

CAPÍTOL IV. SISTEMA D'OLEODUCTE, ETILENODUCTE I XARXA DE GAS: CARACTERITZACIÓ DEL SISTEMA I EL DANY

4.1 INTRODUCCIÓ

Aquest capítol es dedica a definir i classificar els components dels sistemes d'oleoductes i les xarxes de gas. En el capítol II s'ha descrit el procediment general de *HAZUS*. El propòsit ara és especificar totes les eines del mètode pels oleoductes, etilenoductes i la xarxa de gas. Es tracta, bàsicament de fer un recull de corbes i valors dels paràmetres que trobem en el manual tècnic *HAZUS'99* [1] que són necessaris per caracteritzar els sistemes i per avaluar dany, funcionalitat post-sisme i pèrdues econòmiques.

4.2 OLEODUCTES

Podem separar el sistema en les conduccions de transport, refineries, estacions de bombeig i instal·lacions d'emmagatzematge. Podem fer la següent classificació:

Etiqueta	Descripció
Conduccions	
OIP1	Conducció soldada d'acer amb soldadura de gas a les juntes
OIP2	Conducció soldada d'acer amb soldadura d'arc a les juntes
Refineries	
ORF1	Petita (<1000.000 lb/dia ^(*)) amb disseny sismo-resistent
ORF2	Petita (<1000.000 lb/dia) sense disseny sismo-resistent
ORF3	Mitjana / Gran (>1000.000 lb/dia) amb disseny sismo-resistent
ORF4	Mitjana / Gran (>1000.000 lb/dia) sense disseny sismo-resistent
Estacions de bombeig	
OPP1	Amb disseny sismo-resistent
OPP2	Sense disseny sismo-resistent
Instal·lacions d'emmagatzematge	
OTF1	Amb disseny sismo-resistent
OTF2	Sense disseny sismo-resistent

Taula 16. Elements del sistema d'oleoductes [1].

Les dades requerides pel mètode per estimar els danys les llistem a continuació.

Refineries, estacions de bombeig i instal·lacions d'emmagatzematge

- Coordenades geogràfiques de l'element.
- PGA i PGD produït per l'escenari sísmic considerat.
- Classificació.

(*) 100.000 barrils / dia = 15.900 m³ / dia. (1 barril = 159 litres).

Conduccions

- Localització geogràfica de les connexions de les conduccions (latitud i longitud dels nodes finals)
- PGV i PGD

A continuació fem una descripció de cada component del sistema

4.2.1 REFINERIES

En aquestes instal·lacions industrials es processa petroli cru per produir combustibles, lubricants i bàsics per derivats petroquímics mitjançant processos químics variats. S'obtenen productes acabats com benzines, gas-oil, fuel-oil, olis, betums o gasos líquefactats. Tot i que una falta de subministrament d'aigua és crític pel seu funcionament, es suposa un subministrament sense interrupcions. Considerem refineries de dos mides diferents:

- **Refineries petites**, amb capacitat menor de 100.000 barrils/dia (15.900 m³/dia). Es suposen formades per tancs d'acer, altes xemeneies cilíndriques, conduccions elevades i altres equipaments mecànics i elèctrics.
- **Refineries mitjanes / grans**, amb capacitat major de 100.000 barrils/dia. Es suposa que tenen el mateix tipus d'equipament però en major quantitat.

4.2.2 CONDUCCIONS DE TRANSPORT

Els oleoductes transporten els olis a grans distàncies. Gran part de la indústria i milions de persones es veurien greument afectats per un tall en el subministrament. A més, una trencada pot esdevenir un desastre ecològic, contaminant sòls o rius.

Típicament els oleoductes estan fabricats d'acer lleuger amb les juntes realitzades amb soldadura per arc submergit, tot i que les conduccions més antigues poden ser d'acer amb soldadura per gas, de pitjor qualitat. En aquest estudi, les conduccions es consideren vulnerables tant al PGD com al PGV.

