RECULL DE CONFERÈNCIES 2021 / DEBATS DE RECERCA 14: 205-220 (2022)
Societat Andorrana de Ciències, Andorra
DOI: 10.2436/15.8060.31.3 ISBN: 978-99920-61-65-7

Ferran Gras i Travesset

Enginyer i doctorand a l'IQS School of Engineering - Universitat Ramon Llull. Pla de Doctorats Industrials de la Generalitat de Catalunya - Aigües de Barcelona

Ferran Gras i Travesset

Rehabilitació avançada d'una canonada d'aigua potable mitjançant materials compostos

Resum

La xarxa de canonades de diferents països del món ha arribat al final de la seva vida projectada i per tant cal renovar-la per evitar tant pèrdues en el subministrament com mediambientals. Les noves tecnologies i tècniques aparegudes en les últimes dècades han permès aprofitar els conductes existents per rehabilitar la xarxa sense haver de realitzar excavacions. En aquest document s'exposa una de les solucions que més han crescut en el mercat els últims anys; el Cured In Place Pipe (CIPP), un sistema de rehabilitació que utilitza un *composite* de fibra i resina que s'adapta perfectament a les parets de la canonada existent i en crea una de nova dins la deteriorada. Tot i l'impuls que ha tingut aquesta tècnica en els darrers anys, són diversos els problemes que han aparegut en diferents obres de rehabilitació de canonades d'aigua potable i que no tenen un origen clar. En aquest document s'analitzen els defectes que poden aparèixer així com el seu origen. També s'ha ideat una sèrie d'estrictes procediments i assajos normalitzats que s'han de seguir i que ajudaran a mantenir en tot moment sota control una rehabilitació per CIPP, fet que contribuirà a entendre millor quina és l'aportació de cadascun dels agents que intervenen en una rehabilitació i de les diferents parts des del punt de vista mecànic.

1. Introducció

El Cured In Place Pipe és una tècnica de rehabilitació de canonades que presenta nombrosos avantatges respecte a la tradicional substitució. No només avantatges des del punt de vista tècnic sinó també en l'àmbit econòmic. Aquest fet, lligat a l'arribada de la fi de la vida projectada de les canonades de gran part dels països d'arreu del món, ha propiciat que el mercat de rehabilitacions per CIPP es disparés. Tot i les dificultats inicials, avui en dia es tracta d'una tècnica

consolidada en el camp del transport d'aigües residuals però no es pot dir el mateix del transport d'aigua potable, on les altes pressions magnifiquen exponencialment qualsevol petit problema en la mànega instal·lada fet que pot arribar a deixar fora de servei el tram rehabilitat.

L'arribada a la fi de la vida útil projectada tant de les xarxes d'abastiment d'aigua potable com de les de sanejament és una realitat en diversos països d'arreu del món. L'extens quilometratge de canonades que compon la xarxa, juntament amb el seu avançat estat de degradació, fa que el mercat de la rehabilitació de canonades tingui una gran previsió de creixement [1].

Segons l'AEAS (Asociación Española de Abastecimientos de Agua y Saneamiento), al 2016 a Espanya hi havia 224.000 km de xarxa d'abastiment i 65.000 km de xarxa d'aigua residual. Aquest informe també subratlla l'avançat estat d'envelliment d'ambdues xarxes. Exposa que en aigua potable, el 41% té més de 30 anys i un 30% tenen entre 15 i 30 anys i que tan sols s'ha renovat el 0,9% de la xarxa. Pel que fa a sanejament, el 40% té més de 30 anys, el 34% té entre 15 i 30 anys i tan sols el 0,6% de la xarxa s'ha renovat [2].

Fruit de l'ús diari, amb el pas del temps, a poc a poc les canonades es van degradant, perden les seves propietats mecàniques inicials i presenten avaries freqüents. Aquestes avaries no tan sols tenen un cost econòmic molt elevat, sinó que també afecten directament la població ja que es tracta d'un servei essencial i de primera necessitat, a més dels danys a tercers que es puguin causar.

Per a la renovació de la xarxa de canonades existeixen dues opcions: substitució o rehabilitació. La substitució consisteix a canviar directament la canonada afectada per una de nova. És l'opció més costosa, que més recursos i temps implica i que més problemes d'afectació a la mobilitat de la població comporta ja que implica haver de tallar un carrer, carretera o accés durant un llarg període de temps, a més de la contaminació acústica i la presència de maquinària pesant a la zona.

D'altra banda, tots els processos de rehabilitació aprofiten tant el trajecte com les propietats mecàniques de la canonada degradada i es basen en la creació d'una canonada dins de la canonada existent, evitant disminuir al màxim la secció i solucionant els problemes de fuites que solen presentar les

canonades degradades. Existeixen diferents sistemes de rehabilitació (*spray, pipe bursting, sliplining, thermoformed pipe (*Fold-and Form [3]), Cured In Place Pipe CIPP)) [4]. Cadascun d'ells té el seu camp d'aplicació però, per les seves característiques, el CIPP és el que té un rang d'aplicabilitat més ampli.

