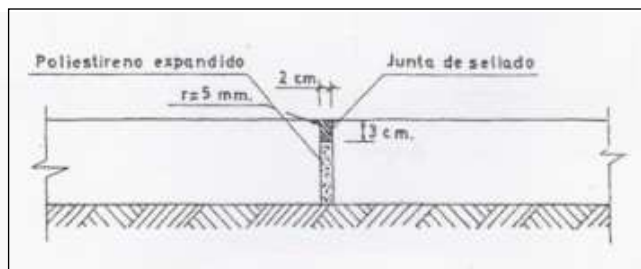


La unió s'aconsegueix mitjançant l'encofrat de vora al formigonar la llosa 1, i posteriorment es formigona la 2 directament contra la 1. Aquesta unió assegura una bona transferència de càrregues d'una llosa a la contigua, evitant un excessiu treball de vora.

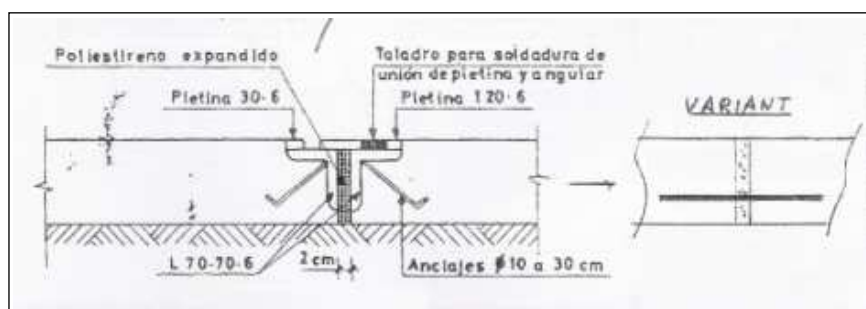
Les dimensions de llosa, és a dir, la distància entre juntes constructives, o de retracció, oscil·la entre els 4 i els 10 m (distància longitudinal: 5 m; distància transversal: 7,50 m). A major distància entre juntes s'aconsegueix reduir el nombre de zones febles, però això ocasiona un major consum d'acer. En molts casos, sobretot en naus industrials, les llums de les naus o la distribució dels pilars condiciona la modulació d'aquest tipus de juntes.



Les juntes de dilatació entre lloses s'apliquen de la forma següent:



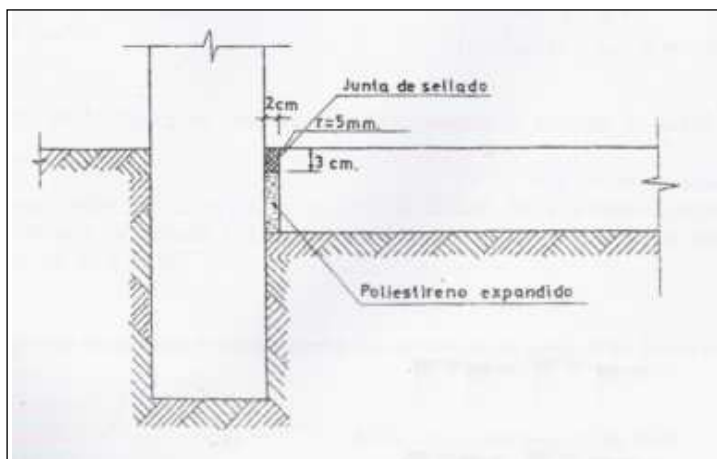
Però si el tràfic és molt intens s'adopta aquesta solució:



La més utilitzada és la solució variant (l'altra rarament s'empra), on es col·loquen 3 barres de diàmetre 20 per metre lineal. Així es millora la transmissió d'esforços. L'amplària d'aquest tipus de junta és de 2,50 cm. Aquesta variant també es pot utilitzar en les juntes de retracció o en les constructives.

Actualment les juntes de dilatació s'acostumen a col·locar cada 20 o 30 m (normalment 30). En tot cas, és sempre recomanable situar-les en les zones límit de la llosa amb murs de façana, pilars, etc, per tal impedir les empentes sobre aquests elements produïdes per la dilatació del paviment. També, s'han de situar en les zones límit de la llosa amb la fonamentació o amb els sòcols de les màquines vibrants, per tal de mantenir aïllats aquests elements. En tots aquests casos, el tipus de solució utilitzada es mostra en la pàgina següent:

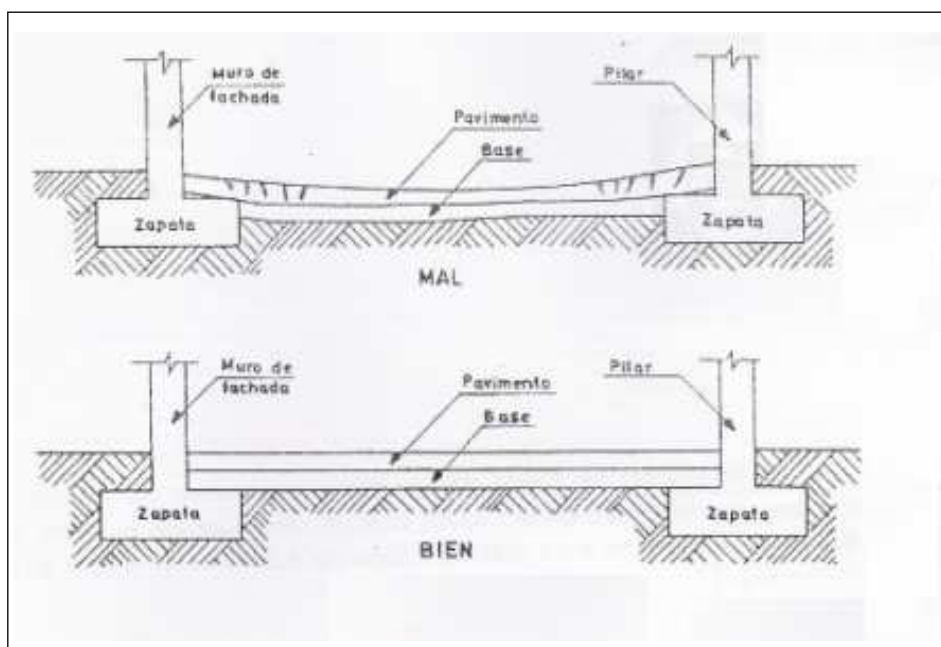




Aquesta seria la finalitat, també, de les juntes d'aïllament, que es podrien substituir perfectament per les de dilatació, que realitzarien la doble funció.

2.8. Condicions constructives

La base ha d'estendre's per sobre dels fonaments, per tal d'evitar la formació d'esquerdes en la llosa provocades per l'assentament desigual.



Entre el formigonat de dues lloses contigües han de transcórrer com a mínim 8 dies.



3. Solució adoptada en el projecte

Les activitats que es realitzaran, en un principi, en els diferents establiments de la nau no seran excessivament exigents amb els requeriments d'aquest paviment.