4.2.3 ESTACIONS DE BOMBEIG

Tenen com a funció mantenir el flux pels oleoductes. Habitualment, disposen de dues o més bombes, que poden ser del tipus centrífugues o bé invertibles, tot i que el mètode no diferencia l'anàlisi segons el tipus de bombes. En canvi, sí que té en compte el fet d'haver estat construïdes amb disseny sismo-resistent.

4.2.4 ESTACIONS D'EMMAGATZEMATGE

Aquestes estacions estan formades per tancs on s'emmagatzemen productes, conduccions i components elèctrics. Com en el cas de les estacions de bombeig, l'únic criteri que es fa servir per diferenciar el seu comportament enfront els sismes és l'aplicació d'un disseny sismo-resistent en la seva construcció.

4.3 XARXA DE GAS I ETILENODUCTE

El sistema de gas natural es descompon en estacions de compressió i conduccions. Fem la següent classificació:

Etiqueta	Descripció
Conduccions soterrades	
NGP 1	Conducció soldada d'acer amb soldadura de gas a les juntes
NGP2	Conducció soldada d'acer amb soldadura d'arc a les juntes
Estacions de compressió	
NGC1	Amb disseny sismo-resistent
NGC2	Sense disseny sismo-resistent

Taula 17. Elements de la xarxa de gas [1]

Les dades necessàries que són requerides pel mètode per estimar els danys són les següents:

Estacions de compressió

- Localització geogràfica de la estació (latitud i longitud)
- PGA i PGD produït pel sisme de disseny
- Classificació

Conduccions

- Localització geogràfica de les connexions de les conduccions (latitud i longitud dels nodes finals)
- PGV i PGD
- Classificació

A continuació fem una descripció de cada component del sistema.

4.3.1 ESTACIONS COMPRESSORES

La seva funció és la de mantenir el flux de gas en els gasoductes, anàlogament a les estacions de bombeig dels oleoductes. Disposen de compressors centrífugs o invertibles però el tipus de compressors no és un criteri que, aplicant el mètode, fa variar el comportament enfront sismes. Novament, el que sí influeix és la presència o absència de disseny sismo-resistent.

4.3.2 CONDUCCIONS

Els gasoductes estan fabricats d'acer lleuger amb juntes per soldadura d'arc submergit, tot i que els antics poden tenir soldadures d'arc de gas. En cas de produir-se un tall de subministrament, moltes indústries i usuaris es veurien greument afectats.

4.4 DANY SÍSMIC. ESTATS DE DANY I CORBES DE FRAGILITAT

Entrant les dades requerides de cada xarxa avaluem el dany directe. Obtindrem dos paràmetres:

- una probabilitat de dany del component, expressada com un índex de dany (cost de reparació respecte cost de reposició)

- una estimació de la probabilitat de la funcionalitat de cada component després del sisme.

Les corbes de dany o fragilitat per cada component del sistema, excepte per les conduccions, han estat modelades com funcions de distribució log-normal que donen la probabilitat de superar diferents estats de dany per un valor donat de PGA i PGD. Cadascuna d'aquestes corbes ve definida per una mitjana de PGA (o PGD) i un factor de dispersió associat, la desviació estàndard. Per les conduccions es donen relacions empíriques que proporcionen graus de reparació esperats deguts a la propagació de la ona sísmica (PGV) o desplaçament del sòl (PGD).

ESTATS DE DANY

Les estacions de compressió, bombeig, d'emmagatzematge i les refineries són més susceptibles al PGA (sacseig) que al PGD (desplaçament), tot i que si el PGD és causat per líquüefacció o per esllavissades, també resulten afectades. És per això que els estats de dany per aquestes instal·lacions estan definits i associats al PGA i el PGD.

Es defineixen 5 estats de dany (excepte per conduccions): nul (ds1), lleuger (ds2), moderat (ds3), extensiu (ds4) i complet (ds5).

