

MODELITZACIÓ DEL COMPORTAMENT DELS FERMS SEMIRRÍGIDS PER OPTIMITZAR EL SEU DISSENY I MANTENIMENT

Miró, R.¹; Rebollo, J.²; Pérez Jiménez, F.³; Martínez, A.⁴

Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori

e-mail¹: r.miro@upc.edu

e-mail²: jose.rebollo@upc.edu

e-mail³: edmund.perez@upc.edu

e-mail⁴: adriana.martinez@upc.edu

Paraules Clau: Ferms semirrígids, Modelització, Fatiga, Reflexió de fissures.

Resum: *Els ferms semirrígids estan constituïts per una o dues capes inferiors tractades amb ciment, més unes capes superiors de mescla bituminosa. Aquests ferms es deterioren per un fenomen associat a la fatiga, la reflexió de les fissures de retracció de les capes tractades amb ciment en les capes de mescla bituminosa. Així, els paviments trenquen amb el mateix patró de les fissures predeterminades en la capa inferior, veient-se afectada la durabilitat i la qualitat de la rodada. En aquest treball es vol desenvolupar un procediment de disseny, a partir d'un model 3-D del comportament del conjunt del ferm i de la determinació dels paràmetres significatius en la fatiga del mateix, per tal d'optimitzar el disseny i la rehabilitació d'aquest tipus de ferms.*

1. INTRODUCCIÓ

En el marc del Projecte de recerca REHABCAR “Rehabilitación de Carreteras y Autopistas” (Programa INNPACTO, Plan Nacional de Investigación, Desarrollo e Innovación Tecnológica, 2008-2011, Ministerio Ciencia e Innovación), el Laboratori de Camins del Departament d'Infraestructura del Transport i del Territori pretén analitzar la contribució de les capes superiors de mescla bituminosa per minimitzar la reflexió de les fissures de les capes inferiors tractades amb ciment dels ferms semirrígids, causa de l'acceleració del procés de fatiga i disminució de la capacitat estructural del ferm.

A partir de la determinació de la sensibilitat del conjunt estructural del ferm a les variacions de les característiques geomètriques i resistents de les capes que els constitueixen, l'objectiu es poder desenvolupar una metodologia per dissenyar els ferms semirrígids i a la vegada determinar el possibles reforços dels ferms ja malmesos o amb traces d'inici dels processos de fatiga.

Els ferms semirrígids, formats per capes superiors de mescla bituminosa (MB) i una o dues capes de base tractades amb ciment, sol-ciment (SC) ó grava-ciment (GC), que aporten capacitat resistent a flexotracció a un material granular que abans de ser tractat només tenia capacitat friccional, suposen en aquests moments una alternativa econòmica als tradicionals ferms flexibles. El seu us s'està estenent poc a poc a reu del món com solució tecnològica per construir ferms amb una vida útil més llarga.

2. TREBALL A DESENVOLUPAR

En els treballs sobre fermes semirrígids, molt desenvolupats als EUA dins dels procediments de disseny Mecanicistes-Empírics del NCHRP [2], es considera que aquesta solució tecnològica presenta una alta complexitat, comparats amb els fermes flexibles i inclús amb els situats en l'altre extrem del comportament i del procés de construcció com són els paviments de formigó.

La raó principal de la complicació teòrica de la concepció del ferm semirrígid es que es tracta d'autèntiques estructures mixtes, amb les avantatges dels fermes flexibles i dels rígids, però a la vegada amb la suma de problemes i patologies dels dos sistemes.

La relació entre el mòdul elàstic de les capes superiors de mescla bituminosa i el de les capes inferiors tractades amb ciment (E_{MB}/E_{SC}), en situacions normals, pot situar-se entre 1/4 i 1/2, però també poden donar-se situacions amb mescla bituminosa d'alt mòdul, en que el quocient E_{MB}/E_{SC} sigui de 2. És molt important la constatació de que aquesta relació no es manté constant al llarg de l'any, donada la sensibilitat del mòdul elàstic de les MB enfront la variació de temperatura (es al estiu quan la relació de mòduls pot arribar a 1/4).

