

**VALORACIÓ DE LA SOSTENIBILITAT DELS
TUBS DE SANEJAMENT
II CONGRÉS UPC SOSTENIBLE 2015**

Bernat Viñolas¹, Antonio Aguado² i Alejandro Josa³

Universitat Politècnica de Catalunya
ETS Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos
C. Jordi Girona, 1-3
08034 - Barcelona, Spain
Phone: +34 93 401 65 07

bernat.vinolas@upc.edu¹, antonio.aguado@upc.edu², alejandro.josa@upc.edu³

Tema/s del congrés: Arquitectura i construcció: Materials i sistemes constructius.
Temes transversals: Modelització numèrica.

RESUM

Aquesta ponència presenta una síntesi del projecte desenvolupat a la UPC en relació a l'estudi de la sostenibilitat dels tubs de sanejament. Es va realitzar una anàlisi comparativa del grau de sostenibilitat dels tubs de formigó en front altres possibles alternatives, ja sigui per l'ús de diferents materials o per les diferències existents en el procés de fabricació e instal·lacions.

La metodologia emprada va ser el Model Integrat de Valor per Avaluacions Sostenibles – MIVES (Aguado, Manga y Ormazábal 2006). Es tracta d'una metodologia que utilitza l'anàlisi de valor com a suport a la decisió mitjançant la valoració de diferents alternatives, amb l'objectiu, en particular, de valorar quantitativament la sostenibilitat.

Després d'una lectura de la literatura actual, es van realitzar entrevistes a experts en temes d'aigua, obres públiques i sanejament per trobar aquells aspectes més representatius i discriminants. També es van realitzar dos seminaris, un a la UPC i un altre a Saragossa durant els anys 2007 i 2008. L'objectiu del primer seminari fou l'ordenació en forma ramificada de tots aquells aspectes que tenien que ser valorats. L'objectiu del segon seminari fou la presentació de resultats per fer una posterior discussió i anàlisi de sensibilitat.

La metodologia s'aplica a vuit alternatives de tubs plàstics i de formigó, amb quatre diàmetres diferents (400 mm., 800 mm., 1200 mm. i 2000 mm.). Els requeriments considerats (aspectes considerats en la primera ramificació) han sigut: el funcional, l'econòmic, el social i el mediambiental. Aquests requeriments es desglossen en 10 criteris i en 14 indicadors totals que mesuren aspectes com la capacitat mecànica afegida, les emissions de CO₂, el consum de matèries primeres, l'energia requerida, els riscos d'accidents laborals en producció i execució, entre d'altres.

¹ Doctorant en el Departament d'Enginyeria de la Construcció de la UPC.

² Catedràtic d'Universitat. Departament d'Enginyeria de la Construcció de la UPC.

³ Catedràtic d'Escola Universitària. Departament d'Enginyeria del Terreny de la UPC.

Els resultats indiquen que, quan els diàmetres són petits, els tubs amb menor resistència poden arribar a funcionar de forma molt correcta. Degut a això, les valoracions d'alternatives de formigó o plàstiques són molt semblants. Però quan els diàmetres comencen a ser grans, els tubs de formigó tenen una millor valoració. Així es comprova que per a diàmetres més grans de 800 mm., les alternatives de formigó són, pel moment, les més sostenibles. També cal tenir en compte el fet que els materials plàstics tenen una gran pèrdua del mòdul d'elasticitat. Això fa que la valoració del grau de sostenibilitat va baixant a mesura que passa el temps.

Es conclou que el model creat representa un avanç en termes d'estudis de valoració, ja que imprimeix al mètode gran objectivitat i claredat dels procediments. Això promou major legitimitat de la valoració, a la vegada que permet que qualsevol persona pugui estudiar la sostenibilitat de la seva alternativa partint del mateix model. Els resultats i conclusions d'aquest estudi poden servir per establir les bases de posteriors anàlisis d'altres productes realitzats en la mateixa empresa, així com recolzar decisions per part de l'administració pública.

INTRODUCCIÓ

Des de la primera vegada que va ser enunciat, fa ja més de vint anys (ONU, 1987), el concepte de desenvolupament sostenible ha mantingut plenament la seva vigència des d'un punt de vista conceptual, i s'ha introduït en pràcticament tots els àmbits d'activitat. Avui dia pot dir-se que és una referència fonamental en tots ells. En un sentit general, aquest concepte es refereix a la capacitat que una alternativa (un producte, un procés, una solució, una decisió) es materialitzi amb mínim o nul impacte negatiu sobre l'entorn en el qual influeix, de manera que pugui perllongar-se en el temps de forma indefinida (Curran i Stephen, 2004; Curran, 2006; Josa i Alavedra, 2006). Aquest últim requisit no és estrictament possible, ja que qualsevol actuació exerceix, en principi, algun efecte sobre el context en el qual incideix.

La sostenibilitat és una disciplina recent, i fins a la data no existeix investigació suficient com per a poder establir models globals rigorosos de valoració quantitativa en aquest camp. D'altra banda, quan l'avaluació es realitza durant les fases del projecte anteriors a la d'execució (per exemple, si es fa durant l'avaluació de la viabilitat del projecte, o durant la fase d'enginyeria), el tècnic no disposa encara de dades estables, i fins i tot pot succeir que no pugui respondre a algunes de les preguntes de les característiques de les possibles solucions.