En tot cas, existeix la possibilitat que, durant el pas del temps, aquest recinte vagi modificant les activitats que es duen a terme en el seu interior. Per aquest motiu es dissenyarà una solera que pugui assumir processos més desfavorables.

Per tant, el paviment interior que s'ha triat per la Planta Baixa dels tres establiments industrials consisteix en una solera de formigó armada amb fibres. Aquest és un paviment en el que es disposen fibres embegudes en el formigó per tal de millorar les seves propietats, com per exemple, oferint un millor control de la retracció, i/o augmentant la seva capacitat estructural.

També permet una elevada exigència pel que respecta a toleràncies de nivell i de planor del sòl.

El tipus de formigó utilitzat serà HA-25. Les fibres poden ser de polipropilè, d'acer, de poliolfina de vidre, etc, essent les més utilitzades les dues primeres.

Les fibres de polipropilè s'inclouen normalment en una proporció entre 600 i 1.000 g/m³, formant una armadura tridimensional dintre del formigó. Les que donen millors prestacions són les monofilament de longitud inferior a 12 mm. D'aquesta forma s'aconsegueix un bon comportament per tal d'evitar la fissuració per retracció plàstica i de secat durant les primeres 24 hores. D'altra banda, no tenen caràcter estructural.

Les fibres d'acer s'inclouen en una quantitat que oscil·la entre 30 i 60 Kg/m³. Són d'uns 40-60 mm de longitud i d'1 mm de diàmetre, aproximadament. Les formes són molt variades. Aquestes fibres augmenten lleugerament la resistència estructural del formigó, i també la seva ductilitat i resistència a fatiga. Permeten la construcció de lloses més primes, o que poden suportar càrregues més altes.

Quan el formigó comença a desenvolupar fissures sota les càrregues de servei, les fibres actuen com a pont entre una cara de la fissura i l'altra, generant un mecanisme de



transferència de càrrega que redueix la propagació d'aquestes, millorant la ductilitat i augmentant la resiliència.

En aquest tipus de solera només es necessiten juntes d'aïllament i de construcció. Per tant les de retracció i de dilatació no seran necessàries.

La utilització de fibres provoca altres millores en les propietats del formigó:

- Augment de la resistència a l'abradió, degut a la reducció de la fissuració.
- Millora de la resistència a la corrosió, ja que es controla l'obertura de les fissures, i, per tant, l'entrada d'aigua.
- El reforçament és uniforme en les tres direccions, ja que s'introdueix una armadura tridimensional, convertint-lo en un material isòtrop i homogeni.
- Permet estalvis en el formigó, doncs es pot reduir el gruix de les capes utilitzades.

Cal destacar que un alt contingut en fibres pot limitar la treballabilitat del formigó.

Per tant, el paviment interior de la Planta Baixa dels tres establiments industrials consistirà en una solera de 20 cm d'espessor d'alta planimetria (± 7 mm en 2,00 m), de formigó armat amb fibres d'acer HAF-25-50/A/S/20/IIa, amb un contingut de fibra de 50 Kg/m^3 de formigó, i assentada sobre una subbase de 20 cm d'espessor de zahorras naturals. Les fibres d'acer seran del tipus del tipus {HE, 1/50}.

El paviment exterior, molls de càrrega i descàrrega i vials que envolten la construcció, estarà format per una solera de 30 cm d'espessor d'alta planimetria (± 7 mm en 2,00 m), de formigó armat amb fibres d'acer HAF-25-60/A/S/20/IIa, amb un contingut de fibra de 60 Kg/m^3 de formigó, i assentada sobre una subbase de 30 cm d'espessor de zahorras naturals. Les fibres d'acer seran del tipus del tipus {HE, 1/50}.

A continuació es detallaran els aspectes descriptius, les característiques i el disseny estructural d'aquest tipus de paviment reforçat amb fibres d'acer.



4. Característiques i disseny estructural del paviment de formigó reforçat amb fibres d'acer

Els formigons reforçats amb fibres (HRF) es defineixen com aquells formigons que inclouen en la seva composició fibres curtes, discretes i aleatòriament distribuïdes en la seva massa. [EHE-08, Annex 14, Punt 1]

L'aplicació d'aquests formigons pot ser amb finalitat estructural o no estructural. La utilització de fibres en el formigó té la finalitat estructural quan es fa servir la seva contribució en els càlculs relatius a algun dels Estats Límit Últims o de Servei. Es considera que les fibres no tenen funció estructural quan s'inclouen en el formigó amb altres objectius, com pot ser la millora de la resistència al foc o el control de la fissuració, com és el cas que s'està estudiant. [EHE-08, Annex 14, Punt 1]

En tot cas, l'ús de fibres d'acer en els paviments industrials millora substancialment les característiques del formigó, especialment les seves resistències a flexió i a fatiga. Això és causat per les reduccions de la fissuració i dels gruixos de paviment necessaris.

El mòdul d'elasticitat de l'acer és deu vegades superior al del formigó. Per tant, l'addició de fibres permet una millor distribució de càrregues i un menor nivell de tensió, per una mateixa acció. Per aquesta raó, es pot reduir el gruix de la llosa o suportar càrregues majors.

El procés per a dissenyar una solera reforçada amb fibres d'acer segueix els paràmetres que s'han especificat en els apartats anteriors.

En primer lloc s'han de calcular les tensions que s'originen en el formigó a causa de la flexió del paviment, produïda per les càrregues que actuen sobre ell. Aquestes poden ser de diferents tipologies:

- Càrregues dinàmiques: Provocades pel pas dels vehicles. Les tensions produïdes dependran de la càrrega per eix, la distància entre eixos i l'àrea de contacte.
- Càrregues puntuals: Provocades per les prestatgeries. En aquest cas les tensions depenen de la càrrega màxima dels seus pilars, de la superfície de contacte de la base d'aquests, i de la distància entre ells.



- Càrregues repartides: Provocades per l'emmagatzemament col·locat directament sobre la solera. En aquest cas s'haurà de conèixer el valor de la càrrega per la superfície que ocupa i la distància a les possibles juntes.
- Càrregues extraordinàries no previstes: Provocades per les vibracions o pel pes de gran maquinària, que no han de circular habitualment pel paviment.

La resistència del formigó reforçat es deu a la resistència a la flexió del formigó en massa, i també a la ductilitat aportada per la fibra d'acer. Aquesta resistència, denominada "resistència a flexió equivalent del formigó amb fibres", és un indicador de la capacitat que tenen aquestes per mantenir les fissures cosides un cop es produeixen. Aquest valor depèn del tipus i quantitat de fibra utilitzada, i de la pròpia resistència mecànica del formigó. Aquesta resistència es caracteritza mitjançant "l'Índex de Tenacitat", que representa el valor mitjà de la corba de càrrega post-fissura. Es determina mitjançant els assajos UNE 83509 i 83510.