El Cured In Place Pipe és una tècnica de rehabilitació de canonades en què es fa servir un material compost de fibra i resina per crear una canonada en perfectes condicions dins de la canonada degradada existent. Aquesta tècnica presenta nombrosos avantatges respecte a la tradicional substitució. No només avantatges des del punt de vista tècnic sinó també en l'àmbit econòmic. Per tant, en vista de la gran extensió de canonades que s'ha de rehabilitar i la gran inversió que cal fer per aconseguir-ho, les empreses estan fent una aposta clara pel CIPP.

Tot i les dificultats inicials, avui en dia es tracta d'una tècnica consolidada en el camp del transport d'aigües residuals. En canvi en el transport d'aigua potable, les altes pressions magnifiquen exponencialment qualsevol petit problema en la mànega instal·lada fins al punt de provocar el col·lapse o despreniment total de la mànega. Així ho demostren diversos projectes d'empreses diferents. S. Khan i C. Dobson [5] analitzen cinc casos diferents de rehabilitació mitjançant CIPP de canonades d'aigües residuals del nord de Califòrnia que han tingut problemes greus durant la instal·lació.

En els darrers anys, s'han registrat diversos sinistres en obres de rehabilitació que han evidenciat que existeixen fortes incerteses en el coneixement del comportament mecànic del material tant en la fase d'execució, en què intervenen fenòmens tèrmics i variacions de pressió, com en la fase de servei, en què l'experiència demostra que es produeixen fenòmens no previstos en fase de projecte que afecten greument la seva durabilitat. L'objectiu principal de la tesi que em trobo realitzant és donar resposta a les incerteses que actualment presenta aquesta tècnica per tal d'arribar a poder fer rehabilitacions de canonades d'aigua potable amb garantia d'èxit.

A la província de Barcelona, l'actual empresa Aigües de Barcelona al 1993 va realitzar les primeres rehabilitacions amb tecnologia CIPP en canonades d'abastiment. Una de les primeres va ser l'obra que va tenir lloc al carrer Major de

Montcada i Reixac [6]. Es tractava d'una canonada de fosa de ø500 mm, que té una pressió de servei entre 5-6 bars. En aquest cas, es van rehabilitar 488 m dividits en dos trams amb resultats satisfactoris [7]. Fins a l'actualitat, degut als avantatges d'aquesta tècnica, Aigües de Barcelona ha continuat fent rehabilitacions de canonades d'aigua potable de diàmetres considerables (ø400-800 mm).

2. Fonaments del CIPP

L'origen del CIPP es troba en l'enginyer agrònom Eric Wood, que al 1977 es va endinsar al mercat americà i va crear Insituform Technologies Inc juntament amb Dong Chick, Brain Chandler, Scott Bader i WE Rawson, la companyia líder en el sector. El CIPP és una tecnologia que no es va protegir sota patents en tots els territoris i per tant ja als anys 1980 comencen a sorgir companyies al Japó i Europa (sobretot França) que comencen a desenvolupar aquesta tecnologia. Actualment, totes les patents inicials del CIPP han caducat i s'ha creat un important mercat arreu del món que es troba en fase de constant creixement.

La primera mànega es va instal·lar l'any 1971 a Londres, on es van rehabilitar setanta metres d'una canonada d'aigües residuals de secció en forma d'ou de ø1160 x 609 mm. La vida útil d'una mànega instal·lada és de 50 anys. Només la primera mànega instal·lada els compleix i de moment encara no han sortit publicats resultats d'assajos recents que s'hagin dut a terme i que demostrin que la mànega no ha patit danys considerables al llarg dels anys. Tot i així, a la revista *Trenchless International* es troben publicats assajos realitzats amb mostres de la mànega al cap de 20, 25 i 30 anys amb resultats satisfactoris.

Actualment existeixen diversos sistemes de rehabilitació de canonades de transport d'aigua a pressió amb el sistema de rehabilitació amb mànega Cured in Place Pipe (CIPP). Es tracta d'una tecnologia que es basa en la col·locació de revestiments polimèrics impregnats amb resines a l'interior de la canonada amfitriona deteriorada i el posterior curat.

El sistema consta de tres components: el feltre, les capes de fibra de vidre i un revestiment que sol ser de PE o combinat PP-PE (figura 1). Tot i així, recentment també s'ha investigat la possibilitat d'utilitzar altres materials polimèrics com a revestiment amb resultats satisfactoris [8].

La combinació d'aquests tres components amb resines epoxi d'altes prestacions crea una solució òptima per a la rehabilitació de canonades de pressió amb una vida útil estimada de 50 anys. Els avantatges del CIPP són nombrosos respecte a la substitució convencional de la canonada. El CIPP es caracteritza principalment pel seu reduït temps d'instal·lació i pel mínim impacte mediambiental i social. Aquestes excel·lents característiques es deuen al fet que el CIPP no necessita perforar tot un carrer, via o terreny per tal de rehabilitar la canonada. D'aquesta manera s'aconsegueix minimitzar la presència de maquinària pesant a la zona d'obres, així com l'alt nivell de soroll associat a les activitats que es desenvolupen. Aquesta tècnica també permet reduir la zona de treball a escassos metres quadrats i evitar així restringir de manera total la mobilitat al llarg del recorregut de la canonada ja que tan sols és necessari establir un perímetre de treball en els punts d'accés a la canonada, és a dir, al voltant de les arquetes principals (figura 2). A més, els treballs a la via només duren unes hores per cada tram que cal rehabilitar. Així doncs, en pocs dies la totalitat de la via torna a estar operativa. Tots aquests avantatges també promouen que rehabilitar una canonada per CIPP sigui molt més econòmic (entre la meitat i un terç del cost d'una substitució convencional) i que les empreses apostin fortament per aquest tipus de tècnica. En l'àmbit més tècnic, la disminució de la secció de la canonada és mínima i el baix coeficient de fregament del revestiment permet pal·liar aquesta petita reducció de la secció i evitar incrementar la pressió nominal de treball.