Amb freqüència les avaluacions del grau de sostenibilitat de diferents alternatives estan plantejades de forma disgregada, és a dir, cadascuna d'elles avalua diferents aspectes per separat: consum d'aigua, emissions de CO₂, aspectes socials, etc. Per això, es planteja la necessitat de crear un nou model de valoració que avaluï de forma integrada tots els aspectes que puguin ser importants.

Tenint en compte tot aquest context, s'ha realitzat la valoració de diferents alternatives de tubs de sanejament, fabricades amb formigó, front altres alternatives ja sigui per l'ús de diferents materials o a causa d'un procés constructiu diferent. L'objectiu principal de l'estudi fou valorar el grau de la sostenibilitat dels tubs de sanejament en funció del material i lloc de fabricació. Per a això, es va utilitzar el Model Integrat de Valor per a Avaluacions Sostenibles (MIVES) (Aguado et al., 2006) per a valorar vuit tipus de canonades de plàstic i de formigó amb diferents diàmetres:

- Formigó massa classe R, carrega trencament 135 (400 mm.);

- Polipropilè estructurat (PP) (450 mm.);
- Formigó armat, classe IV (800 mm.);
- Policlorur de vinil (PVC) compacte SN 8 (800 mm.);
- Formigó armat, classe IV (1200 mm.);
- Polietilè (PE) estructurat SN 8 (1200 mm. Est.);
- Formigó armat, classe IV (2000 mm.);
- Polièster reforçat amb fibra de vidre (PRFV) Tipus SN 10000 PN 10 (2000 mm. Int.).

METODOLOGIA UTILITZADA - LES FASES DE LA METODOLOGIA MIVES

Sobre MIVES (Aguado et al., 2006; Rojí, 2006) no es fa una revisió exhaustiva de la metodologia sinó que es desenvolupa breument les fases principals de la mateixa cara a facilitar la posterior comprensió del lector sobre el tema. Les fases d'aquest estudi han estat:

- Límits del sistema. Es fixa l'eix temporal, els components i els aspectes generals que haurien de tenir-se en compte.
- Arbre de presa de decisió. S'ordena de forma ramificada tots els aspectes que han de ser estudiats. En les primeres ramificacions apareixen els aspectes més generals (requeriments), en els següents nivells els criteris i subcriteris i en l'última ramificació apareixen els aspectes més concrets (indicadors).
- Funcions de valor. Per a cadascun dels indicadors s'ha de crear una funció de valor que transformarà les unitats de mesura de cada indicador a una unitat adimensional compresa entre 0 i 1.
- Pesos o importància relativa dels indicadors d'un mateix criteri, dels criteris d'un mateix requeriment i dels requeriments.
- Valor de les alternatives.
- Valor a llarg termini de les alternatives.
- Anàlisi de sensibilitat.

L'ESTUDI

Límits del sistema

La llista de factors que influeixen en la sostenibilitat d'un producte pot arribar a ser molt extensa, el que obliga a establir alguns límits a fi d'estudi. Per a realitzar una anàlisi integrada de tots els possibles components i fases del cicle de vida dels tubs de sanejament, s'identifiquen alguns factors que són discriminants entre les diferents alternatives, com: les condicions de fabricació, preparació del terreny, col·locació dels tubs, manteniment, etc. A partir de la literatura existent i després de diverses reunions, es va determinar que el sistema quedés constituït per 1 km de tub i que els components fossin: els tubs, les peces o elements especials i les unions.

Per a conformar els límits del sistema en l'eix temporal del model MIVES (Aguado et al., 2006; Rojí, 2006) s'han tingut en compte set fases del "Cicle de Vida":

- L'extracció de materials per a fabricació del tub;
- La fabricació del tub;
- El transport del tub;
- La col·locació del tub;
- El reomplert de la rasa;
- L'ús del tub;
- La deconstrucció.

La Figura 1 representa espacialment en tres eixos aquests límits respecte als quatre grans requeriments del model desenvolupat per a valorar els tubs. Els quatre paral·lelepípedes estan subdividits en 21 cubs que simbolitzen els tres components i els set cicles de vida analitzats dels tubs.