La incorporació de fibres modifica el comportament no lineal del formigó estructural, especialment a tracció, impedit l'obertura i propagació de fissures. Per aquest motiu, l'aplicació de l'anàlisi no lineal pot ser especialment recomanable en els casos en que les fibres constitueixin una part important en el reforç del formigó. [EHE-08, Annex 14, Títol 2, Capítol V]

Així mateix, amb la ductilitat que introdueix la presència de fibres, es consideraran vàlids els principis per a l'aplicació del mètode d'anàlisi lineal amb redistribució limitada i dels mètodes de càlcul plàstic, quan es comprovin els requeriments per a l'aplicació dels mateixos especificats en l'Article 19 de "l'EHE-08". [EHE-08, Annex 14, Títol 2, Capítol V]



4.1. Materials principals: formigó i fibres d'acer

4.1.1. Fibres d'acer

Per a la utilització en formigó armat existeix una gran varietat de tipus i mides de fibres, en funció de les necessitats constructives i del tipus d'aplicació. Aquestes fibres s'han de produir complint el procediment de la norma UNE 83500-1. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI]

La forma de la fibra té una incidència important en les característiques adherents de la mateixa amb el formigó, i pot ser molt variada: recta, ondulada, corrugada, conformada amb extrems de diferents formes, etc. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI]

Les característiques geomètriques de les fibres (longitud [l_f], diàmetre equivalent [d_f] i esveltesa [λ]) s'establiran d'acord amb UNE 83500-1 i UNE 83500-2. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI]

La longitud de la fibra [l_f] es recomana que sigui, com a mínim, 2 vegades la dimensió de l'àrid major. És normal la utilització de longituds de 2,50 a 3 vegades la dimensió màxima de l'àrid. A més, el diàmetre de la canonada de bombeig exigeix que la longitud de la fibra sigui inferior a 2/3 del diàmetre del tub. Tot i així, la longitud ha de ser suficient per a donar una adherència necessària a la matriu i evitar arrencaments amb massa facilitat. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI]

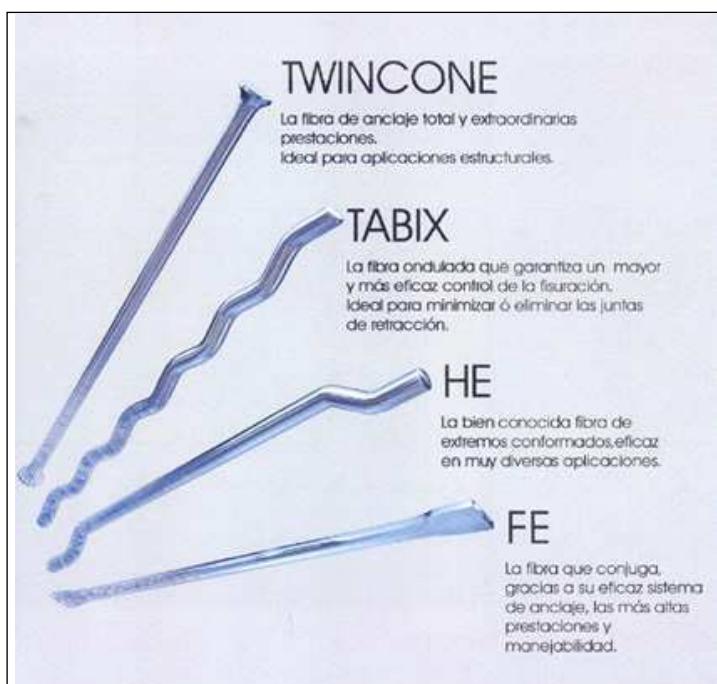
A igualtat de longitud, les fibres de petit diàmetre augmenten el nombre d'elles per unitat de pes, i fan més dens l'entramat. La distància entre fibres es redueix quan la fibra és més fina, sent més eficient i permetent una major redistribució de la càrrega o dels esforços. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI]

L'estudi d'aquest apartat s'ha realitzat amb els productes de la pàgina web de l'empresa [Trefilarbed, Arcelor Group], que treballa amb les següents tipologies de fibres d'acer:

- TABIX: La fibra tipus TABIX té una forma ondulada. És una de les formes desenvolupades més antigues. Optimitzant la relació entre amplitud i longitud, s'aconsegueix una bona treballabilitat i un excel·lent control de la retracció del formigó. Per tant aquesta fibra és òptima per a minimitzar o eliminar les juntes de retracció, garantint una major eficàcia del control de la fissuració.



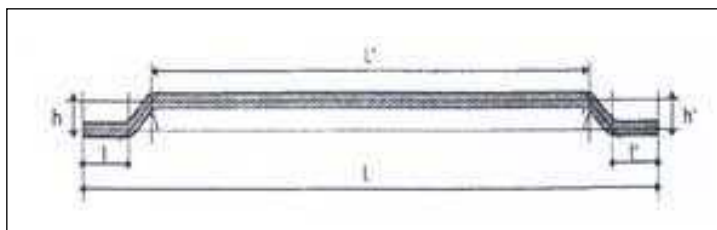
- TABIX +: És com l'anterior però dóna una resistència a tracció superior en un 50% a la resta de fibres més tradicionals. Aquest tipus de fibres permeten ser utilitzades com a reforç.
- TABIX FE: Té la particularitat dels extrems aplanats, amb el s'obté un molt bon ancoratge a la matriu i una gran ductilitat. Amb una relació òptima de longitud i diàmetre, aquesta tipologia és adequada pràcticament per a qualsevol aplicació de formigó reforçat amb fibres d'acer.
- HE: La fibra HE, "hooked-end" (o acabada en ganxo), és probablement la més coneguda i, com el seu nom descriu, és una fibra amb extrems conformats. Això fa que tingui un bon ancoratge i una òptima transferència de càrregues entre les fissures. A més té un bon nivell de ductilitat. A continuació s'observa l'esquema del que serà el tipus de fibra utilitzat:
- FE: Aquesta és una fibra recta amb els extrems planers que s'ancoren al formigó. És la fibra que té millors prestacions i treballabilitat, gràcies a la seva forma plana.
- TWINCONE: És una fibra plana amb extrems cònics. La particularitat dels seus extrems li confereix un gran ancoratge a la matriu. Aquestes fibres estan especialment recomanades per a tots tipus d'aplicacions estructurals.



La nomenclatura que indica les característiques d'aquestes fibres és la següent:

{Tipus, diàmetre (mm) / longitud (mm)}

Per tant, en el projecte de paviment de formigó que s'està estudiant s'utilitzaran el model de fibres d'acer {HE, 1/50}, que tenen la següent forma:



Aquest tipus de fibra s'utilitzarà tan en la solera interior (establiments industrials), com en l'exterior (molls de càrrega i descàrrega i vials que envolten la construcció).