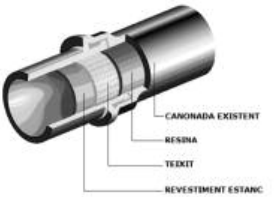

Figura 1. Esquema de les parts d'una canonada rehabilitada per CIPP

Figura 2. Rehabilitació d'una canonada per CIPP en obra. [9]

2.1 Procediment d'instal·lació

Les mànegues CIPP admeten dos mètodes diferents d'instal·lació. El procediment general en ambdós mètodes és el següent: preparació de la canonada, impregnació al buit de la mànega, instal·lació de la mànega per reversió o *pulling*, curat de la resina, tancaments i acabats finals.

a. Preparació de la canonada

Es realitza un examen detallat de l'estat de la canonada per tal d'identificar en quin estat es troba la canonada, conèixer la seva morfologia i identificar possibles incrustacions o residus per tal d'eliminar-los mitjançant una neteja amb rascadors, aigua a pressió... D'aquesta manera s'obté una superfície neta

que permet que la resina s'adhereixi correctament i s'evita l'aparició d'ondulacions o arrugues a la mànega instal·lada.

b. Impregnació de la mànega

Abans de començar amb la impregnació de la mànega cal preparar la resina epoxi.

La resina està composta principalment per dos components: el component A i el component B, que és l'enduridor. Ambdós components es mesclen homogèniament i amb les proporcions indicades pel fabricant evitant crear bombolles en el procés. Després, la resina que es troba als tancs de mescla es bombeja directament a l'interior de la mànega i es manté en tot moment el buit. Mantenir el buit és important ja que en cas que s'hagués format alguna bombolla d'aire durant el procés de mescla, aquesta bombolla seria eliminada. L'enduridor conté un colorant per tal d'identificar visualment una mànega impregnada de resina. Aquest colorant solen ser òxids de ferro que aporten un color vermellós.

La impregnació de la mànega es duu a terme en un ambient controlat ja que la viscositat de la resina utilitzada és molt susceptible als canvis de temperatura i per tal de garantir una correcta impregnació cal evitar baixar de la temperatura que indica el fabricant. D'altra banda, un cop s'ha impregnat la mànega de resina, s'ha de procedir a la seva instal·lació de manera immediata ja que tot i que la resina porta retardants per prolongar el seu *gel-time*, els temps de curació solen ser de poques hores i per tant una mànega impregnada de resina s'ha d'instal·lar el mateix dia que ha estat impregnada per evitar que el procés de curació comenci a temperatura ambient i solidifiqui la mànega.

c. Tècniques d'instal·lació del CIPP

Les mànegues CIPP admeten dos mètodes diferents d'instal·lació.

Pulling

Al mètode per *pulling* o de tracció es realitzen dos processos amb dues mànegues diferents: la primera es col·loca mitjançant tracció i després es col·loca en el seu interior una segona mànega, anomenada *de calibratge*, més fina, mitjançant reversió, que és la que estarà en contacte amb l'aigua. Amb això s'aconsegueix que, durant la instal·lació i l'operació, la mànega sempre estigui protegida per totes dues cares contra agressions externes.

Reversió

El segon mètode segueix el procediment clàssic de reversió, en què la mànega impregnada de resina es col·loca al tambor de reversió i s'introdueix a la canonada amfitriona per reversió mitjançant aire comprimit (figura 3). Per *reversió* s'entén el procés en què es fa la volta a la mànega com si es tractés d'un mitjó (figura 4). El revestiment ha de ser capaç de resistir totes les càrregues externes així com qualsevol pressió interna que es produeixi durant la instal·lació.

Aquesta tècnica té l'avantatge que evita que es formin bosses d'aire entre la mànega i la canonada amfitriona. A més, l'absència de fricció entre la canonada amfitriona i la mànega en el procés d'instal·lació fa que també s'eviti malmetre la mànega. Tot i així, una mànega massa gruixuda (sobredimensionada) provoca que la pressió de reversió s'hagi d'incrementar molt i pugui arribar a malmetre la mànega degut als esforços de reversió. Així doncs, un dels principals factors que cal tenir en compte en aquesta tècnica és la pressió de reversió. La velocitat de reversió també té un paper fonamental en la instal·lació.

D'altra banda, també cal destacar que la instal·lació per reversió permet superar colzes de fins a 45°.

d. Curat de la resina

L'etapa del curat de la resina es pot dur a terme depenent del tipus de resina, mitjançant aigua calenta, vapor d'aigua o raigs UV. Normalment, per al curat de mànegues de pressió es fa servir una barreja entre aigua calenta i vapor d'aigua mentre que el curat per raigs UV s'utilitza més en mànegues de clavegueram (sense pressió). En tots els casos, durant tot el procés de curat cal mantenir una pressió mínima dins la mànega que cal curar per garantir que mentre la mànega segueixi sent flonja en tot moment es continuï mantenint el contacte mànega-canonada amfitriona.