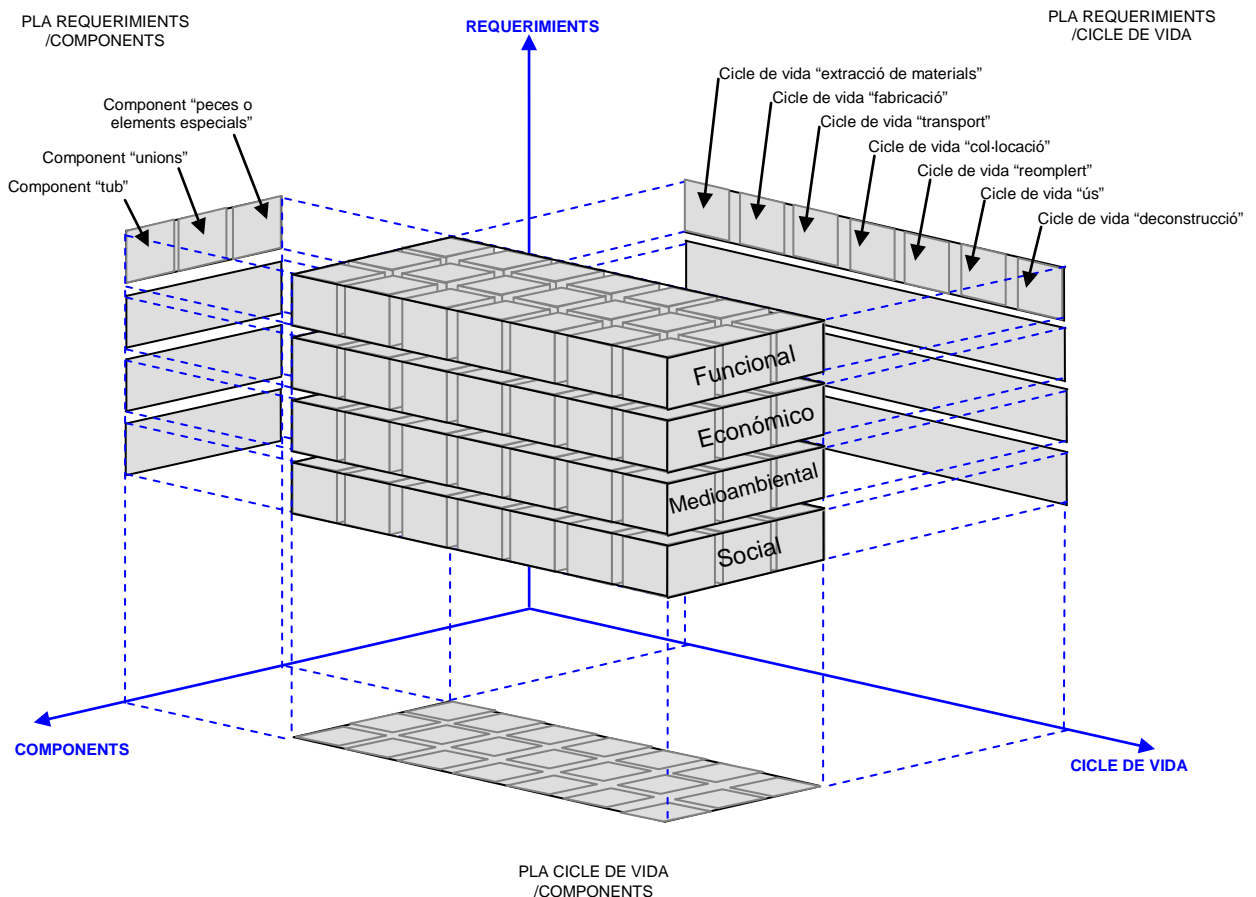


Figura 1. Representació espacial dels límits del sistema

Evidentment, no s'han considerat totes les fases del cicle de vida ni tampoc tots els components en tots els requeriments. Només s'han considerat aquells aspectes representatius i discriminants. En la majoria de requeriments, les fases del cicle de

vida que s'han considerat van anar: des de l'entrada de materials a fàbrica fins a la fase que el tub va ser col·locat en obra. Com excepció s'observa que:

- Per a alguns indicadors del requeriment mediambiental (consum d'energia i emissions de CO₂) l'entrada del sistema considerada ha estat l'extracció dels materials necessaris per a la fabricació dels tubs i la sortida, la col·locació d'aquests. La raó de considerar l'extracció dels materials és degut al fet que aquest factor és discriminant depenent de l'alternativa escollida. Això es va decidir en fases posteriors quan es van analitzar els consums de les diferents alternatives.
- En el requeriment funcional, la fase del cicle de vida considerat ha estat l'ús del tub. Degut al fet que en l'aspecte funcional el factor més important a considerar és la funcionalitat dels tubs en ús.

Construcció de l'arbre de presa de decisió i assignació de pesos

La fase de construcció de l'arbre de presa de decisió és sens dubte la part més important del treball de valoració multicriteri i de la seva bona elecció dependrà en gran mesura l'èxit dels resultats obtinguts.

Aquest arbre és l'ordenació en forma ramificada de tots aquells aspectes que seran estudiats. En el primer nivell apareixen els requeriments, en el segon els criteris i en l'últim els indicadors. L'arbre està directament relacionat amb l'estructuració de la presa de decisió realitzada en la primera fase. Ja que, s'estableix la forma de valorar els diferents requeriments considerats en els límits del sistema.

Per a construir l'arbre de presa de decisió específic a aquest estudi, es va realitzar una investigació de la literatura actual sobre publicacions tècniques i acadèmiques relacionades a tubs de sanejament (ATHA, 2000; Cedex, 2006; UNE 127.010; UNE 127.96; UNE 53.331), i estudis de sostenibilitat en altres materials, no necessàriament canonades (Baldasano, Jiménez, Gonçalves, Parra, 2005).

Paral·lelament a l'anàlisi de la literatura, es van realitzar diverses consultes a experts i un seminari amb persones que ocupen càrrecs d'alt nivell en l'administració en relació amb temes d'aigua. Amb això es va poder realitzar un correcte arbre de presa de decisió adaptat a les necessitats del que l'administració considera com important. Així es va arribar a la definició de 4 requeriments, 10 criteris i 14 indicadors a utilitzar en la valoració del grau de sostenibilitat dels tubs (Parrot, 2008).