Per altra banda, com les conduccions es veuen més afectades per el PGV i el PGD, els seus estats de dany estan associats a aquests dos paràmetres. En aquest cas només tenim dos estats de dany: fuites i ruptures. Generalment, quan una conducció resulta afectada per desplaçament del sòl (*ground failure*, PGD), el dany causat és més aviat la ruptura, mentre que si és per la propagació de la ona sísmica (PGV), el dany causat acostuma a ser una deformació en les parets de la conducció que provoca fuites. El mètode proposa que el dany per PGD es tradueixi en un 80% de ruptures i un 20% de fuites i el dany per PGV el contrari, 20% de ruptures i 80% de fuites.

CORBES DE FRAGILITAT

En aquest subapartat es presenten les funcions de dany dels sistemes d'oleoductes i de les xarxes de gas. La representació de les corbes en funció del PGA es troba en els annexos 1 i 2. En el cas dels components que es poden dividir en subcomponents (refineries, estacions de bombeig i compressió i d'emmagatzematge) les corbes estan basades en la combinació probabilística de les funcions de dany dels subcomponents utilitzant expressions booleanes per descriure la relació entre subcomponents.

Segons aquestes corbes de fragilitat, les instal·lacions de les que es pot esperar pitjor resposta són les estacions de bombeig. Per contra, les refineries mitjanes o grans són les que es comporten millor enfront l'acció sísmica. També s'observa que l'absència de disseny sismoresistent comporta majors danys esperables.

Les corbes de fragilitat degudes a PGD per refineries, estacions de bombeig, emmagatzematge i compressió no han estat utilitzades en aquest treball degut a què, com s'ha explicat anteriorment, aquestes instal·lacions són més susceptibles al PGA. En el manual de *HAZUS'99* [1] es poden trobar els paràmetres que defineixen aquestes corbes per esllavissades, falles superficials, assentaments i expansions laterals.

A continuació es defineixen els estats de dany i els paràmetres (mitjana i dispersió) de les corbes de fragilitat degudes a PGA (sacseig del sòl) per refineries, estacions de bombeig, emmagatzematge i compressió.

4.4.1 OLEODUCTES

REFINERIES

Els estats de dany són els següents:

Dany despreciable /menor (ds2): Mal funcionament de la planta per un període curt de temps (pocs dies) degut a talls d'electricitat, un petit dany en algun tanc...

Dany moderat (ds3): Mal funcionament de la planta durant una setmana aproximadament degut a talls d'electricitat, danys extensius en varis equipaments o danys considerables en tancs.

Dany extensiu (ds4): Tancs danyats extensivament.

Dany complet (ds5): Col·lapse dels tancs o fallada completa de totes les tuberies elevades.

Algoritmes de dany per refineries petites:

PGA			
Classificació	dsi, Estat de dany	Mitjana (g)	Dispersió β
ORF1- Refineries amb disseny sismo-resistent	Menor/despreciable	0.29	0.55
	Moderat	0.52	0.50
	Extensiu	0.64	0.60
	Complet	0.86	0.55
ORF2- Refineries sense disseny sismo-resistent	Menor/despreciable	0.13	0.50
	Moderat	0.27	0.50
	Extensiu	0.43	0.60
	Complet	0.68	0.55

Taula 18. Funcions de dany per refineries petites [1]

Algoritmes de dany per refineries mitjanes/ grans:

PGA			
Classificació	dsi, Estat de dany	Mitjana (g)	Dispersió β
ORF3- Refineries amb disseny sismo-resistent	Menor/despreciable	0.38	0.45
	Moderat	0.60	0.45
	Extensiu	0.98	0.50
	Complet	1.26	0.45
ORF4- Refineries sense disseny sismo-resistent	Menor/despreciable	0.17	0.40
	Moderat	0.32	0.45
	Extensiu	0.68	0.50
	Complet	1.04	0.45

Taula 19. Funcions de dany per refineries mitjanes/grans [1]

ESTACIONS DE BOMBEIG

Els estats de dany són els següents.