En les tècniques de curat per aigua calenta o vapor, el control de la temperatura i del temps de curat són factors fonamentals. La tècnica consisteix a fer circular aigua i vapor d'aigua per l'interior de la canonada. A la figura 5 es pot apreciar com s'injecta el vapor d'aigua punxant la mànega per un dels extrems amb unes pistoles de vapor.

Pel que fa al curat per raigs UV, s'utilitza el que en llenguatge del CIPP s'anomena *carro* de llum ultraviolada (figura 7). En aquesta tècnica la velocitat de curació es controla tant amb la

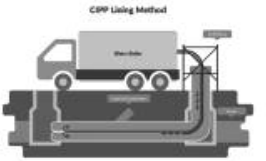

Figura 3. Esquema del muntatge per a la instal·lació d'una mànega per reversió. [10]

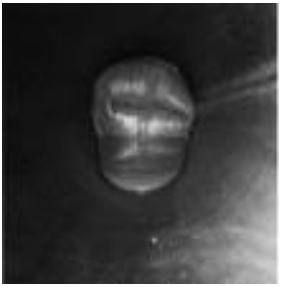

Figura 4. Mànega en procés de reversió dins la canonada amfitriona

Figura 5. Curat amb vapor d'aigua

Figura 6. Control de temperatura, velocitat i posició

Figura 7. Introducció del carro de llums UV dins la mànega instal·lada que cal curar

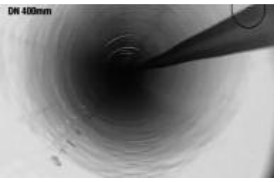

Figura 8. Inspecció postinstal·lació de la canonada rehabilitada

velocitat en què avança el carro de llums com amb la possibilitat de regular la intensitat dels llums. A la figura 6 es pot apreciar el centre de control del carro de llums. En aquest cas es tracta d'un aparell que permet controlar la curació tant per raigs UV com per les altres dues tècniques. Per aquest motiu també dona informació de la temperatura. Tot i així, el carro de llums també porta incorporats quatre sensors de temperatura al llarg de la seva extensió que permeten detectar avaries en algun dels llums ja que com tota llum també emeten calor per pèrdues per efecte Joule, i per altra banda també aporta informació de la intensitat que circula pels llums i permet controlar la velocitat de curació amb més precisió. El curat per raigs UV és una tècnica delicada ja que una baixa exposició a la llum UV provocarà que la resina no curi en la seva totalitat. En canvi una exposició desmesurada podria arribar a danyar la mànega degradant-la o patint petites cremades.

e. Tasques postinstal·lació

Un cop acabat el procés de curació, es talla i analitzen mostres extretes dels excedents previstos de la mànega, se segellen els extrems de la mànega amb massilla o peces de tancaments (depenent del tipus de canonada) i es realitzen els testos de pressió corresponents. Després també es procedeix a reobrir les obertures laterals mitjançant un robot. Tot i així, en canonades de pressió actualment només és rehabiliten trams de canonada sense derivacions laterals ja que ningú ha trobat com solucionar els problemes de despreniment de mànega fruit d'una obertura lateral en mànegues de pressió. Finalment es fa una gravació en vídeo de l'estat interior de la mànega (figura 8).

Una vegada finalitzada la instal·lació de la mànega i curada la resina, el comportament del material del tub hoste pot assumir-se equivalent al d'un material compost. Aquest últim consisteix en la combinació en l'àmbit macroscòpic de dos o més components no solubles entre ells que s'uneixen sinèrgicament, amb què s'obté un material amb més capacitat estructural que la dels seus constituents (fibres, feltre i resina) quan actuen per separat.

Les capes de reforç (rígides i resistents) corresponen a les capes de fibra (sol ser fibra de vidre o poliestirè). El reforç es troba embegut en un material homogeni denominat *matriu* (sol ser una resina epoxi) que actua com a aglutinant,

protector, i s'encarrega de repartir i transmetre les càrregues al reforç. En cas d'existir discontinuïtats en la matriu, ja sigui per bombolles o regions de fibra seca, és a dir, zones amb una impregnació deficient, la matriu pot no transferir les càrregues, i així minvar el comportament estructural del conjunt. Per això, durant el procés d'instal·lació cal minimitzar l'aparició de bombolles, evitar zones d'aire oclòs i garantir una impregnació satisfactòria.

3. Problemes detectats

S'han recopilat els problemes sorgits en diversos projectes. Segons l'origen de la problemàtica es poden dividir en tres grups.

3.1 Problemes derivats de la fase de preinstal·lació

Un bon dimensionament de la mànega és fonamental per a prevenir futurs problemes. En el cas de tenir una mànega d'un diàmetre inferior al que tocaria, el perímetre de la mànega no arribarà a recolzar-se en la totalitat de les parets de la canonada amfitriona (figura 9a), cosa que provocarà que d'aquesta manera en el punt on no hi hagi contacte entre mànega i canonada sigui la mànega la que hagi d'aguantar tota la càrrega i per tant un punt dèbil per on segurament es trencarà en cas que la mànega instal·lada sigui semiestructural i sense *preliner*. Les mànegues es calculen segons l'estat de la canonada que cal rehabilitar. Depenent de l'estat de la canonada que s'ha de rehabilitar, es fabricarà una mànega que contindrà més o menys fibra i per tant la canonada que s'ha de rehabilitar tindrà un paper més o menys important.