En la Taula 1 es mostra l'arbre de presa de decisió, amb els respectius pesos dels requeriments, criteris e indicadors. Aquests pesos s'han obtingut mitjançant la metodologia AHP (Saaty, 1980). Com aspectes a tenir en compte, si s'analitza els pesos assignats en la Taula 1, s'observa:

- La importància que l'administració dóna a l'aspecte mediambiental i social, molt semblant a l'aspecte econòmic.
- La poca importància que se li dóna a l'aspecte funcional. Aquest fet és degut a que les alternatives que s'estudien obligatòriament han de complir les condicions de projecte. És a dir, els aspectes funcionals que realment es valoren són capacitats afegides i no aspectes d'obligat compliment.

Requeriments	Criteris	Indicadores
Funcional Pes: 11,11%	Disfuncions estructurals als tubs Pes: 33,33%	Degradació a la superfície Pes: 100%
	Disfuncions estructurals a les unions Pes: 33,33%	Riscs a les unions entre tubs i amb altres elements Pes: 100%
	Capacitats afegides Pes: 33,33%	Capacitat mecànica afegida. Pes: 100%
Econòmic Pes: 33,33%	Costos Pes: 80%	Cost de suministre + col·locació Pes: 100%
	Temps Pes: 20%	Temps d'execució Pes: 100%
Mediambiental Pes: 33,33%	Emissions a la fabricació i transport de tubs Pes: 20%	Emissions de CO ₂ Peso: 100%
	Recursos empleats en tot el sistema Pes: 60%	Consums de matèries primes Peso: 33,33%
		Consums d'aigua Pes: 33,33%
		Energia necessària Pes: 33,33%
Mesures correctores de tipus mediambiental Pes: 20%	Sensibilitat mediambiental de la planta productora de tubs Pes: 100%	
Social Pes: 22,22%	Seguretat de les persones implicades Pes: 25%	Riscs accidents laborals en producció i execució Pes: 100%
	Afectació a (o per) tercers Pes: 75%	Temps afectació i reparació Pes: 33,33%
		Contaminació freàtic Pes: 33,33%
		Fiabilitat cara a possibles ruptures per actuacions de tercers – Vulnerabilitat Pes: 33,33%

Taula 1. Arbre de Presa de Decisió amb Pesos

Creació de les funcions de valor de cadascun dels indicadors

Per a quantificar les alternatives a través dels indicadors, s'han realitzat funcions de valor per a cada indicador assignat. Aquestes funcions de valor, que varien entre 0 i 1, representen l'estat de valoració des de nul·la a màxima (saturació), respectivament, per a cadascun dels indicadors. Aquesta escala de valors adimensionals és necessària per a sumar valoracions d'indicadors que s'avaluen amb diferents unitats.

La funció de valor utilitzada es defineix mitjançant cinc paràmetres que, al variar-los, permet obtenir tot tipus de formes: forma de S, còncaues, convexes, o lineals. Els paràmetres que defineixen el tipus de funció són: K_i , C_i , $X_{\max.}$, $X_{\min.}$ i P_i (Equació [1] per a funcions creixents). El valor de B es calcula partint dels 5 valors anteriors (Equació [2]).

$$V_{ind} = B \cdot \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{|X - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right] \quad [1]$$

- On:
- X_{\min} . és el valor en abscisses, la valoració de les quals és igual a zero (en el cas de funcions de valor creixents).
 - X és l'abscissa de l'indicador avaluat (variable per a cada alternativa).
 - P_i és un factor de forma que defineix si la corba és còncava, convexa, lineal o amb forma de "S". Obtenint-se corbes còncaves per a valors de $P_i < 1$, convexes o en forma de "S" si $P_i > 1$ i tendint a rectes per a valors $P_i = 1$. A més, determina de forma aproximada el pendent de la corba en el punt d'inflexió de coordenades (C_i, K_i) .
 - C_i s'aproxima a l'abscissa del punt d'inflexió.
 - K_i s'aproxima a l'ordenada del punt d'inflexió.
 - B és el factor que permet que la funció es mantingui en el rang de valor de 0 a 1. Aquest factor ve definit per l'Equació [2].

$$B = \left[1 - e^{-K_i \cdot \left(\frac{|X_{\max} - X_{\min}|}{C_i} \right)^{P_i}} \right]^{-1} \quad [2]$$

sent X_{\max} . l'abscissa de l'indicador que genera un valor igual a 1 (en el cas de funcions de valor creixents).

Alternativament poden utilitzar-se funcions decreixents, això és, que adoptin el valor màxim en X_{\min} . L'única diferència de la funció de valor és que se substitueix la variable X_{\min} per la variable X_{\max} , adaptant l'expressió matemàtica corresponent.