Dany despreciable /menor (ds2): dany lleu a l'edifici.

Dany moderat (ds3): Dany considerable en l'edifici o en equipament mecànic i elèctric.

Dany extensiu (ds4): edifici danyat extensivament o bombes bastant danyades.

Dany complet (ds5): edifici en estat de dany complet.

Algoritmes de dany per estacions de bombeig:

PGA			
Classificació	dsi, Estat de dany	Mitjana (g)	Dispersió β
OPP1- Estacions amb disseny sismo-resistent	Menor/despreiable	0.15	0.75
	Moderat	0.34	0.65
	Extensiu	0.77	0.65
	Complet	1.50	0.80
OPP2- Estacions sense disseny sismo-resistent	Menor/despreiable	0.12	0.60
	Moderat	0.24	0.60
	Extensiu	0.77	0.65
	Complet	1.50	0.80

Taula 20. Funcions de dany per estacions de bombeig [1]

ESTACIONS D'EMMAGATZEMATGE

Els estats de dany són els següents.

Dany despreiable /menor (ds2): Mal funcionament de la planta per un període curt de temps (pocs dies) degut a un petit dany en algun tanc.

Dany moderat (ds3): Mal funcionament durant una setmana aproximadament degut a talls d'electricitat, danys extensius en varis equipaments o danys considerables en tancs.

Dany extensiu (ds4): tancs danyats extensivament o dany extensiu en les conduccions elevades.

Dany complet (ds5): col·lapse dels tancs o fallada completa de totes les conduccions elevades.

Algoritmes de dany per estacions d'emmagatzematge:

PGA			
Classificació	dsi, Estat de dany	Mitjana (g)	Dispersió β
OTF1- Estacions amb disseny sismo-resistent	Menor/despreiable	0.29	0.55
	Moderat	0.50	0.55
	Extensiu	0.50	0.55
	Complet	0.87	0.50
OTF2- Estacions sense disseny sismo-resistent	Menor/despreiable	0.12	0.55
	Moderat	0.23	0.55
	Extensiu	0.41	0.55
	Complet	0.68	0.55

Taula 21. Funcions de dany per estacions d'emmagatzematge [1]

4.4.2 XARXA DE GAS I ETILENODUCTE

ESTACIONS DE COMPRESSIÓ

Són l'únic element a estudiar, amb els estats de dany següents:

Dany despreciable /menor (ds2): dany despreciable en l'edifici.

Dany moderat (ds3): dany considerable en l'edifici o en l'equipament mecànic i elèctric.

Dany extensiu (ds4): dany extensiu en l'edifici o danys importants i de reparació complicada en les bombes.

Dany complet (ds5): edifici en estat de dany complet.

Algoritmes de dany per estacions de compressió: es prenen les mateixes funcions de dany que per les estacions de bombeig dels oleoductes (Taula 20).

4.4.3 CONDUCCIONS D'OLEODUCTES, GASODUCTES I ETILENODUCTES

Es prenen les mateixes funcions de dany pels oleoductes i per les conduccions de gas. Per avaluar el grau de dany de les conduccions, es dona com un índex de reparació (R.R. Repair Rate) expressat en nombre de reparacions per quilòmetre. S'utilitzen dos algoritmes, el primer associat al PGV i el segon, al PGD. Són expressions d'origen empíric. El diàmetre i el gruix de la conducció no es consideren paràmetres que influeixen en el comportament. Índex de reparació per conduccions (PGV) [1]:

$$R.R.(reparacions / Km) \cong 0.0001 \cdot (PGV)^{(2.25)} \quad (4.1)$$

on el PGV es troba expressat en cm / seg. A continuació es representa aquesta expressió per conduccions fràgils. Per conduccions dúctils (acer, PVC) la vulnerabilitat és el 30% del cas de les conduccions fràgils i, per això, es multiplica per un factor de 0.3.