Una manera d'intentar evitar aquest problema és augmentar la pressió d'instal·lació de la mànega en el moment que encara no ha curat. D'aquesta manera s'aconsegueix expandir al màxim la mànega fent que toqui a les parets de la canonada amfitriona. Però aquesta possible solució pot comportar dos problemes. El primer és que el grup de pressió no tingui prou capacitat per augmentar tant la pressió i el segon i més preocupant és que segurament es pugui arribar a fer que ambdues estructures arribin a estar en contacte però es molt probable que llavors la mànega, en superar l'expansió màxima que indica el fabricant, s'esquinci i generi una esquerda longitudinal (figura 9b).

D'altra banda, si s'intenta anar pel cantó de la seguretat en el dimensionament i per tant es fabrica una mànega d'un

diàmetre superior al de la canonada que s'ha de rehabilitar, llavors es creen arrugues en la direcció longitudinal (figura 9c) i es creen punts dèbils en la direcció circumferencial, que és la que més càrrega ha de suportar ja que degut a la pressió interna la canonada ha d'aguantar el doble de la càrrega en la direcció circumferencial. Tot i així la direcció longitudinal es carrega degut a les càrregues externes (terreny, trànsit rodat, paviment, aigua...) i per tant debilitar el conjunt en aquesta direcció també pot comportar problemes en un futur pròxim.

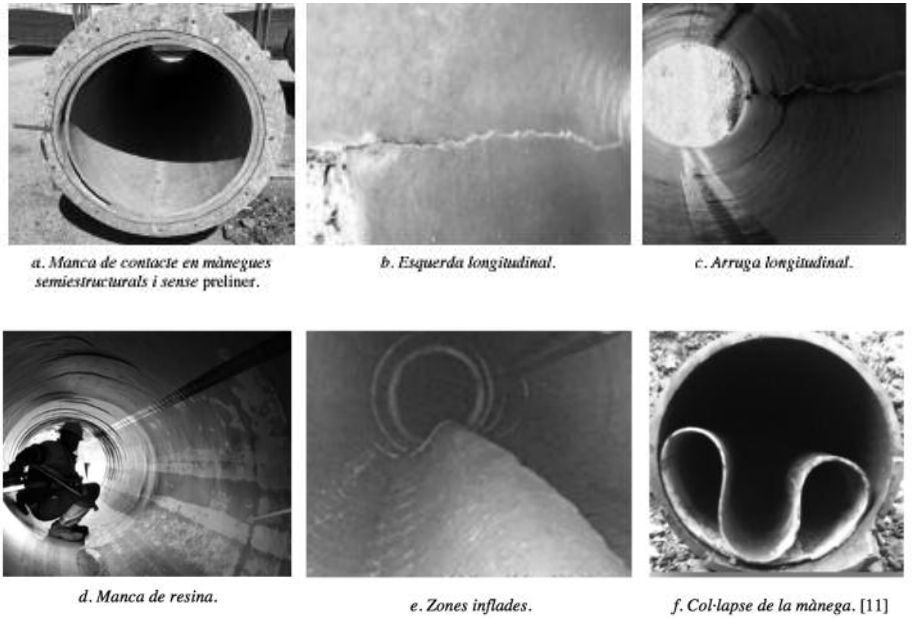

Figura 9. Exemple de defectes genèrics

La manca de resina o una mala impregnació de la mànega (figura 9d) també és un problema greu i inacceptable que comporta haver de realitzar la instal·lació de nou ja que redueix gairebé totalment la capacitat portant del conjunt (mànega-canonada amfitriona). Per sort, es tracta d'un problema fàcilment identificable ja que la majoria de les resines utilitzen components de colors vius per tal de poder identificar a simple vista si la mànega ha estat ben impregnada o no.

3.2 Problemes derivats de la fase d'instal·lació

L'aparició d'arrugues en la direcció circumferencial afecta menys que les arrugues longitudinals però també debilita el conjunt. Aquest tipus d'arruga sorgeix quan la mànega té problemes per avançar a través de la canonada amfitriona i s'encalla en algun punt. Llavors, en el temps que es tarda a desencallar la mànega, la resina comença a curar a poc a poc i solidifica la mànega tot formant una arruga circumferencial.

Com a resultat d'una mala instal·lació també es pot produir el col·lapse de la mànega (figura 9f) o la presència de punts inflats (figura 9e). Ambdós casos són provocats per la presència d'aigua entre la canonada amfitriona i la mànega. L'aparició de punts inflats és perillós en cas que en algun moment s'hagi de buidar la canonada ja sigui per fer-ne el manteniment o altres tasques. Fruit de la despressurització, l'aigua que es troba entre ambdues estructures pressuritzada a la pressió nominal de la canonada d'aigua potable (6-8 bar) provoca que la mànega acabi col·lapsant (figura 9f) i calgui extreure-la i tornar a realitzar la rehabilitació.

Finalment, en algunes obres de rehabilitació mitjançant CIPP també s'han trobat objectes o restes del procés de preparació de la canonada que després han quedat atrapats entre la canonada amfitriona i la mànega i han generat bonys i per tant debilitats.