Per a l'estudi proposat, les dues formes de la funció de valor més freqüents són "la lineal decreixent" i la "S decreixent". Cal assenyalar que en alguns indicadors s'han realitzat taules de puntuació per a poder passar d'atributs a variables numèriques. Les dades bàsiques de cada funció de valor es presenten la Taula 2. En ella, en la segona fila sota la denominació tipus de genèric s'inclouen els següents indicadors que es representen pel mateix tipus de funció: Degradació en la superfície, Riscos en les unions, Termini execució, Riscos accidents laborals, Temps afectació, Contaminació del freàtic i Fiabilitat front possibles trencaments.

Indicador	Diàmetre del tub	X _{min.}	X _{màx.}	C	K	P	Forma
Genèric	Igual per tots els diàmetres*	0	8	1	0,001	1	Lineal decreixent
Capacitat mecànica afegida	Igual para tots els diàmetres	0	5000	1000	0,7	0,55	Còncava creixent
Costos de fabricació + transport + col·locació	400	170	20	95	0,95	1,95	S decreixent
	800	405	50	225	0,95	1,95	S decreixent
	1200	760	150	390	0,95	1,95	S decreixent
	2000	1350	400	530	0,95	1,95	S decreixent
Emissions de CO ₂	400	109	14,78	35	0,95	1,95	S decreixent
	800	321	165	165	1	1,25	S decreixent
	1200	635	115	300	1	1,95	S decreixent
	2000	1665	725	725	1	1,75	S decreixent
Consums de mataries primeres	Taula de puntuació en funció del tipus de material de reomplert necessari Sols cohesius: 0; Poc cohesius: 0,33; Mitjanament cohesius: 0,67; Cohesius: 1.						
Consums de aigua	Taula de puntuació en funció del % de ús de aigua depurada. 0%: 0; 25%: 0,25; 50%: 0,5; 75% : 0,75; 100% : .1.						
Energia requerida	400	57,9	24,5	24,5	1	3	S decreixent
	800	906	73,32	350	0,95	1,95	S decreixent
	1200	993	145	350	0,65	3	S decreixent
	2000	3960	380	1800	1	3	S decreixent
Sensibilitat mediambiental de la planta productora de tubs	Taula de puntuació Sense certificació mediambiental: 0. Puntuació per cada mesura de compromís mediambiental: 0,2. Amb certificació ISO 14001: 1						

Taula 2. Dades sobre cada indicador.

Nota*: El valor de 0 a 8 depèn del risc o del temps en funció de l'indicador estudiat.
Mol baix: 0; Baix: 2; Mig: 4; Alt: 6; Molt Alt: 8

RESULTATS OBTINGUTS

Valoració de cadascuna de les vuit alternatives

En algunes quantificacions d'indicadors les diferències poden ser grans encara que es valori el mateix tipus de canonada depenent de la fàbrica on s'ha produït. Aquests indicadors es refereixen al consum d'aigua i a la sensibilitat mediambiental de la planta productora. Per això, es va optar per treballar amb escenaris que varien entre 3 circumstàncies:

- Condicions perfectes per a consum d'aigua i sensibilitat mediambiental (escenari A);
- Condicions mitges per a consum d'aigua i sensibilitat mediambiental (escenari B);
- Condicions dolentes per a consum d'aigua i sensibilitat mediambiental (escenari C).

Les Figures 2 a 4 representen gràficament les valoracions de cada tipus de tub de sanejament. Per a facilitar la comparació de les alternatives d'un mateix diàmetre, les barres del gràfic estan agrupades per 4 parells. La primera barra de cada parell representa el tub de formigó, la segona barra indica el tub de plàstic. La primera parella de barres es refereix al diàmetre de 400 mm. L'última parella es refereix al diàmetre de 2000 mm.

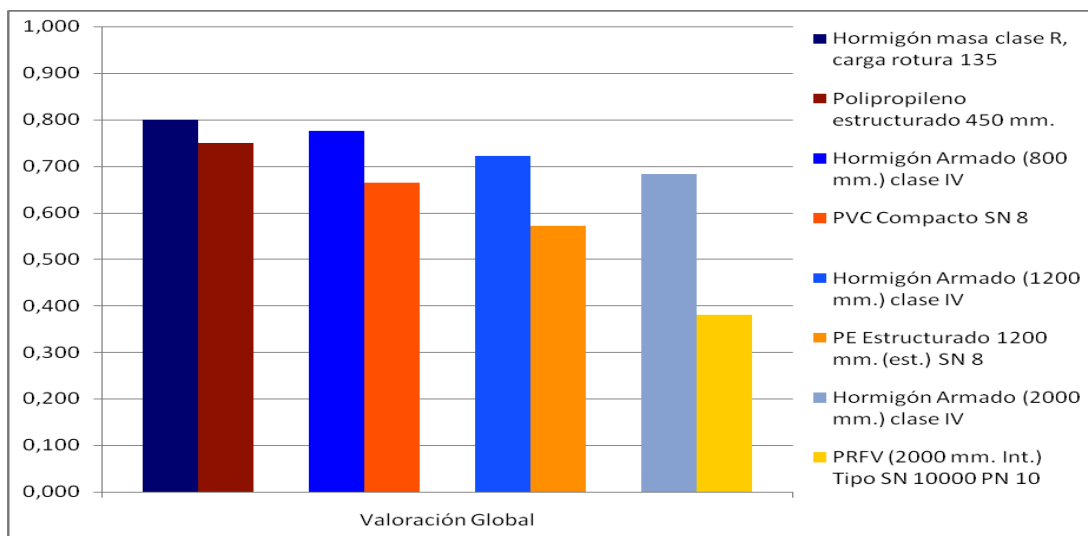


Figura 2. Valoració global del grau de sostenibilitat en diferents alternatives de tubs de sanejament – **Condicions perfectes**