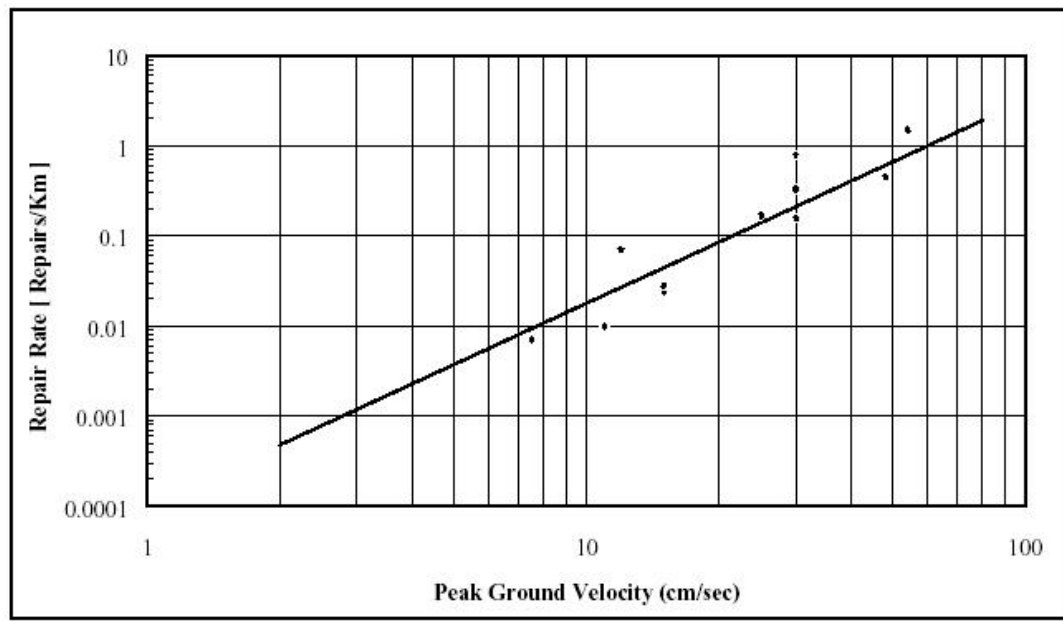


Figura 20. Índex de reparació de conduccions (PGV) [1]

L'índex de reparació per l'efecte del PGD [1] és el següent:

$$R.R.(\text{reparacions} / \text{Km}) \cong \text{prob}[\text{liquació}] \cdot (PGD)^{(0.56)} \quad (4.2)$$

on el PGD es troba expressat en polzades. Novament, per al cas de conduccions dúctils, es multiplica per un factor de 0.3.