3.3 Problemes derivats de la fase de postinstal·lació

En aquesta fase, els tancaments tenen un paper clau. Normalment s'utilitzen una espècie de files d'anells metàl·lics que juntament amb anells de goma aconsegueixen que l'aigua no s'escoli entre la mànega i la canonada amfitriona en els dos extrems del tram rehabilitat, fet que comportaria les greus conseqüències comentades anteriorment.

Un dels punts que encara no estan resolts són les derivacions laterals. De moment només es rehabiliten trams sense derivacions laterals ja que ningú garanteix que no es pugui escolar l'aigua entre ambdues estructures. Per rehabilitar trams amb derivacions laterals, actualment el que es fa és dividir el tram en trams petits evitant la derivació i substituint-la per una de nova si fos necessari.

4. Proposta pla d'actuació

Per tal d'evitar els problemes mencionats anteriorment i detectar una possible font de futurs problemes a temps, s'ha

ideat una sèrie d'assajos i procediments que s'han dividit en quatre fases. D'aquesta manera, per una banda es garanteix que la rehabilitació es faci correctament i, per l'altra, en cas que posteriorment sorgís un problema, es pot saber exactament en quina de les fases s'ha produït i quin ha estat el seu origen. Aquest darrer punt és important ja que actualment una rehabilitació per CIPP és com una caixa negra on intervenen molts factors i agents diferents i fa que en cas de fallida sigui molt difícil determinar què és exactament el que ha fallat per evitar que es repeteixi en futures rehabilitacions i per determinar quina asseguradora haurà d'assumir els costos de danys a tercers, nova rehabilitació...

4.1 Fase 1: procediments previs

Abans de procedir a una rehabilitació, s'ha de realitzar una inspecció prèvia de la canonada per tal de determinar quin és l'estat actual de la canonada i valorar quina tècnica de rehabilitació *(spray, pipe bursting, sliplining, thermoformed pipe (*Fold-and-Form [3]), CIPP) [4] és la més adient.

El *spray* consisteix a recobrir l'interior de la canonada d'una fina pel·lícula plàstica i es caracteritza perquè tant la maquinària que cal utilitzar com l'aportació de material són mínimes. Tot i així, és una solució que només serveix quan la canonada presenta un grau de degradació molt petit. Si la pressió nominal de treball de la canonada és baixa també és una solució que s'utilitza per donar estanquitat.

El *pipe bursting* consisteix a introduir a pressió una canonada nova dins de la vella. Aquesta última es va rebentant a mesura que la canonada nova avança. Es tracta d'una tècnica que només s'utilitza en trams rectes i que deixa les restes de la canonada vella enterrades sense fer-ne cap ús. A més és necessari disposar de molt espai durant la instal·lació i per tant poc probable en una ciutat.

El *sliplining* és una tècnica molt semblant al *pipe bursting* però amb la diferència que el diàmetre de la canonada nova és inferior al de la vella i per tant aquesta darrera no es destrossa durant la instal·lació. En aquesta tècnica, la nova canonada és instal·lada tot lliscant per la canonada vella. Els punts febles d'aquesta tècnica són que es redueix de manera important la secció del pas d'aigua a través de la canonada i que només permet rehabilitar trams rectes o amb colzes no gaire pronunciats.

Finalment, el *thermoformed pipe* és una tècnica amb què s'introdueix una canonada de PE dins de la canonada

degradada. Durant la instal·lació, la nova canonada s'introdueix amb un plec. Un cop dins, la canonada nova recupera la forma i torna a recuperar la deformació elàstica que havia patit. Aquesta tècnica també es limita a trams rectes. A més, les arquetes han de tenir una dimensió molt considerable per tal de tenir angle suficient per introduir la canonada nova de PE i el diàmetre intern de la canonada antiga ha de ser gairebé constant al llarg de tota la seva longitud, poc probable en les canonades actuals fabricades amb les toleràncies dels anys 50, 60 i 70.

El CIPP és el més adient quan la canonada presenta danys estructurals lleus o greus i una de les poques tècniques que permeten superar colzes de 45°. També és una tècnica competitiva econòmicament i respectuosa amb el medi ambient i social.

En el cas que es decideixi realitzar la rehabilitació per CIPP s'ha de valorar quin tipus de mànega s'ha d'utilitzar. Segons l'estat de la canonada amfitriona s'emprarà una mànega estructural, semiestructural o d'impermeabilització. Les mànegues d'impermeabilització contenen poca fibra ja que es fan servir en canonades de molt baixa pressió (normalment de la xarxa de clavegueram) per impermeabilitzar tubs que mantenen intacta la seva capacitat portant. Les mànegues semiestructurals s'utilitzen en canonades de pressió que presenten menys de tres esquerdes longitudinals i ja tenen certa capacitat portant però mantenint una elongació important, cosa que facilita la seva instal·lació. Finalment, les mànegues estructurals contenen molta fibra i per tant tenen una elongació mínima però en canvi poden suportar les càrregues que suporta normalment una canonada. S'utilitzen en trams on, fruit del desgast, les parets de la canonada han anat minvant fins al punt on només queda la mínima expressió o també en canonades que presenten orificis importants. En aquest tipus de mànegues la contribució de la canonada amfitriona és nul·la.

A partir de l'estat de la canonada s'ha de dimensionar correctament la mànega seguint la normativa ASTM F1216 [12].