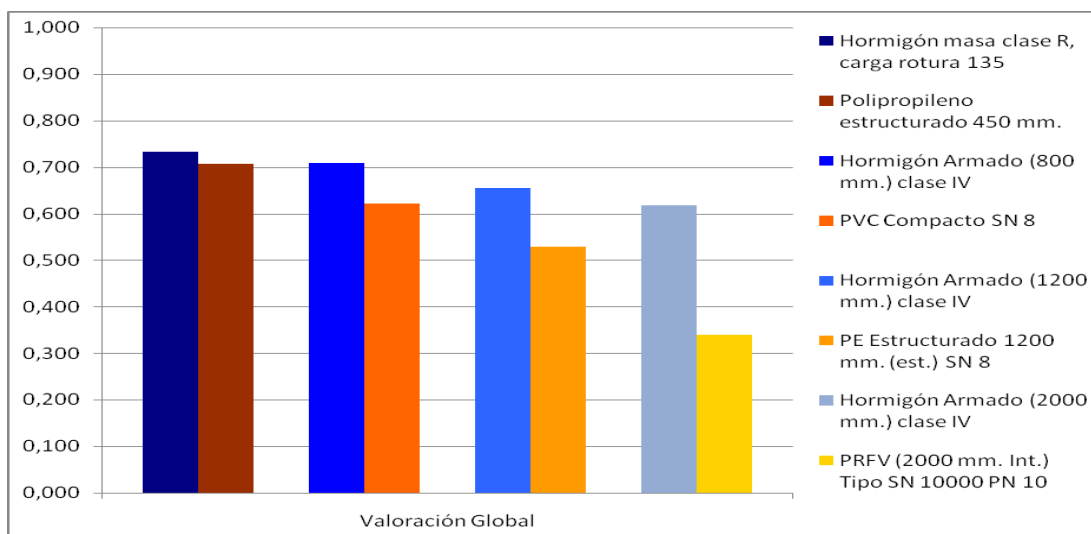


Figura 3. Valoració global del grau de sostenibilitat en diferents alternatives de tubs de sanejament – **Condicions mitges**

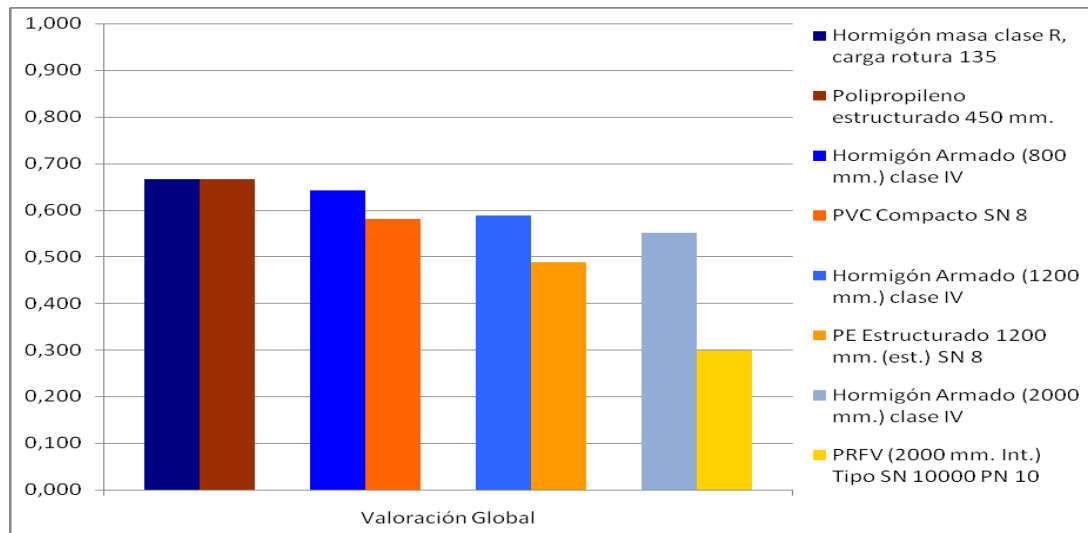


Figura 4. Valoració global del grau de sostenibilitat en diferents alternatives de tubs de sanejament – **Condicions dolentes**

Els resultats indiquen que, quan els diàmetres són petits, els tubs que tenen una rigidesa nominal més petita poden arribar a funcionar de forma molt correcta, en part, gràcies al confinament que aporta el terreny. Aquests tubs, són els realitzats amb materials plàstics. Degut a això, les valoracions d'alternatives de formigó i de plàstic són molt semblants. Però quan els diàmetres comencen a ser grans, els tubs de formigó tenen una millor valoració. Així es comprova que per a diàmetres més grans de 800 mm., les alternatives de formigó són, segons aquest anàlisi, les més sostenibles. També cal tenir en compte el fet que els materials plàstics tenen una gran pèrdua del mòdul d'elasticitat. Això fa que la valoració del grau de sostenibilitat baixi a mesura que passa el temps.