4.1.2. Formigó

Els formigons designats per dosificació es tipificaran d'acord amb el següent format: [EHE-08, Annex 14, Títol 5, Capítol VIII, Article 39.2]

T – R – G/f/C/TM/A , on:

- T: Indicatiu que serà HMF en el cas de formigó en massa, HAF en el cas de formigó armat, i HPF en el cas de formigó pretensat.
- R: Resistència característica a compressió especificada, en N/mm^2 .
- G: Contingut de fibra, en kg/m^3 de formigó.
- f: Indicatiu del tipus de fibra. A en el cas de fibres d'acer, P en el cas de polimèriques, i V en el cas de fibres de vidre.
- C: Tipus de consistència del formigó.
- TM: Grandària de l'àrid en mil·límetres.
- A: Designació de l'ambient.



Per tant, el formigó que formarà la solera dels establiments industrials serà del tipus:

HAF-25-50/A/S/20/IIa

Aquesta etiqueta indica que el formigó serà armat; de resistència característica $f_{ck} = 25$ N/mm²; reforçat amb fibres d'acer (A), amb un contingut de fibra de 50 kg/m³ de formigó; amb una consistència del formigó Seca (S); format per un granulat amb una grandària màxima de 20 mm; i la classe d'exposició serà un ambient IIa, segons "l'EHE-08".

El formigó que formarà la solera exterior serà del tipus:

HAF-25-60/A/S/20/IIa

on únicament varia el contingut de fibra, ja que en els molls de càrrega i descàrrega i en els vials que envolten la construcció es necessita una major capacitat estructural del paviment, pel tipus de trànsit que hi pot circular.

L'ambient IIa implica una màxima relació a/c de 0,60 i un mínim contingut de ciment de 275 Kg/m³.

En general, el formigó utilitzat es fabrica a planta i es porta mitjançant formigoneres a l'obra. Per aquesta raó els assajos dels components es realitzen en la pròpia planta.

Posteriorment a obra s'assajarà el formigó com a element compòsit ja fabricat. Aquest assaig consisteix en conèixer la seva consistència mitjançant el con d'Abrams.

4.2. Propietats mecàniques exigides

La ductilitat valora l'aptitud de la fibra a la deformació que pateix durant la seva manipulació o barrejat. Es comprova mitjançant l'assaig de doblegat especificat en l'apartat 7.3 de la norma UNE 83500-1.

La utilització de fibres en el formigó pot provocar una pèrdua de ductilitat, la magnitud de la qual serà funció del tipus i la longitud de la fibra emprada, així com de la quantia de fibres disposada. Aquest factor ha de considerar-se especialment al sol·licitar la consistència del



formigó en el cas d'addició de fibres en obra. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI, Article 31.5]

En el cas de formigons amb fibres, es recomana que la consistència del formigó no sigui inferior a 9 cm d'assentament en el con d'Abrams (encara que depèn del tipus d'aplicació i sistema de posta en obra). En aquest cas, l'assaig del con d'Abrams és poc adequat i es recomana assajar la consistència d'acord amb els assajos proposats en UNE-EN 12350-3 o UNE 83503. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI, Article 31.5]

La resistència del formigó a flexo-tracció es refereix a la resistència de la unitat de producte o amassada, i s'obté a partir dels resultats de l'assaig a ruptura a flexo-tracció, en nombre igual o superior a tres, realitzats sobre provetes prismàtiques d'ample igual a 150 mm, altura igual a 150 mm i longitud igual a 600 mm, de 28 dies d'edat, fabricades, conservades i assajades d'acord amb UNE-EN-14651. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI, Article 31.3]

En sol·licitacions de compressió, el diagrama tensió-deformació del formigó amb fibres no es modifica respecte al de l'articulat, ja que es pot considerar que l'addició de les fibres no varia de forma significativa el comportament del formigó a compressió. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI, Article 31.3]

4.3. Dosificació

L'objecte de la dosificació és aconseguir una barreja que posseeixi bona ductilitat, homogeneïtat i, finalment, un formigó amb resistències mecàniques, estabilitat i durabilitat adequades a la seva ocupació.

La densitat i les dosificacions usals de les fibres no modifiquen els valors del pes específic característic del formigó amb fibres respecte el formigó sense elles. [EHE-08, Annex 14, Títol 1, Capítol III, Article 10.2]

L'augment de la consistència degut a l'ús de les fibres ha de ser compensat sempre amb l'addició additius reductors d'aigua, sense modificar la dosificació prevista d'aigua. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.3.2.4]



Es pot afirmar que no existeix un mètode de dosificació definit per a un HRF (formigó reforçat amb fibres). Generalment es pren com a base de partida l'utilitzat en un HC (formigó de ciment), o un HAR (formigó d'elevada resistència), en funció de les exigències o les necessitats del projecte. Així es fan determinades modificacions o ajustaments a fi que la disminució de la ductilitat del formigó sigui molt acceptable, i assolir, a més, que les fibres s'hi distribueixin amb facilitat.

Per tant, la relació a/c mínima ha d'estar compresa entre 0,40 i 0,65. Ha de tenir un contingut de ciment major que un HC, és a dir, de 300 a 450 kg/m³, per tal de poder tenir la seva mateixa ductilitat, i, per últim, uns àrids limitats quant a grandària màxima.

Sobre aquesta barreja de partida s'hauran de fer els ajustaments necessaris per a aconseguir un formigó amb fibres, dúctil i homogeni.

De l'anterior es desprèn que la relació àrid fi/àrid gruix dels HRF ha de ser superior a la dels formigons convencionals.

Els additius super-fluidificants solen emprar-se a fi de millorar la consistència, sense necessitat d'haver d'utilitzar relacions a/c elevades. Aquest tipus d'additius són d'ús freqüent en els HRF emprats en paviments, i pràcticament indispensable en aquells que han de ser posat en obra mitjançant bombeig.

L'esveltesa geomètrica [λ] de les fibres sol estar compresa entre 30 i 150, encara que no és recomanable passar de 100, amb diàmetres de fibres [d_f] compresos entre 0,25 i 0,80 mm, i longituds [l_f] entre 10 i 75 mm.

La dosificació de fibres en formigons per a paviments sol estar compresa entre 30 i 60 Kg fibres/m³ formigó. D'aquesta forma s'optimitzen les propietats finals de la mescla, mantenint una treballabilitat mínima per la seva posada en obra.

Cal controlar aquestes dosificacions, ja que si la proporció de fibres és superior a l'1% en volum de formigó, l'esveltesa d'aquestes és elevada (superior a 100), o la dimensió de l'àrid és gran (major que 20 mm), es poden produir la formació de boles, i les conseqüents debilitacions de les propietats mecàniques del producte.



És convenient tenir en compte que a l'hora de triar un tipus de fibra determinat, a igualtat de quantia, el nombre de fibres que entren en un metre cúbic de formigó és tant major quant menor sigui el diàmetre de les mateixes, sent, en general, aquestes les de major eficàcia.

Diàmetres superiors a 0,80 mm fan aconsellable elevar el límit inferior de contingut de fibres indicat anteriorment.

Per últim, estructuralment, el treball de les fibres es realitza a través de tensions tangencials que es generen en la superfície de contacte amb el formigó, degut a l'adherència fibra-matriu.