Una primera part de la feina consisteix en preparar un conjunt de models numèrics de comportament del conjunt del ferm semirrígid, per constatar la sensibilitat als paràmetres geomètrics i propietats mecàniques dels materials que els constitueixen i que a la vegada s'han d'ajustar i justificar pel seu disseny i reforç, per posteriorment poder-los calibrar i verificar.

Aquest procediment obliga a proposar una evolució del concepte de solució tecnològica dels fermes, ara amb l'ús d'unes simples taules de solucions donades (Norma 6.1-IC), a on es predeterminen les solucions a partir dels paràmetres de tràfic, capacitat portant de l'esplanada i tipus de material. No es parla de models de simulació de l'estructura del ferm, ni del tipus d'accions directes o indirectes, ni de com es caracteritzen els materials en el procés de disseny, ni de metodologia de càlcul, ni de metodologia d'assaig de comprovació de l'obra executada per comparar-la amb l'obra dissenyada. En canvi si apareixen unes lleis de fatiga, com a lleis constitutives, per comprovar, si arribes el cas, el nombre de cicles que el material, MB, SC, GC o Esplanada, poden arribar suportar al llarg de la seva vida útil, que en general estan inspirades en la línia dels treballs de la NCHRP.

La metodologia de treball endegada pretén, a partir d'eines de modelització de sols i estructures disponibles al mercat, a l'abast de tots els tècnics involucrats, determinar un mètode de disseny analític més uns protocols d'avaluació i assaig de l'obra executada, recolzant-se en l'experiència d'assajos desenvolupats al Laboratori de Camins, per assegurar que l'execució final de l'obra respon al disseny previ i que el disseny coincideix amb la capacitat d'execució al ús.

Igualment el Projecte pretén definir un protocol d'actuació per la rehabilitació d'aquest tipus de fermes, fi últim del Projecte de recerca, dels quals ja es disposen de més de 40 anys d'experiència d'execució en el nostre país, amb uns protocols d'execució determinats (PG-3) i un saber tecnològic recollit per manuals com el "Manual de Firmes con Capas Tratadas con Cemento" [1].

Conèixer i dominar la importància de cada paràmetre que participa en el disseny de la solució del ferm semirrígid es clau per entendre com envelleix i es degrada amb l'ús del tràfic, i per tant per actuar en cas de necessitat de reforç.

Es aquí on la calibració d'un model que inclogui els paràmetres més representatius del disseny es important.

L'anàlisi de la correlació entre els paràmetres analitzats i els motius de la fallida del ferm semirrígid, es basen en les característiques compartides d'aquesta solució tecnològica

respecte a fermes flexibles i fermes rígids, ja que hi ha una sèrie de propietats que comparteixen ambdós:

- 1) Els fermes semirrígids presenten el comportament tridimensional propi dels fermes rígids, ja que la capa de SC inferior, forma un tauler de panys separats per juntes induïdes en la fase de construcció, però, amb unes capes superiors contínues que ajuden a repartir la pressió de l'empremta de les rodes sobre la capa inferior, i a la vegada garanteixen la possibilitat de realitzar un manteniment de la qualitat de la rodada, sense afectar a l'estrat més resistent.
- 2) Aquestes juntes induïdes "a priori" en el SC o GC, amb geometria predeterminada que crea una discontinuïtat ordenada, ajuda a resoldre problemes tensionals que apareixerien si hagués continuïtat, però creen nous problemes tensionals en les bores de la junta i moviments induïts per accions indirectes que acaben afectant a la MB, amb reflexions de fissures i afeccions a la durabilitat del ferm [3]. Igualment aquestes tensions de bora marquen la necessitat de controlar la resistència a la flexotracció del SC.
- 3) La capacitat resistent a flexotracció és fonamentalment de la capa de SC, amb una resistència més baixa a la flexotracció que el formigó i per tant amb condicionants de distàncies entre juntes més forts i amb major necessitat de gruixos superiors de MB que reparteixin la tensió de contacte entre capes de diferents materials, per tal de reduir el nivell tensional de treball de la capa de SC.
- 4) Es dona un bon repartiment de les càrregues de tràfic amb les estructures tipus de fermes semirrígids (sense singularitats geomètriques ni tèrmiques), considerant el ràtio entre la pressió del pneumàtic i la tensió que arriba a l'esplanada just a sota de la vertical d'aquest, envers dels fermes flexibles. En canvi aquest valor disminueix en les zones properes a les juntes i a les fissures del SC. Les fissures fan de frontissa entre panys de SC i acaben reflexant-se en la MB i iniciant el procés de fatiga i deteriorament de l'estructura del ferm.
- 5) El ferm semirrígid, comparat amb el ferm flexible, presenta més baixa sensibilitat a la saturació de l'esplanada donada la rigidesa i capacitat de repartiment de la capa de SC.
- 6) El fet de disposar una capa de SC, rígida i resistent a la flexotracció, fa que hi hagi sensibilitat i resposta estructural a gradients tèrmics (la zona inferior) però amb una capa superior de MB que actua d'aïllant a la transmissió tèrmica a partir de cert gruix, material que també augmenta molt de temperatura per efecte de la radiació solar (pel color negre del mateix), el que també afecta a incrementar els possibles gradients tèrmics.
- 7) Les propietats resistents i aïllants de la capa de MB en la part superior de l'estructura del ferm semirrígid, la fa susceptible de ser conformada amb diferents capes de MB formant una sèrie estratificada concreta, d'un gruix total a optimitzar, més enllà del que ara prescriu la normativa, que pugui aportar qualitat i seguretat de rodada, repartiment de càrregues i aïllament tèrmic, a més de efecte barrera a la formació de fissures i progressió de les discontinuïtats de les juntes.

En conclusió, s'espera poder determinar la sensibilitat d'aquest tipus de fermes a paràmetres com:

- a) Caracterització de l'esplanada, amb un coeficient de balast, a partir de proves de plaques de càrrega o del mòdul elàstic dinàmic determinat a partir de processos inversos com l'ús de deflectòmetres d'impacte.

- b) Caracterització teòrica i determinació d'assajos de control i d'avaluació de les capes de SC i GC, a partir de la resistència a la compressió simple, f_{ck} , resistència a la flexotracció, $f_{ct,m,fl}$, mòdul elàstic de la capa, E , i coeficient de Poisson, ν .
- c) Gruix mínim i màxim executable amb qualitat, del SC i/o GC, per raons tecnològiques.
- d) Espaiament de juntes de construcció dels panys de SC i/o GC. Avaluació de la possible capacitat de fregament entre cares de la junta formada. Profunditat de les juntes a executar.
- e) Caracterització teòrica i determinació de nous assajos de control i d'avaluació de les capes de MB, que expressin la capacitat de les mateixes a propagar fissures de les capes inferiors de SC i determinació de correlacions amb aquests assajos per tal de determinar els paràmetres, E , i coeficient de Poisson, ν , dependents de la temperatura segons l'època de l'any i la localització geogràfica a la península, necessaris per utilitzar els models de càlcul i justificar les solucions de reforç.
- f) Procediment de predeterminació d'accions tèrmiques, gradients, sobre l'estructura del ferm semirrígid, en funció de la situació geogràfica del mateix.
- g) Alternança i disposició de diverses capes de MB, de gruixos i de propietats mecàniques diferents, per tal de compatibilitzar el seu treball amb el de la capa de SC i garantir la no progressió de les juntes de treball, prèviament realitzades en el SC com a part del procés constructiu, com a fissura finalment reflectida en la superfície i que obliga al manteniment i/o el reforç del paviment.
- h) Anàlisi de sensibilitat a la vida útil de diferents lleis de fatiga utilitzades a reu del món.

REFERÈNCIES

- [1] Jofré, C. y Ruiz, A. (2009): Manual de Firmes con Capas Tratadas con Cemento. CEDEX-IECA.
- [2] NCHRP (2004): Guide for Mechanistic-Empirical Design of New and Rehabilitated Pavement Structures. Part 3. Chapter 6. HMA Rehabilitation of existing pavements. National Cooperative Highway Research Program, 1-37A. Final Report.
- [3] NCHRP (2010): Models for Predicting Reflection Cracking of Hot-Mix Asphalt Overlays. National Cooperative Highway Research Program, Report 669.