Valoració de cadascuna de les alternatives a llarg termini

Els tubs de materials plàstics tenen una pèrdua del mòdul d'elasticitat amb el pas del temps. Aquest fet, condueix que les prestacions d'aquestes canonades variïn en funció del temps transcorregut. A causa d'aquest aspecte, s'ha volgut presentar una formulació per a poder valorar la sostenibilitat dels tubs plàstics en qualsevol moment.

La rigidesa específica de la circumferència és el paràmetre que ens permetrà saber quina és la resistència del tub de sanejament front possibles càrregues exteriors (Equació [3]):

$$\text{Rigidesa específica de la circumferència} = \frac{E \cdot I}{D_m^3} \quad [3]$$

On: E Mòdul d'Elasticitat del material.
I Inèrcia d'una secció transversal del tub.
D D_m Diàmetre mitjà del tub.

La rigidesa específica de la circumferència inicial (o rigidesa anular) dels tubs plàstics és una mesura de la deformació que poden tenir aquests front les càrregues del terreny. Com es pot observar en la taula 3, el mòdul d'elasticitat va disminuint en funció del temps transcorregut, això implica una disminució de la rigidesa específica de

la circumferència (veure Equació [3]). Per això, la valoració del tub plàstic no pot ser la mateixa al llarg del temps, ja que les seves propietats no són les mateixes que inicialment.

Temps	Inicial	2,7 mesos	50 anys
Valor del mòdul d'elasticitat (E) del Policlorur de Vinil (PVC) – (MPa)	3600	2300	1750
Valor del mòdul d'elasticitat (E) del Polietilè (PE) (MPa)	800	250	150
Valor del mòdul d'elasticitat (E) del Polipropilè (PP) (MPa)	800	210	120

Taula 3. Valors del mòdul d'elasticitat segons DIN 16961-2, 2000

Per a la valoració del grau de sostenibilitat dels tubs de sanejament, es realitza una formulació similar a l'exposada en l'Annex 13 de la normativa EHE, 2008: Índex de contribució de l'estructura a la sostenibilitat. La gran diferència en la formulació utilitzada, és que en les estructures de formigó, sí es defineix el concepte de vida útil, cosa que no succeeix en els tubs de sanejament. Per aquesta raó, el factor corrector que s'utilitzarà no serà funció de la vida útil sinó del mòdul d'elasticitat mínim necessari. El coeficient b corrector per la valoració de la sostenibilitat dels tubs de sanejament que es va considerar es calcularà segons la equació [4].

$$b = \frac{E_{real}}{E_{min, segons condicionants}} \leq 1 \quad [4]$$

On:

E_{real} = Mòdul d'elasticitat real del tub al moment x.

E_{min} = Mòdul d'elasticitat mínim segons condicionants del projecte o normativa.

El valor del grau de sostenibilitat dels tubs de sanejament a llarg termini serà el valor inicial del grau de sostenibilitat multiplicat pel coeficient b (veure Equació [5]).

$$V_{tiempo x} = b V_{to} \quad [5]$$

En la Taula 4 s'observen els diferents valors de b a 25 i 50 anys per les diferents alternatives de tubs plàstics. Com pot observar-se, les alternatives amb major pèrdua de mòdul elàstic, el Polipropilè i el Polietilè, són les que tenen un coeficient b menor al llarg del temps. Aplicant la fórmula de la equació 5 obtindrem la valoració del grau de sostenibilitat a 25 ó 50 anys.

Indicador Alternativa	Valor mínim de E (N/mm ²)	Temps T ₀ en que E _{real} < E _{min}	Càlcul b a 25 anys i 50 anys
Polipropilè (PP) estructurat (450 mm)	137,95	3,5 anys	0,882 (25 anys) 0,869 (50 anys)
Policlorur de Vinil (PVC) compacte SN 8 (800 mm)	1.619,15	Infinit	1 (25 anys) 1 (50 anys)
Polietilè (PE) estructurat SN 8 (1200 mm)	244,58	Inicial	0,622 (25 anys) 0,613 (50 anys)
Polièster reforçat amb fibra de vidre (PRFV) Tipus SN 10000 PN 10 (2000 mm Int.)	1700,71	Infinit	1 (25 anys) 1 (50 anys)

Taula 4. Valoracions a llarg termini

Presentació de resultats i anàlisi de sensibilitat

Com última fase de l'estudi es va realitzar un seminari a Saragossa amb tècnics de la Diputació, Confederació de l'Ebre i de l'Ajuntament per a discutir els índexs de valoració obtinguts i realitzar una anàlisi de sensibilitat variant els pesos de certs requeriments, criteris o indicadors. En aquesta reunió va haver un gran consens per part dels assistents en relació a la metodologia proposada, així com en relació als resultats presentats.

En l'anàlisi de sensibilitat realitzat, es van considerar dues situacions diferents, el cas que el tub es col·loqui en un poble o en una ciutat. En el cas d'un poble se li dóna major importància a la contaminació de les aigües freàtiques i en el cas de la ciutat se li dóna molta major importància a l'indicador de temps d'afectació i reparació. Com és lògic, una obra de manteniment realitzada en la ciutat, requereix que es faci el més ràpid possible per a minimitzar l'afectació als veïns.