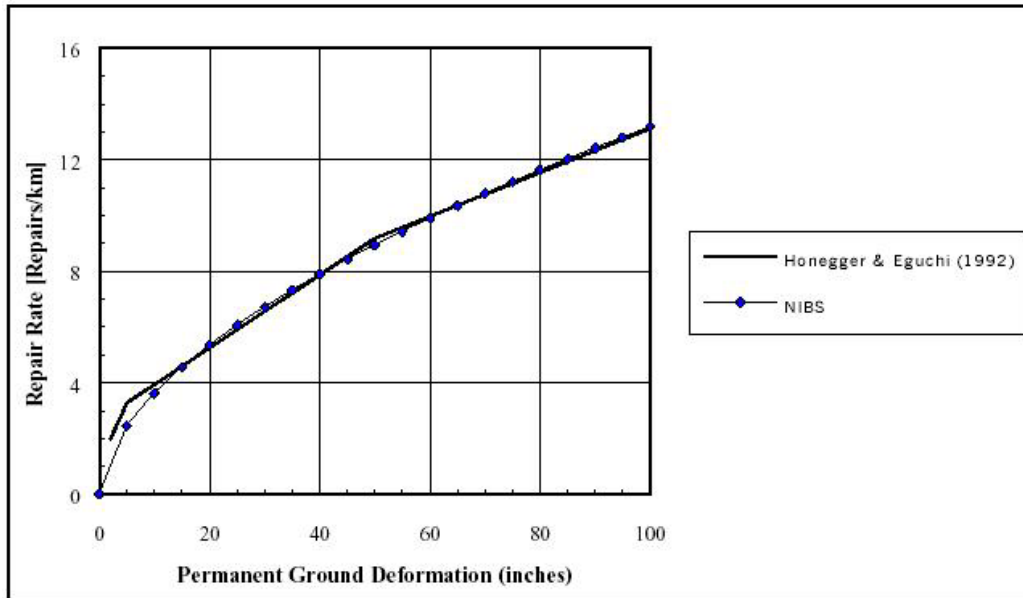


Figura 21. Índex de reparació de conducció (PGD) [1]

	FUITES: PGV (cm/seg)		RUPTURES: PGD (polzades)	
	$R.R. \cong 0.0001 \cdot (PGV)^{(2.25)}$		$R.R. \cong \text{prob}[\text{liq}] \cdot (PGD)^{(0.56)}$	
Tipus conducció	Factor	Exemple de conducció	Factor	Exemple de conducció
OIP1, fràgil	1	Acer amb soldadures de gas	1	Acer amb soldadures de gas
OIP2, dúctil	0.3	Acer amb soldadures d'arc submergit	0.3	Acer amb soldadures d'arc submergit

Taula 22. Índex de reparació per conduccions [1]

4.5 CORBES DE RESTAURACIÓ

Mitjançant les corbes de restauració, la metodologia HAZUS'99 avalua la funcionalitat de cada component del sistema, calcula el temps necessari de reparació que necessita per tornar a funcionar al 100%.

Les corbes de restauració estan extretes de la metodologia ATC-13 [5], usant les dades per el temps de restauració principal. Es prenen funcions amb distribució normal i es donen els valors de la mitjana i la desviació estàndard per definir-les en cada cas. La seva representació es pot trobar a l'annex 3. En aquest apartat es recullen en taules els valors dels seus paràmetres característics (mitjana i desviació) per cada estat de dany i cada tipus d'element. Com a informació complementària, també es donen taules amb els valors discrets d'aquestes mateixes corbes.

4.5.1 OLEODUCTES

Funcions de restauració pels components del sistema d'oleoductes:

Corbes de restauració (distribució normal)			
Classificació	Estat de dany	Mitjana (dies)	Desviació estàndard
Refineries	Menor/despreciable	0.4	0.1
	Moderat	3.0	2.2
	Extensiu	14.0	12.0
	Complet	190.0	80.0
Estacions d'emmagatzematge	Menor/despreciable	0.9	0.5
	Moderat	7.0	7.0
	Extensiu	28.0	26.0
	Complet	70.0	55.0
Conduccions	Fuita	3.0	2.0
	Ruptura	7.0	4.0
Estacions de bombeig	Menor/despreciable	0.9	0.3
	Moderat	3.1	2.7
	Extensiu	13.5	10.0
	Complet	35.0	18.0

Taula 23. Funcions de restauració pels components del sistema d'oleoductes [1]

Discretització de les funcions de restauració pels components del sistema d'oleoductes, on els números representen el % de funcionalitat de la instal·lació:

Discretització de les funcions de restauració						
Classificació	Estat de dany	1 dia	3 dies	7 dies	30 dies	90 dies
Refineries	Menor/despreciable	100	100	100	100	100
	Moderat	19	50	97	100	100
	Extensiu	14	18	28	91	100
	Complet	0	1	2	3	11
Estacions d'emmagatzematge	Menor/despreciable	58	100	100	100	100
	Moderat	20	29	50	100	100
	Extensiu	15	17	21	54	100
	Complet	11	12	13	24	65
Conduccions	Fuita	16	50	98	100	100
	Ruptura	7	16	50	100	100
Estacions de bombeig	Menor/despreciable	65	100	100	100	100
	Moderat	22	50	93	100	100
	Extensiu	10	15	25	95	100
	Complet	3	4	6	40	100