4.4. Fabricació

El procés de pastat dels HRF bàsicament és el mateix que es fa servir per elaborar formigons convencionals. Únicament cal considerar a les fibres com un àrid més. D'altra banda, després de l'addició de les fibres cal fer un pastat posterior per garantir la seva distribució. Aquest pot provocar la formació de boles de fibres. Per aquesta raó normalment es redueix artificialment l'esveltesa de la fibra mitjançant l'encolat de les mateixes en paquets. També és recomanable afegir l'additiu super-fluïdificant a l'aigua de pastat, doncs així s'afavoreix la seva dispersió homogènia en la massa.

Ja que els HRF poden experimentar importants reduccions de resistència i tenacitat a causa de l'exposició al medi ambient, s'hauran d'adoptar mesures adequades, tan sobre les fibres com sobre matriu, per a la seva protecció. En aquest sentit, les fibres poden presentar-se amb una capa protectora superficial d'un material epòxid que redueix l'afinitat d'aquestes amb l'hidròxid de calci, procés responsable de la fragilització del compost. [EHE-08, Annex 14, Títol 3, Capítol VI]

La comprovació de la homogeneïtat de la mescla produïda per una amassadora fixa o mòbil, haurà d'incloure la verificació de que la diferència màxima tolerada entre els resultats de contingut en fibres, obtingut segons UNE 83512-1 o 83512-2, de dues mostres de la descàrrega de formigó (1/4 i 3/4 de la descàrrega) sigui inferior al 10%. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.2.4]



El pastat és una fase crítica dels formigons amb fibres, pel risc d'embrollament d'aquestes, formant boles. Aquest risc es redueix amb una bona dosificació amb suficient contingut d'àrid fi, però augmenta amb un transport excessivament llarg, i especialment quan el contingut en fibres és elevat i aquestes són molt esveltes. L'ordre que es segueix a l'hora d'omplir també pot ser decisiu. Com a norma general les fibres s'incorporaran juntament amb els àrids, preferentment, l'àrid gruix a l'inici del pastat, desaconsellant-se com a primer component de la mescla. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.3.3]

Quan es preveu un transport llarg es pot plantejar l'addició de les fibres en obra. En aquest cas s'ha de preveure un formigó suficientment fluid per a facilitar el camí de les fibres fins el fons de la bóta, i disposar d'un sistema de dosificació en obra que garanteixi la precisió indicada en l'Article 71.2.3 de l'Annex 14 de "l'EHE-08". L'abocament de les fibres s'ha de realitzar lentament (entre 20 i 60 kg per minut) amb la bóta girant a la seva màxima velocitat, fins que quedi garantida la distribució homogènia de les fibres en la massa de formigó. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.3.3]

En aquest últim cas, a més:

- A l'afegir les fibres en obra cal preveure una reducció de la consistència, que segons el con d'Abrams sol oscil·lar entre 2 i 4 cm.
- La càrrega no ha d'excedir dels 2/3 de la capacitat de la bóta.

4.5. Transport i posta en obra

El transport dels HRF es pot realitzar pels mitjans convencionals. Respecte l'abocament i la posta en obra es pot fer també mitjançant els sistemes tradicionals amb les següents particularitats:

L'abocament i la posta en obra ha de realitzar-se de manera que no sigui necessari el transport addicional del formigó en obra. Han d'evitar-se les interrupcions del formigonat, ja que aquestes podrien ocasionar discontinuïtats en la distribució de fibres. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.5.1]



Quan la posta en obra es realitza mitjançant una tremuja, el diàmetre de la boca de descàrrega ha de ser superior a 30 cm per tal de facilitar l'abocament. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.5.1]

En la descàrrega directa del camió cal tenir cura que es faci de forma continuada i a poca alçada. Si la consistència es baixa potser sigui necessari acoblar un vibrador a la bóta.

En el bombeig les fibres s'orienten en direcció a la projecció. És necessari un diàmetre mínim de la canonada de 150 mm. És convenient situar tamisos a l'entrada del material per tal d'evitar la presència de boles. I no és convenient utilitzar pressions elevades, ja que es pot produir segregació.

4.6. Compactació

Degut a que l'ús de fibres redueix la ductilitat del formigó, es necessària una major energia de compactació. Tot i així, la resposta a la vibració del formigó amb fibres és millor que la d'un tradicional. Per aquest motiu, per un mateix assentament en el con d'Abrams es requereix un menor temps de vibrat. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.5.2]

La compactació origina una orientació preferencial de les fibres. En general, aquestes acostumen a col·locar-se paral·leles a la superfície encofrada, especialment si s'apliquen vibradors de superfície. Aquest efecte és només local, però pot ser important en elements de poc espessor. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.5.2]

L'ús de vibradors interns pot generar zones amb excés de pasta i poques fibres en la zona on s'ha disposat el vibrador, així com certa orientació en el sentit tangencial al diàmetre extern del vibrador. [EHE-08, Annex 14, Títol 7, Capítol XIII, Article 71.5.2]

Per aquesta raó és millor fer servir regles vibrants, doncs produeixen una distribució més uniforme de la mescla.



4.7. Curat

El curat es pot realitzar mitjançant els sistemes convencionals de reg directe o immersió, cobrint la superfície amb un plàstic impermeable, o aplicant productes filmògens de curat.

Donada la gran superfície de la llosa de formigó, cal fer un curat intens per evitar pèrdues ràpides d'aigua.

Un dels avantatges obtinguts per l'addició de fibres fa referència a la tenacitat, característica molt sensible a un mal curat.

4.8. Control de qualitat i tractaments finals

4.8.1. Deformacions i control de les fissures

El formigó reforçat amb fibres d'acer substitueix les juntes per una sèrie de fissures controlades produïdes durant el procés de retracció. L'eliminació de les juntes no suposa l'eliminació de la retracció.

Per tal d'aconseguir un nivell òptim de durabilitat de la llosa es segueix el següent raonament: s'han de distribuir els moviments de retracció en el número més elevat possible de fissures fines, repartides de la forma més regular possible. Quan més elevat sigui el nombre de fissures, més fines seran aquestes.

Fruit de l'experiència es poden determinar les següents especificacions:

- Les fissures amb una obertura inferior a 0,50 mm no es degradaran mai, qualssevol que sigui la freqüència i la intensitat del trànsit. Aquestes fissures no representaran en cap cas obstacle per a la utilització habitual de la llosa.
- Les fissures amb una obertura compresa entre 0,50 i 0,80 mm presentaran un risc de degradació davant d'un trànsit pesat freqüent.
- Les fissures amb una obertura superior a 0,80 mm es degradaran normalment en els punts amb trànsit.



Quan l'obertura de les fissures resulta crítica, s'ha de procedir a obturar-les i estabilitzar-les. Per als formigons armats, aquesta operació es realitza normalment mitjançant la injecció sota pressió de flux ascendent de resina de baixa viscositat. D'aquesta manera, la resistència a la tracció local supera els nivells que s'obtenen amb les millors matrius de formigó.

