

CAPÍTOL IX: CONCLUSIONS I RECOMANACIONS

9.1 INTRODUCCIÓ

En aquest capítol es recullen les principals conclusions a les que s'han arribat en l'anàlisi de risc sísmic, juntament amb les recomanacions per complementar del treball i per línies futures d'investigació. L'objectiu principal del treball és avaluar d'una manera probabilística el comportament sísmic de la xarxa de gasoductes i oleoductes a Catalunya i a la ciutat de Barcelona.

El capítol està dividit en diferents punts. En el primer apartat trobem les conclusions sobre la metodologia d'avaluació de risc sísmic utilitzada i sobre el SIG *ArcView*. A continuació es recullen les conclusions referents a la perillositat de les zones d'estudi, la vulnerabilitat dels sistemes i el dany esperat. Finalment, en l'últim apartat es donen una sèrie de recomanacions per a futurs estudis en l'àmbit de l'avaluació de risc sísmic.

9.2 CONCLUSIONS

EL MÈTODE HAZUS'99

La metodologia aplicada pot ser catalogada com adient per avaluar el risc sísmic, amb una fàcil aplicació ja que és una metodologia directa. Permet avaluar en mòduls tres aspectes bàsics com són el dany esperat, la operativitat post-sisme i el cost de reparació. És possible afegir o eliminar mòduls sense haver de refer càlculs.

El mètode es basa en paràmetres obtinguts als Estats Units. Seria raonable pensar que en la nostra zona d'estudi poden ser diferents y, conseqüentment, els resultats obtinguts.

TRACTAMENT DE LA INFORMACIÓ, EL SIG *ARCVIEW*

En general, aquest software resulta ser un sistema senzill d'utilitzar i de baix cost per treballs amb gran volum de dades, tot i que té certes limitacions en el moment d'introduir càlculs matemàtics com, per exemple, pel càlcul de les corbes de dany. Per aquest motiu ha estat necessari treballar en altres llenguatges (*FORTRAN* i *EXCEL*) per complementar-lo.

PERILL

Catalunya és una zona de perillositat sísmica moderada a baixa, on la probabilitat de produir-se un sisme de gran intensitat és baixa. L'escenari sísmic utilitzat ha estat el proposat per Secanell [19] incorporant els efectes del sòl, on la intensitat màxima esperada es VIII MSK en les zones més desfavorables. Aquest escenari correspon a un període de retorn de 500 anys.

Apart dels efectes del sacseig del sòl, dependents de la intensitat sísmica, s'ha considerat també la possible aparició de fenòmens de líquefacció, assignant una susceptibilitat a líquuefactar a totes les litologies del mapa geològic de Catalunya. Els trams de conduccions amb majors danys es troben en zones amb el major perill sísmic de Catalunya: intensitat MSK VIII i alta susceptibilitat a la líquefacció.

Un altre perill que s'ha volgut incorporar al treball han estat les falles actives, que provoquen desplaçament permanent del sòl. S'han tractat com un cas singular més que com un perill per els elevats intervals de recurrència que presenten.

La ciutat de Barcelona també es considera àrea de moderada a baixa perillositat sísmica. L'escenari sísmic utilitzat ha estat el de la zonificació de Barcelona [21], amb intensitats màximes esperades de VII-VIII MSK., i també s'han introduït els fenòmens de líquèfacció.

VULNERABILITAT

És essencial una bona caracterització de la vulnerabilitat dels elements que s'estudien en l'anàlisi de risc sísmic. En aquest treball la qualitat de la informació disponible ha obligat a realitzar suposicions, sempre del costat conservador.

Davant de la pregunta sobre quines instal·lacions són les més vulnerables a l'efecte sísmic, teòricament, comparant les corbes de dany de *HAZUS'99*, les estacions d'emmagatzematge i les refineries són lleugerament més vulnerables que les estacions de bombeig. No obstant, no s'observa que cap tipus d'estació sigui significativament més vulnerable que la resta davant l'acció sísmica. Així, el paràmetre principal que condiciona el grau de dany és la intensitat esperada (lligada a la situació geogràfica) i, en segon terme, el disseny (sismo-resistent o no). La influència del tipus d'estació no és rellevant.

En relació a la vulnerabilitat de les estacions respecte de les conduccions, no pot ser comparada, ja que els danys es donen en termes diferents. En un cas es dona l'estat de dany i en l'altre, un nombre de reparacions. L'únic que es pot assegurar és que les estacions danyades tenen un percentatge de funcionalitat, un dia després del sisme, superior a les fuites o ruptures en les conduccions a reparar.

DANY ESPERAT

A Catalunya els danys en els gasoductes, oleoductes y etilenoductes són nuls o lleus, i el dany és causat únicament pel sacseig, excepte en els municipis de Torelló, Ripoll, Manlleu, Argelaguer, Besalú i Sant Jaume de Llierca, on s'hi afegixen danys per líquèfacció.

Els gasoductes de la xarxa de transport a 12-16 MPB són les conduccions més afectades, amb 15 reparacions, ja que són els que arriben a les zones de major perill sísmic. Del total de reparacions esperades en conduccions, els municipis amb major possibilitat de donar-s'hi una fuga o ruptura són Barcelona, La Roca, Sant Celoni, Caldes de Malavella, Manlleu, Torelló, Ripoll, Besalú i Argelaguer.

No es donen danys en l'etilenoducte ja que el traçat es troba en una zona de baix perill sísmic, i per els oleoductes, apareixen 3 fuites en tota l'extensió de la xarxa: dues en el ramal TA-BA-GE i una en el TA-LE-ZA.