Taula 24. Discretització de les funcions de restauració pels components del sistema d'oleoductes [1]

4.5.2 XARXA DE GAS I ETILENODUCTES

Pel que fa a la xarxa de gas, les corbes de restauració de les conduccions són les mateixes que per als oleoductes i per les estacions de compressió es prenen les mateixes corbes que les estacions de bombeig, ja que es suposa que tenen una recuperació igual tant en temps com en tant per cent de funcionalitat.

Funcions de restauració pels components de la xarxa de gas:

Corbes de restauració (distribució normal)			
Classificació	Estat de dany	Mitjana (dies)	Desviació estàndard
Conduccions	Fuita	3.0	2.0
	Ruptura	7.0	4.0
Estacions de compressió	Menor/despreciable	0.9	0.3
	Moderat	3.1	2.7
	Extensiu	13.5	10.0
	Complet	35.0	18.0

Taula 25. Funcions de restauració pels components de la xarxa de gas [1]

Discretització de les funcions de restauració pels components de la xarxa de gas, on els números representen el % de funcionalitat de la instal·lació:

Discretització de les funcions de restauració						
Classificació	Estat de dany	1 dia	3 dies	7 dies	30 dies	90 dies
Conduccions	Fuita	16	50	98	100	100
	Ruptura	7	16	50	100	100
Estacions de compressió	Menor/despreciable	65	100	100	100	100
	Moderat	22	50	93	100	100
	Extensiu	10	15	25	95	100
	Complet	3	4	6	40	100

Taula 26. Discretització de les funcions de restauració pels components de la xarxa de gas [1]

4.6 PÈRDUES ECONÒMIQUES DIRECTES

L'estimació de les pèrdues econòmiques directes depèn de que l'inventari de dades aportí la situació de tots els nodes i juntes del sistema. També depèn dels models usats per definir el moviment del sòl. Per calcular-ho ens basem en:

- Les probabilitats d'estar en un cert estat de dany ($P[D_s \geq ds_i]$).
- El cost de reposició del component.
- Els índex de dany (DRi) per cada estat de dany.

La majoria dels costos de reposició estan extrets de les metodologies *ATC-13* [5] i *ATC-25* [6]. No són valors precisos sinó que són estimacions aproximades i han de ser considerats només com una tendència.

Els índex de dany (DRi) són el tant per cent del cost de reposició que es necessita per reparar l'element en relació a la seva substitució. Les pèrdues econòmiques s'avaluen multiplicant el valor de reposició total de l'element per l'índex de dany compost DRc, que es calcula com la combinació probabilística dels índex de dany amb l'equació (2.3).

A continuació es presenten els DRi pels components del sistema d'oleoductes, expressats com un percentatge del cost de reposició del component. Aquests DRi per refineries, estacions de bombeig i d'emmagatzematge estan avaluats com la suma dels Dri de tots els seus subcomponents multiplicat pels respectius percentatges del valor total del component.

Per exemple, per a les estacions d'emmagatzematge, els tancs suposen un 58% del valor total de l'estació, l'equipament elèctric i mecànic el 24% i la instal·lació elèctrica el 6%. Per un estat de dany moderat, cada un d'aquests subcomponents té un DR₃ diferent (0.70, 0.60 i 0.40 respectivament). Així, el DR₃ per les estacions d'emmagatzematge es calcula de la manera següent:

$$DR_{3 \text{ est.emmagatzematge}} = (0.06 \cdot 0.70)_{\text{ins.elec}} + (0.24 \cdot 0.6)_{\text{equip}} + (0.58 \cdot 0.4)_{\text{tancs}} = 0.41 \approx 0.40 \quad (4.3)$$