Seguint la descripció anterior, totes les fissures amb obertura superior a 0,50 mm, subjectes a degradació, hauran de ser obturades per injecció de resina, per tal de reconstituir una secció monolítica en aquell punt. Donat que les manifestacions de la retracció apareixen normalment a l'any següent de l'execució, es farà un seguiment exhaustiu els primers 3 anys a partir de l'aplicació de la llosa.

En comparació amb la tècnica normal que detalla el tall de la llosa en nombroses juntes, aquest procediment ofereix importants avantatges, donat que les juntes són punts de debilitació irreparables. La degradació de les juntes de retracció és considerada per als professionals com ineludible, i, per tant, necessiten un temps de manteniment molt superior als 3 anys, durant tota la vida útil del paviment.

A més, la pràctica mostra que el procediment d'omplir preventivament les juntes, essent d'un alt cost, només compensa parcialment el seu defecte intrínsec. Ocasionalment s'exigeix el segellat per raons de seguretat i higiene.

A continuació es planteja el model de fissuració:

Les fissures amb obertura superior a 0,80 mm es representen amb la notació O (0.8). Les fissures amb obertura compresa entre 0,50 i 0,80 mm es representen amb la notació O (0.5). I les fissures amb obertura inferior a 0,50 mm es representen amb la notació O (0).

L'avaluació de la fissuració se sol fer en funció de l'obertura i la longitud total de fissura. El comportament global de la llosa respecte la retracció s'avalua mitjançant la longitud acumulada L de fissures, per categoria d'obertura. Es poden definir tres classes de fissuració, tal com s'observa en la pàgina següent:



- I) Model per treballs lleugers:

L – O (0.5) < 50 m per cada 1.000 m².

L – O (0.8) < 70 m per cada 1.000 m².

- II) Model estàndard:

L – O (0.5) < 40 m per cada 1.000 m².

L – O (0.8) < 25 m per cada 1.000 m².

- III) Model superior:

L – O (0.5) < 25 m per cada 1.000 m².

L – O (0.8) < 15 m per cada 1.000 m².

Les fissures de tipus O (0), que són microfissures, no s'han de considerar. El resultat ideal seria que el seu nombre fos el més alt possible, donat que no es degraden i absorbeixen la majoria dels desplaçaments de retracció.

4.8.2. Planimetria

L'acabat superficial d'un paviment industrial és bàsic per al seu bon funcionament. Per aquesta raó, ja sigui en paviments guiats o en paviments amb trajectòries aleatòries, existeixen diferents sistemes per tal d'avaluar aquesta característica.

D'aquesta forma es pretén evitar el possible bolcament dels carretons elevadors que hi circulen, el xoc d'aquests amb les prestatgeries col·locades a la nau, o la inclinació excessiva d'aquestes últimes.



4.9. Tractaments superficials

Quan es dissenyen paviments de formigó per a instal·lacions industrials, moltes de les propietats requerides depenen específicament del seu acabat superficial. En aquest sentit cal potenciar les següents propietats mitjançant uns acabats o tractaments superficials específics.

- Resistència a l'abradió.
- Regularitat superficial.
- Resistència a substàncies químiques abrasives.
- Facilitat de manteniment i neteja.
- Bona aparença estètica.
- Seguretat (antilliscant i antiestàtic).
- Durabilitat.

Tot seguit es descriuen els diferents acabats que es poden donar al formigó per a paviments.

4.9.1. Tractaments sobre formigó fresc

Es realitzen sobre el formigó estès i anivellat, i amb un cert grau de consistència que permeti treballar a la seva superfície. Es diferencien els següents tipus:



4.9.1.1. Polit

És un tractament que compacta i allisa la superfície del formigó. Aquesta actuació es pot fer mitjançant eines manuals o mecàniques.

- Polit manual (skip float): Consisteix en regles metàl·liques en forma de U, de 1,50 a 3,50 m de llarg i 20 cm d'amplada, adossades a un mànec de fins a 6 m de llarg, mitjançant el qual la inclinació del regle es pot modificar. D'aquesta manera es regularitza la superfície del formigó, enfonsant els àrids gruixuts superficials, i eliminant les irregularitats i ressalts que hagin quedat després de les operacions d'anivellament.
- Polit mecànic: Són màquines compostes bàsicament per un o dos caps de rotació, a les que estan unides 4 paletes mecàniques. Aquestes estan dotades de mecanismes que permeten modificar la inclinació de les paletes. El treball de polit es comença quan el formigó ha agafat un enduriment suficient, de manera que l'operari i la màquina no deixin una marca sobre el paviment. Es realitzen varies passades segons es van endurint el formigó, modificant a la vegada la inclinació de les paletes fins a aconseguir la textura d'acabat desitjada.

4.9.1.2. Raspallat o estriat

Operació posterior al polit, per tal d'aconseguir una textura estriada. S'executa mitjançant un raspall de entre 60 i 120 cm amb pèls de longitud variable (raspallat), o mitjançant una mena de pinta amb pues per a la realització d'estries de major profunditat i amplada. Normalment son tractaments previs a un posterior recobriment.

4.9.2. Tractaments sobre formigó endurit

4.9.2.1. Granallat

Consisteix en el llançament de partícules d'acer mitjançant una turbina i una aspiradora de gran potència. És un sistema tancat que va recuperant i reutilitzant les partícules,



escombrant les restes de pols i ciment de la llosa. S'aconsegueix un porus obert amb un perfil d'uns 3 mm de profunditat. Es un sistema d'alt rendiment i net.

4.9.2.2. Fressat o escarificat

La màquina disposa d'uns tambors giratoris amb uns segments de carburs de wolframi. D'aquesta manera penetra a la superfície fins a una profunditat entre 7 i 10 mm. Així s'obtenen unes estries paral·leles. Aquesta màquina també porta acoblada una aspiradora per a recollir les restes d'enderroc.

4.9.2.3. Rajada de sorra

Consisteix en el llançament de partícules silícies o metàl·liques (pirita de coure) mitjançant la pressió subministrada per un compressor. S'utilitza generalment en tractaments a l'exterior.

4.9.2.4. Desbastat

Es fa servir una màquina rotativa a la que s'acobla un disc amb segments de diamant, que en contacte amb el paviment elimina la beurada superficial i altres restes. Degut a la baixa profunditat (d'uns 2 mm) es fa servir previ al tractaments amb pintures.

4.9.3. Tractaments mitjançant capes suplementàries

S'apliquen aquest tipus de capes per tal de millorar algunes propietats de la solera de formigó. Es poden distingir 2 tipus de tractaments:



4.9.3.1. Capes monolítiques

Consisteix en l'aplicació en sec d'un material en forma de pols sobre el formigó fresc. El material utilitzat consisteix en una mescla de ciment i agregats minerals o metàl·lics, colorants i additius. L'espessor final de la capa és d'uns 2 o 4 mm, sense tenir en compte la part que penetra en el formigó. S'aplica en varies fases, alternant la utilització de la polidora per homogeneïtzar i distribuir el material dispers. Finalment es fa el tractament de curat, tall i segellat de juntes corresponent.