Les valoracions obtingudes amb aquest anàlisi de sensibilitat són molt semblants que les realitzades inicialment.

CONCLUSIONS I COMENTARIS

En aquest treball es proposa un procediment de valoració objectiva per als tubs de sanejament en relació al seu grau de sostenibilitat. El desenvolupament pràctic s'ha portat a terme mitjançant la metodologia MIVES, a través de la qual s'aconsegueix crear un índex de valoració que integra tots els aspectes i que permet comparar i classificar les vuit alternatives existents.

Es conclou que el model creat representa un avanç en termes d'estudis de valoració, ja que imprimeix al mètode gran objectivitat i claredat dels procediments. Això promou major legitimitat de la valoració, a la vegada que permet que qualsevol persona pugui

estudiar la sostenibilitat de la seva alternativa partint del mateix model. Els resultats i conclusions d'aquest estudi poden servir per establir les bases de posteriors anàlisi d'altres productes prefabricats, així com recolzar decisions per part de l'administració pública.

AGRAÏMENTS

Amb aquestes línies es vol agrair a tots els components de l'equip MIVES i al MEyC (projecte BIA2005-09163-C03-01), les col·laboracions i ajudes prestades per al desenvolupament de les eines. Així mateix es vol agrair a tots els assistents al seminari de Catalunya: Javier Pujol per part del consorci d'aigües de Tarragona, Marc Arqué per part de RECSA, Guillermo Piñuela i Jordi Robusté per part de l' Agència Catalana de l' aigua i Robert Vergés per part d' aigües Ter-Llobregat. Als assistents al seminari de Saragossa: Alberto Ruesca, Carlos Lafuente, Cesar Galán, Fausto Comenge, Felix Jiménez, González López, Fernando Lobera, Jaime Sánchez, Javier Martínez, Jesús Giménez, José Luis Lecha, Lorenzo Martín i María Ubierna. Per últim, un agraïment als tècnics que van ajudar en la valoració de certs indicadors: Patricia Jiménez per part de Typsa, María Estany per part de TEC-4, Judith Segarra per part de Depurbaix, Xavier Martínez per part de Clabsa, Rosa Plà per part d'ISS i Victor Balboa per part d'Auding.

BIBLIOGRAFIA

AGUADO, A., MANGA, R. y ORMAZÁBAL, G. (2006). "Los aspectos conceptuales del proyecto MIVES". *La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. Modelo integrado de Valor en Edificios Sostenibles (MIVES)*, LABEIN. UPV-EHU UPC, págs. 249-271.

ATHA, Manual de cálculo, diseño e instalación de tubos de hormigón armado. Madrid, 2000.

Baldasano, J.M., Jiménez, P., Gonçalves, M. Parra, R. (2005). Estimación del consumo energético y de la emisión de CO₂ asociados a la producción, uso y disposición final de tuberías de PVC, PEHD, PP, fundición y hormigón. Report PVC-Tub-2005 12-2, Universidad Politécnica de Catalunya.

CEDEX. Recomendaciones sobre tuberías de hormigón armado en redes de saneamiento y drenaje. Madrid (2006).

Curran, M.A. Life Cycle Assessment: Principles and Practice. Scientific Applications International Corporation (SAIC), National Risk Management Research Laboratory, Office of Research and Development, U.S. Environmental Protection Agency (2006).

Curran, M.A. y Stephen C.J. Sustainability and the life cycle concept: International and interdisciplinary perspectives. *Environmental Progress*, volume 22, issue 4, pp. D15 - D16 (2004).

I

DIN 16961-2. Normativa Alemana. Thermoplastic pipes and fittings with profiler outer and smooth inner surfaces (2000).

EHE. Instrucción de Hormigón Estructural. Anejo 13. Índice de contribución de la estructura a la sostenibilidad (2008).

Josa, A. y Alavedra, P. El concepto de sostenibilidad. Capítulo 3 en La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. UPV, UPC, Labein-Tecnalia, pp. 59-70 (2006).

ONU *Our Common Future. World Commission on Environment and Development, Naciones Unidas* (conocido como Informe Brundtland). (1987).

Parrot, J. *Estudio de sostenibilidad en tuberías de saneamiento*. Tesina, Universitat Politècnica de Catalunya, (2008).

ROJÍ, E. (Ed.) (2006). *La medida de la sostenibilidad en edificación industrial. Modelo integrado de Valor en Edificios Sostenibles (MIVES)*. Barcelona: LABEIN. UPV-EHU UPC.

Saaty, T. *The Analytic Hierarchy Process: Planning, Priority Setting, Resource Allocation*, (1980).

UNE 127.010. Tubos prefabricados , hormigón armado y hormigón con fibra de acero, para conducciones sin presión (UNE EX).

UNE 127.916. Tubos y piezas complementarias de hormigón en masa, de hormigón armado y hormigón con fibra de acero;

UNE 53.331. Plásticos. Tuberías de poli(cloruro de vinilo) (PVC) no plastificado y polietileno (PE) de alta y media densidad. Criterio para la comprobación de los tubos a utilizar en conducciones con y sin presión sometidos a cargas externas;