4.2 Fase 2: Recepció dels materials

Quan arriben els components a l'obra per ser instal·lats, han de passar una sèrie de controls per verificar que per exemple el proveïdor no s'hagi equivocat enviant la mànega i que els productes compleixen amb les propietats mecàniques que el

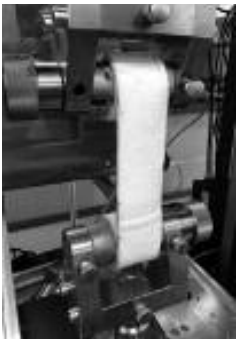

Figura 10. Assaig de tracció d'una mànega de fibra de vidre

Figura 11. Assaig de tracció de la resina

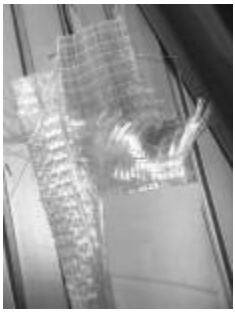

Figura 12. Morfologia de la mànega

fabricant indica. D'aquesta manera, si es troba alguna irregularitat no s'instal·la la mànega, evitant així haver d'emprar temps i recursos a extreure-la. Per aquest motiu es proposa en primer lloc realitzar un anàlisi de les característiques geomètriques i morfologia de la mànega sense estar impregnada de resina, controlant el perímetre i diàmetre de cada capa, anàlisi de les costures si n'hi ha, els materials i composició del gramatge.

També es proposa realitzar assajos de la mànega sense impregnar de resistència a tracció tant en la direcció circumferencial com longitudinal. Aquests assajos permeten conèixer l'elongació màxima i tensió de ruptura de la mànega assegurant que la totalitat del perímetre de la mànega estarà en contacte amb la canonada amfitriona en tot el tram rehabilitat, evitant així la creació d'esquerdes longitudinals.

Pel que fa a la resina, també es proposa analitzar les característiques de curat mitjançant assajos de Differential Scanning Calorimetry per tal d'assegurar que els paràmetres de curat són els correctes ja que, si no és així, després de la instal·lació, el *composite* fibra-resina no arribarà a tenir les propietats mecàniques calculades inicialment, cosa que podria arribar a deixar fora de servei el tram rehabilitat. Per altra banda, també és necessari controlar el nivell de càrregues que porta la resina ja que les propietats mecàniques variaran. És important barrejar molt bé els pots de resina abans d'agafar una mostra per evitar que els compostos de més massa (càrregues) es quedin al fons.

4.3 Fase 3: Instal·lació

Durant la instal·lació es proposa fer una recopilació de dades de certs factors que poden influir en el correcte desenvolupament, com per exemple són les condicions ambientals. La temperatura té una gran influència en la viscositat de la resina, com demostren els assajos de reometria efectuats en una de les resines epoxi bicomponent que s'utilitza en rehabilitacions per CIPP. Com s'observa en la figura 13, impregnar una mànega amb aquesta resina en un dia de fred a l'hivern pot arribar a suposar tenir problemes d'impregnació ja que l'alta viscositat de la resina dificulta que arribi a impregnar tot l'entramat de fibres. Les mànegues instal·lades per CIPP són un *composite* on la totalitat de la fibra necessita estar immersa en una matriu de resina per tal d'obtenir les propietats mecàniques calculades. Hi ha

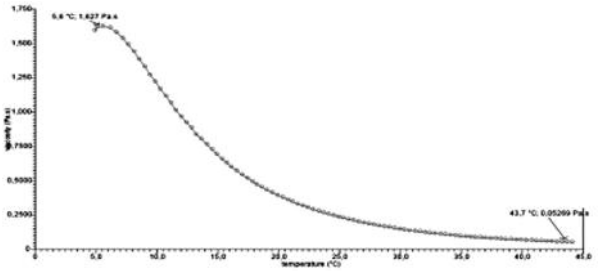

Figura 13. Viscositat d'una resina epoxi bicomponent a diferents temperatures

fabricants que impregnen les seves mànegues a fàbrica mateix però n'hi ha d'altres que realitzen la impregnació *in situ* a l'obra. En la majoria d'ocasions, això suposa dur a terme la impregnació molt d'hora, de matinada, per tal que el *composite* estigui a punt per ser instal·lat a primera hora del matí. En alguns projectes no s'havia tingut en compte el notable descens de la temperatura ambient en el moment de la impregnació, cosa que va provocar *a posteriori* l'aparició de defectes d'impregnació (figura 9d).

Tenir una viscositat massa baixa també és perjudicial ja que un cop posicionada la mànega impregnada de resina dins de la canonada, passarà un temps determinat fins que el curat de la resina s'hagi completat i per tant endurit. Una viscositat massa baixa provocarà que per gravetat la resina flueixi cap a la zona inferior de la canonada (les sis en punt) i deixi la zona superior sense.

4.4 Fase 4: Verificacions

Un cop acabada la instal·lació en acabar l'etapa de curat, es proposa en primer lloc realitzar una inspecció mitjançant una càmera per tal de comprovar l'absència de defectes d'instal·lació (figura 8). També s'extrauran mostres de la mànega endurida per analitzar al laboratori. D'aquestes mostres se'n faran assajos mecànics de flexió a tres punts i de resistència circumferencial inicial específica per tal d'avaluar les propietats mecàniques del *composite* final que realment s'ha instal·lat.