4.9.3.2. Capes adherides

S'aplica sobre el formigó una capa d'espessor entre 5 i 20 mm d'un morter hidràulic o polimèric. Es recomanable fer-ho sobre el formigó recentment aplicat (entre 12 i 24 hores), perquè si es fa sobre el formigó endurit (28 dies) cal fer prèviament un tractament d'un reg d'adherència.

4.9.4. Tractament específic amb resines

Les resines utilitzades com a tractament superficial solen estar constituïdes a base de polímers termoenduribles. Aquests polímers formen una estructura molt rígida, oferint resistències mecàniques importants. Les més utilitzades són les resines epòxid. S'utilitzen de les següents formes com a tractament del formigó:

- Pintura per d'acabat i/o imprimació (pura o a l'aigua).
- Lligant d'un morter autoanivellant de sorra fina (2-4 mm)
- Lligant d'un morter sec (5-10 mm)

Amb aquestes resines es milloren les propietats de resistència mecànica, a la abrasió, a l'impacte i a l'atac químic.



Altres tipus de resines també utilitzades són les de poliuretà (per a punteig de fissures), metacrilat (amb l'avantatge que endureixen ràpidament i a baixes temperatures), i les acríliques (poc utilitzades doncs la resta aconseguen millors propietats).

4.10. Classificació dels defectes

La conservació d'un paviment es basa en la realització d'una avaluació i seguiment periòdic del mateix durant la seva vida útil, per tal de detectar possibles defectes a reparar, abans de que es converteixin en problemes greus.

Cal tenir en compte que els paviments de formigó correctament dimensionats i executats es caracteritzen per una alta durabilitat i per una reduïda despesa en conservació i manteniment.

Els defectes poden ser superficials i poc importants, però d'altres poden necessitar rehabilitacions estructurals importants.

4.10.1. Defectes superficials

4.10.1.1. Pèrdua de textura

Per l'acció del trànsit es pot produir un polit superficial dels àrids del paviment, de manera que la superfície es torna molt lliscant. Aquest factor depèn principalment de la resistència al poliment dels àrids que s'amida a partir del coeficient de poliment accelerat. La seva reparació es realitza mitjançant un tractament superficial, ja sigui un tractament mecànic (fressat, rajada de sorra, etc), o l'execució d'una capa superficial antilliscant.

4.10.1.2. Fissuració en mapa i descarnació

Degut a l'excés d'aigua a la mescla, i/o a un excés d'operacions d'acabat, es poden produir fissures superficials i fines que intersequen entre sí formant angles de 120°.



Aquestes, amb el temps, poden produir descarnacions superficials amb profunditats entre 5 i 15 mm.

4.10.1.3. Arrencaments

Són petites cavitats de forma més o menys circular, amb diàmetres entre 25 i 100 mm i profunditats entre 15 i 50 mm. Són degudes a la utilització d'àrids de poca durabilitat, expansius o contaminats amb materials de baixa densitat, que puguen a la superfície durant el vibrat del formigó per a desaparèixer posteriorment.

4.10.1.4. Fissures de retracció plàstica

Són petites fissures paral·leles, curtes i inclinades. Es produeixen durant l'enduriment del formigó, i es deuen a una evaporació ràpida de l'aigua superficial. Per tant són causades per un curat deficient o altes relacions a/c al formigó. És un problema poc greu en els formigons amb fibres, doncs aquestes cusen les fissures i eviten que creixin i generin problemes importants com pot passar en altres paviments de formigó.

Existeixen altres defectes menys importants com l'aixecament de pols, bombolles superficials o canvi de color del formigó.

4.10.2. Defectes superficials en les juntes

Com s'ha dit durant tot el projecte, els paviments de formigó armat amb fibres d'acer redueixen molt el seu nombre de juntes, ja que només fan servir les d'aïllament i les de construcció. Per tant, també es redueixen els problemes que es poden generar a les juntes, que són els més habituals. Aquests problemes poden ser desperfectes per eliminació del producte de segellat (mala qualitat del mateix o excés de producte), o despuntats a les cantonades causats per defectes de construcció, com falta de compactació, problemes al retirar els encofrats o cops posteriors.



4.10.3. Defectes estructurals

Són aquells que poden afectar a tot el gruix de la llosa. Es detecten per l'aparició d'esquerdes importants, i en molts casos són degudes a un assentament diferencial de la fonamentació de la llosa.

4.10.3.1. Fissuració de les lloses

Les esquerdes estructurals es classifiquen segons la seva obertura entre les que són menors de 0,50 mm (que donaran pocs problemes), les de 0,50 a 1,50 mm (assumeixen parcialment la transmissió de càrregues i pot entrar l'aigua a través de les mateixes), i les més problemàtiques, les superiors a 1,50 mm. En general en els paviments de formigó armat reforçats amb fibres d'acer ben executats no haurien d'aparèixer fissures de més de 0,50 mm d'obertura.

4.10.3.2. Fissuració transversal

La majoria són degudes a problemes en les juntes de retracció. Només es poden produir en els formigons amb fibres quan hi hagi un excessiu fregament amb la capa de sota per adherència (o mala ubicació de la làmina intermèdia), o per fallides del recolzament de les capes base. Així que es redueix la possibilitat.

4.10.3.3. Fissuració longitudinal

També solen ser causades per problemes entre les juntes de retracció. Altres casos possibles poden ser assentaments diferencials, o variacions d'humitat en terrenys expansius, que produeixen una tensió excessiva sobre la llosa.



4.10.3.4. Fissures diagonals

Aquestes fissures afecten al paviment en tot el seu gruix, i són normalment degudes a l'assentament o elevació de les capes inferiors d'aquest. Quan es produeixen, el grau d'assentament longitudinal de la llosa és diferent al transversal, pel que són de direcció variable. En principi, si el seu creixement és poc important, amb el cosit de les fibres és suficient.

4.10.3.5. Fissures en punts singulars

En els paviments amb juntes, els pilars o registres s'han de col·locar el més a prop possible de les cantonades de les lloses. En tots els paviments i, en especial en els de formigons amb fibres, s'han de generar específicament les juntes d'aïllament per als pilars per tal d'evitar la transmissió de càrregues. Per tant, poden aparèixer algunes fissures que surten des de les cantonades de les juntes als pilars.

4.10.3.6. Moviments verticals de la llosa

És un dels casos més habituals en els paviments amb juntes. El pas del trànsit per aquestes o l'assentament diferencial de les pastilles pot produir moviments verticals de les lloses. Això produeix la infiltració d'aigua. Aquesta aigua per l'acció del trànsit produeix una certa guerxera en les lloses, i, a més, puja per les juntes emportant-se els fins i augmentant així la magnitud dels forats existents. Aquesta es una problemàtica poc habitual en els formigons amb fibres, per la poca longitud de juntes total.