Un dia després del sisme, la funcionalitat de les conduccions serà del 15% i anirà augmentant progressivament: 30% als 2 dies, 50% als 3 dies, 85% als 5 dies i 100% 10 dies passat el sisme.

No es produiran ruptures per moviment de falles ja que tenen uns intervals de recurrència molt superiors als dels escenaris considerats (500 anys). En cas de reactivar-se, les següents falles produirien ruptures en un gasoducte o un oleoducte de la xarxa de transport: falles d'Amer, Montseny, La Selva i El Camp.

Els resultats de l'anàlisi aplicat a les diverses estacions dels 3 sistemes estudiats mostren que els danys esperats són nuls o lleus. Les estacions d'emmagatzematge de Girona i Barcelona, i l'estació de bombeig de Santa Perpètua són les més perjudicades, tot i que els danys són poc importants. D'altra banda, les estacions de compressió de Banyeres i Tivissa, l'estació de bombeig de Pallejà i les 4 instal·lacions de La Pobla de Mafumet no es veuen pràcticament afectades per estar en les zones de més baixa activitat sísmica.

Excepte per l'estació d'emmagatzematge de Girona, els valors de l'estat de dany esperat $E_{[dsi]}$ indiquen que els danys són més propers als nuls que als lleus.

La funcionalitat de les estacions un dia després del sisme és elevada, ja que els danys són mínims, com indiquen els valors de l'índex FRC .

Donada la moderada perillositat sísmica de la ciutat de Barcelona, no s'esperen danys molt preocupants sobre la xarxa de distribució de gas natural, suposant que les conduccions tenen disseny sísmo-resistent. S'estimen unes 35 reparacions en tota la ciutat. La situació és més preocupant si les conduccions no tenen disseny sísmo-resistent, arribant a estimar-se 111 reparacions.

El major nombre de danys es dona als districtes de Sant Martí i Sants – Montjuïc, situats en terrenys deltaics, que amplifiquen la intensitat sísmica i poden líquefactor. D'altra banda, els districtes menys afectats serien els que tenen menys quilòmetres de xarxa i que es troben en terrenys de perill sísmic menor: Gràcia, Horta – Guinardó, Les Corts i Nou Barris.

Si avaluem el risc sísmic per una intensitat MSK 2 graus superior, les reparacions esperades augmenten 6 vegades en nombre, arribant a una situació d'extrema gravetat, amb 231 reparacions en tota la ciutat considerant conduccions amb disseny sísmo-resistent i gairebé 800 en cas contrari.

Cal recordar que per obtenir tots aquest resultats de anàlisi les hipòtesis que s'han hagut de realitzar han estat sempre les més conservadores, pel que és probable que els danys estiguin majorats, sobretot els provocats per líquefacció.

9.3 RECOMANACIONS

METODOLOGIA

Malgrat que l'escenari sísmic regional inclou efectes del sòl, es considera la mateixa intensitat a tot el municipi. És convenient efectuar la zonificació sísmica com s'ha fet a Barcelona. Això és particularment convenient en els municipis que aquest estudi detecta com més afectats.

La operativitat post sisme depèn de diversos factors com els plans d'emergència establerts, la disponibilitat de mà d'obra o l'estat de les infraestructures en general, entre d'altres, que són pròpies de cada territori. Es recomana estimar tots aquests factors a Catalunya i Barcelona per tractar d'avaluar millor la operativitat.

Cal tenir present que el fet d'extrapolar els resultats obtinguts a escales més grans pot induir a errors. Han estat realitzades diverses aproximacions i generalitzacions que, a escala local poden no representar la realitat, com el mapa geològic, per exemple. Són necessaris estudis geotècnics més localitzats, la localització de possibles esllavissades o el coneixement de la profunditat del nivell freàtic per estimar la liqüefacció. Probablement, de tenir en compte l'efecte del PGD provocat per esllavissades, l'índex de reparació per PGD podria veure incrementada la seva importància respecte l'índex de reparació per sacseig.

La metodologia *HAZUS'99* es basa en paràmetres obtinguts als Estats Units. És raonable pensar que a les nostres zones d'estudi hi hagi una certa variació d'aquests paràmetres, que poden afectar sensiblement als resultats. Seria interessant desenvolupar una metodologia pròpia alternativa a *HAZUS'99*.

En aquest treball no han estat avaluats els danys físics induïts ni les pèrdues econòmiques indirectes que produirien i que, en ocasions, poden fins i tot superar les directes. Es proposa doncs, estimar aquests valors en els sistemes analitzats, junt amb les possibles pèrdues socials directes, en termes de demografia i de superfície edificada.

INVENTARI DE DADES I EL SIG *ARCVIEW*

Aquest treball ha considerat totes les dades geològiques disponibles. Es recomana la seva actualització en funció de la millora de la cartografia geològica de Catalunya. Particularment important és l'actualització de zones susceptibles a fenòmens de liqüefacció.

Per una bona estimació de danys, és necessari un inventari de dades de qualitat. Resultats obtinguts a l'estudi aplicat a la regió de Catalunya mostren com el fet d'aplicar dissenys sismo-resistents suposen reduccions dels danys del 70%. Es recomana recopilar tota la informació necessària per determinar quines conduccions han estat construïdes amb dissenys sismo-resistents i involucrar empreses i personal tècnic en els estudis d'anàlisi de riscos.

Els sistemes analitzats poden ser modificats i ampliat. En treballs futurs es recomana personalitzar un menú en el projecte d'*ArcView* que permeti actualitzar l'anàlisi amb les noves dades de manera automàtica.