Finalment també es proposa efectuar una prova d'estanquitat del tram rehabilitat així com una prova de pressió. Aquests darrers assajos permeten assegurar que les propietats mecàniques de la canonada rehabilitada són les previstes, a més d'assegurar la correcta instal·lació dels tancaments.

Referències

[1] M. R. Report, *Cured-In-Place Pipe (CIPP) Market Size, Share, Trend, Forecast, & Competitive Analysis: 2021-2026*. 2020.

[2] AEAS, "AEAS: Sala de prensa," 2016. [Online]. Available: https://www.aeas.es/images/publicaciones/estudios-suministros/2016-notadeprensa.pdf

[3] Trenchless Technology, "Fold-and-Form 101," 23-Mar-2011. [Online]. Available: https://trenchlesstechnology.com/foldandform-101/

[4] D. Obradovi, "A short review : Techniques for trenchless sewer rehabilitation," p. 1–8, 2018.

[5] S. Khan and C. Dobson, "Trouble Shooting for Trenchless Liner Installation During Sewer Line Rehabilitation," in *Weftec*, 2006, vol. 1, p. 5420–5435.

[6] P. Abián, "Obres al Carrer Major, Tecnologia avançada per reparar canonades," *La veu de Montcada i Reixac*, Montcada i Reixac, Feb-1993.

[7] Aigües de Barcelona, "O.T 3338_Rehabilitación C/Mayor, T.M. Montcada i Reixac 1993," 1993.

[8] N. S. Zakaria, Z. M. A. Merican, and M. F. Hamza, "Performance and Critical Issues of Polymer Liners in Pipeline Industry : A review," *Mater. Today Proc.*, vol. 16, p. 2389–2397, 2019, doi: 10.1016/j.matpr.2019.06.143

[9] Underground Construction, "Styrene Still Meets Needs Of CIPP Industry," *Vol.70, No.4*, Apr-2015. [Online]. Available: https://ucononline.com/magazine/2015/april-2015-vol-70-no4/features/styrene-still-meets-needs-of-cipp-industry. [Accessed: 19-Apr-2020]
[10] S. N. W. Agency, "Sewer rehabilitation," 2020. [Online]. Available: https://www.pub.gov.sg/usedwater/sewerrehabilitation
[11] A. Selvakumar and J. C. Matthews, "Demonstration and Evaluation of Innovative Rehabilitation Technologies for Water Infrastructure Systems," *J. Pipeline Syst. Eng. Pract.*, vol. 8, no. 4, p. 06017001, 2017, doi: 10.1061/(asce)ps.1949-1204.0000268
[12] ASTM F1216, "Standard Practice for Rehabilitation of Existing Pipelines and Conduits by the Inversion and Curing of a Resin-Impregnated Tube." ASTM International, West Conshohocken, PA, 2016.

5. Conclusions

Per tal de rehabilitar una canonada d'aigua potable cal realitzar un control exhaustiu per evitar els problemes exposats anteriorment començant per fer un diagnòstic correcte de la canonada per tal d'evitar sobredimensionar en excés la mànega. El sobredimensionament de la mànega dificulta la seva instal·lació degut a l'alta quantitat de fibra, que a més de guanyar en massa també augmenta molt les propietats mecàniques i dificulta la instal·lació, ja sigui per *pulling* o reversió. Per altra banda també cal conèixer les característiques geomètriques de la canonada que s'ha de rehabilitar ja que les tolerències amb què van ser fabricades són molt grans i presenten un nivell d'ovalització important. Així doncs, s'ha d'instal·lar una mànega que eviti generar arrugues longitudinals per ser de diàmetre més gran que la canonada que s'ha de rehabilitar i que arribi a tocar en la totalitat de les parets de la canonada sense que es generin esquerdes longitudinals.

El pla d'actuació proposat ha de servir per evitar els problemes exposats. La totalitat dels procediments proposats ja han estat provats a escala de laboratori amb èxit. Les obres de CIPP es caracteritzen per ser de curta durada i per tant les fases es troben molt poc dilatades en el temps, a més d'intervenir-hi diversos agents. Per aquest motiu comprovar que es poden intercalar els procediments proposats sense entorpir el funcionament de l'obra és fonamental. Així doncs, també se n'ha comprovat la viabilitat en proves pilot realitzades en diverses obres amb mànegues i tecnologies de CIPP diferents amb èxit.

6. Agraïments

En primer lloc, es vol agrair al programa de doctorats industrials de la Generalitat de Catalunya l'atorgament del projecte amb referència 2019 DI45 per donar al primer autor l'oportunitat de formar-se com a investigador, així com a l'empresa Aigües de Barcelona i a l'IQS School of Engineering (Universitat Ramon Llull) per posar a disposició els diferents recursos i per la fructífera col·laboració. Finalment, es vol donar les gràcies també a les diferents empreses SAERTEX multiCom, Grupo Navec Servicios Industriales, S.L., Aquatec S.A.) que han col·laborat ja sigui en l'aportació de materials, dades i en les proves pilot realitzades.

Nota

Aquest article ha estat elaborat junt amb Marco A. Pérez (Universitat Ramon Llull-IQS) i Antoni Andreu Torras (Aigües de Barcelona)