4.11. Tècniques de reparació i manteniment

4.11.1. Reparacions superficials

Pràcticament totes les reparacions superficials es fan seguint la següent metodologia:

- Determinació de l'àmbit de la zona defectuosa colpejant amb un martell. Mínim 15x15 cm.
- Tall amb disc de diamant fins a 30-50 mm, enderroc amb martell pneumàtic i neteja global de la zona enderrocada.
- Preparació de la zona per al rebliment. Si aquest es fa amb morter o amb formigons caldrà inundar la zona amb aigua per retirar-la posteriorment. Si es fa amb resina epòxid caldrà que estigui completament net.
- Aplicació d'un material per a garantir una adequada adherència. Pot ser una resina epòxid o una beurada de ciment.
- Omplir amb el material de reparació: morter, formigó o resina. En el cas de formigó o morter caldrà fer un vibrat amb vibradors petits d'agulla, o regles en extensions més importants.
- Allisat i polit de la superfície fins aconseguir la textura similar a la resta de paviment.
- Curat de la reparació amb productes adients.

En funció de la profunditat de la reparació, el material de rebliment pot ser morter (fins a 30 mm de profunditat), o amb un formigó de grandària d'àrid inferior a 10 mm per a profunditats més importants. També es poden utilitzar resines epòxid o de polièster per obrir ràpidament al trànsit.



4.11.2. Reparacions estructurals

Aquest tipus de reparacions es fan en zones que tenen esquerdes amples i profundes, o juntes deteriorades que presenten moviments importants. En aquest sentit, són necessàries com a mínim unes dimensions de 2x2 m per poder treballar.

El cas és molt semblant a les reparacions superficials, amb les següents particularitats:

- L'enderroc es farà amb maquinària de major intensitat i potència.
- Un cop s'ha buidat completament el forat, cal comprovar si el problema ha afectat a les capes inferiors del ferm, i si el drenatge està en bones condicions. En cas necessari, caldrà fer una reparació.
- En el cas de juntes caldrà fer un tractament similar a la seva situació prèvia per la transmissió de les càrregues; col·locació de passadors i/o barres de cordat.
- Si s'han produït assentaments diferencials o combat de les lloses, serà necessari procedir a la injecció de beurada sota les lloses. D'aquesta manera es restableix el recolzament i la capacitat de suport. Posteriorment, quan la beurada hagi endurit, els possibles desnivells que quedin podran ser eliminats mitjançant una fresadora.

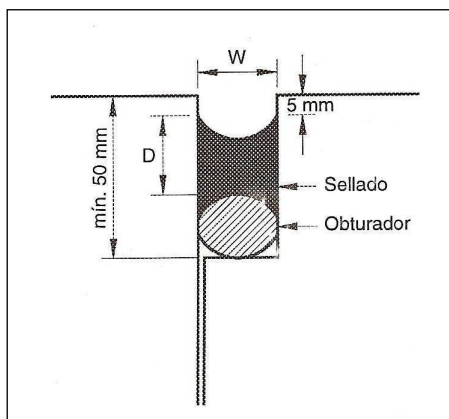
4.11.3. Segellat d'esquerdes

Tal com ja s'ha explicat prèviament, és recomanable el segellat d'esquerdes quan aquestes són superiors a 0,50 mm. El procediment per l'execució del segellat és el següent:

- Execució del calaix mitjançant una talladora amb disc. L'amplada i profunditat depèn del material utilitzat (W/D; 2/1 per silicones, 1/1 per polisulfurs o poliuretans i 1/2 per quitrans o PVC. La longitud serà d'1 m més que l'esquerda.
- Netejat i col·locació de l'obturador de fons. És un material compressible que es situa al fons de la junta per tal d'evitar que el producte de segellat es perdi per la fissura.



Execució del producte de segellat d'esquerdes



4.11.4. Reforços

S'utilitzen quan és necessari incrementar la capacitat estructural del paviment. Aquests es poden classificar pel seu espessor en gruixuts i prims, o per la seva adherència en capes adherides i capes no adherides. És la mateixa tipologia ja comentada en l'apartat de tractaments superficials.

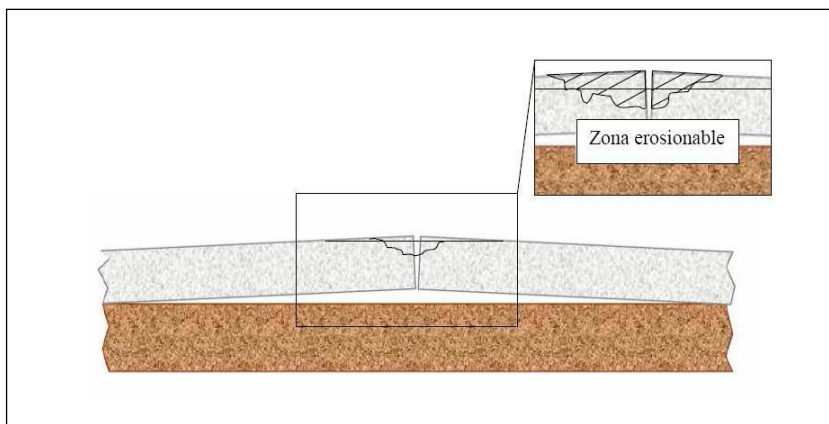
Els reforços adherits són aquells que es procura una unió el més perfecta possible entre el paviment i el reforç, de manera que actuen monolíticament. Es fa servir quan el paviment base es troba en bon estat. Es fan servir espessors entre 25 i 50 mm.

Els reforços no adherits es fan servir quan el paviment està bastant deteriorat. La seva construcció és molt semblant a la d'un paviment nou, doncs el seu comportament estructural serà com un paviment col·locat sobre una base molt resistent. En aquests casos cal garantir la no adherència mitjançant una làmina de polietilè, o una beurada bituminosa. Es fan servir en gruixos d'uns 150 mm.

De l'estudi de les causes de la problemàtica es conclou que el motiu principal pel qual es produeix el desgast i moviment de les lloses és la guexera d'aquestes, causada per la retracció produïda per una dessecació diferencial entre les cares durant el procés d'enduriment. Com a conseqüència del citat mecanisme es genera un ressalt a la junta, que davant un trànsit continuat pot patir un desgast.



A continuació s'observa un croquis de la guerxera de les lloses i l'erosió de la junta:



La solució plantejada en aquest cas és el soldat de les lloses mitjançant la interposició d'un element d'unió. Per això s'executa un tall amb disc i es realitza un sanejat d'uns 5 cm d'amplada i 7 cm de profunditat. Aquesta zona és rentada i es fa una imprimació amb resina. Posteriorment s'omple mitjançant una resina de metacrilat semirígida. Un cop ha solidificat la resina cal fer un poliment mecànic per tal de deixar tot el conjunt a nivell, en la zona propera a la reparació. Per últim s'observa un croquis de la reparació de la junta.