Índex de dany pel sistema d'oleoductes			
Classificació	dsi, Estat de dany	DRi, índex de dany	DRc, Rang dels índex de dany
Refineries	Menor/despreciable	0.09	0.01 a 0.15
	Moderat	0.23	0.15 a 0.4
	Extensiu	0.78	0.4 a 0.8
	Complet	1.00	0.8 a 1.00
Estacions d'emmagatzematge	Menor/despreciable	0.13	0.01 a 0.15
	Moderat	0.4	0.15 a 0.4
	Extensiu	0.8	0.4 a 0.8
	Complet	1.00	0.8 a 1.00
Conduccions	Fuita	0.10	0.05 a 0.20
	Ruptura	0.75	0.5 a 1.00
Estacions de bombeig	Menor/despreciable	0.08	0.01 a 0.15
	Moderat	0.4	0.15 a 0.4
	Extensiu	0.8	0.4 a 0.8
	Complet	1.00	0.8 a 1.00

Taula 27. Índex de dany pel sistema d'oleoductes [1]

Pel que fa als índex de dany per la xarxa de gas, les estacions de compressió prenen els mateixos valors que les estacions de bombeig i els gasoductes, els mateixos que els oleoductes degut a que es considera que tenen un comportament semblant enfront l'acció sísmica. Per tant, coincideixen amb els valors de la Taula 27 corresponents a conduccions i estacions de bombeig.

Índex de dany per la xarxa de gas			
Classificació	dsi, Estat de dany	DRi, índex de dany (%)	DRc, Rang dels índex de dany (%)
Conduccions	Fuita	0.10	0.05 a 0.20
	Ruptura	0.75	0.5 a 1.00
Estacions de compressió	Menor/despreciable	0.08	0.01 a 0.15
	Moderat	0.4	0.15 a 0.4
	Extensiu	0.8	0.4 a 0.8
	Complet	1.00	0.8 a 1.00

Taula 28. Índex de dany per la xarxa de gas [1]

4.7 RESUM I CONCLUSIONS

En aquest capítol, bàsicament, es recullen del manual de HAZUS'99 [1] les eines que ens facilita la metodologia per caracteritzar els nostres sistemes d'estudi i per dur a terme l'avaluació del dany en aquests. S'han definit els elements de cada sistema i nomenat les dades necessàries que requereix el mètode per estimar danys. A continuació s'han definit els estats de dany i les corbes de fragilitat per cada element. Per les

conduccions necessitem els valors de PGD i PGV esperats i el dany es dona com reparacions per quilòmetre, mentre que per les demés instal·lacions només cal el PGA esperat i s'utilitzen les corbes de fragilitat per obtenir un estat de dany esperat calculant l'índex $E[dsi]$ (2.2). Cal remarcar que tots els valors donats en aquest capítol són independents de l'escenari sísmic considerat.

Segons les corbes de fragilitat, les instal·lacions de les que es pot esperar pitjor resposta enfront l'acció sísmica són les estacions de bombeig dels oleoductes i les estacions compresores dels gasoductes i etilenoductes. Per contra, les refineries mitjanes o grans són les que es comporten millor. També s'observa que l'absència de disseny sismoresistent comporta majors danys esperables.

El següent pas és estimar la funcionalitat post sísmica i el temps de recuperació de les instal·lacions. La eina utilitzada són les corbes de restauració. Es donen els índex de dany DR_i per cada element, que són necessaris per estimar les pèrdues econòmiques directes, el dany global del sistema (índex DR_c), la funcionalitat (índex FRC) i el temps de recuperació.

De les corbes de restauració podem extreure certes conclusions. Les refineries són les instal·lacions que necessiten més dies per recuperar el 100% de funcionalitat després d'un sísmic, seguides de les estacions de bombeig i les estacions compresores. Resulta lògic, ja que unes són les instal·lacions més complexes i de majors dimensions (refineries) i les altres són les instal·lacions on s'esperen majors danys. Les conduccions són els elements de més ràpida reparació, amb un temps de recuperació menor si els danys són fuites i no trencades.