

Anexo 3

Método aproximado para la estimación de daños en tuberías como consecuencia de sismos intensos

Introducción

A continuación se presenta una metodología para estimar en forma aproximada, el número esperado de roturas en tuberías afectadas por movimientos sísmicos. Está fundamentada en el Estudio de Caso del Terremoto del Limón, Costa Rica, 1991.²³

Evaluación de la amenaza sísmica

Paso 1: Asignar un factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS) según se indica en la Tabla A3.1

Tabla A3.1
Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS)

Denominación	Descripción	FTPS
Rocoso	Estratos rocosos o suelos muy consolidados, con velocidades de propagación de ondas de corte en exceso a 750 m/seg.	1,0
Firme	Estratos de suelos bien consolidados, o blandos con espesor menor a 5 metros.	1,5
Blando	Estratos de suelos blandos con espesores en exceso de 10 metros.	2,0

Paso 2: Asignar un factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS) según se establece en la Tabla A3.2.

Tabla A3.2
Factor de amenaza por licuefacción potencial (FLPS)

Denominación	Descripción	FLPS
Baja	Suelos bien consolidados y con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arenas apreciable.	1,0
Moderada	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderado.	1,5
Alta	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alto contenido de arenas, zonas deltáicas de ríos y depósitos aluviales.	2,0

²³ CEPIS/OPS/OMS, 1996.

Paso 3: Asignar un factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) con arreglo a la Tabla A3.3.

Tabla A3.3
Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS)

Denominación	Descripción	FDPS
Baja	Suelos bien consolidados, terrenos con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas.	1,0
Moderada	Suelos consolidados, terrenos con pendientes menores al 25%, rellenos compactados, áreas cercanas a cruces de ríos o fallas geológicas.	1,5
Alta	Suelos mal consolidados, terrenos con pendientes superiores al 25%, áreas ubicadas muy cerca o dentro de cauces de ríos o fallas geológicas.	2,0

De acuerdo a este procedimiento, el factor de amenaza sísmica (FAS) del área es caracterizada por el producto:

$$(FAS) = (FTPS) \times (FLPS) \times (FDPS)$$

Valores de (FAS) inferiores a 2 se consideran de baja amenaza sísmica ; entre 2 y 4 amenaza sísmica moderada ; iguales o mayores que 4, amenaza sísmica alta .

Estimación de la vulnerabilidad

En diversos trabajos, la vulnerabilidad de sistemas de tuberías a las acciones sísmicas viene expresada por el número esperado de fallas por kilómetro de longitud. Tomando en consideración las estadísticas disponibles, resulta ventajoso emplear como referencia el número de fallas por sismo en tuberías de hierro fundido (HF), para diferentes grados de la Intensidad de Mercalli. En la Tabla A3.4 se dan los valores correspondientes a daños por: (i) propagación de ondas sísmicas únicamente y (ii) propagación de ondas y deformaciones permanentes del terreno. Estos son denominados Índices Básicos de Daño (IBD) y dependen del factor de amenaza sísmica (FAS) calculado en la sección anterior según se indica en la Tabla A3.4.

Para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica se siguen los siguientes pasos:

Paso 4: Seleccionar el Índice Básico de Daño según la Tabla A3.4.

Tabla A3.4
Índices básicos de daño (IBD) por sismos, en tuberías de hierro fundido (HF)

Intensidad de Mercalli	Índice Básico de Daño (IBD) (Fallas/Km)	
	FAS < 2	FAS ≥ 2
VI	0,0015	0,01
VII	0,015	0,09
VIII	0,15	0,55
IX	0,35	4,00
X	0,75	30,0

Paso 5: En caso de que la tubería no sea de hierro fundido (HF), se recomienda emplear los factores de corrección que se dan en la Tabla A3.5.

Tabla A3.5
Factores de corrección por tipo de material (FCM)

Material	FCM
Acero Dúctil (AD)	0,25
Hierro Fundido (HF)	1,00
Cloruro de Polivinilo (PVC)	1,50
Asbesto Cemento (AC)	2,60
Concreto Reforzado (CR)	2,60

Estos factores pueden ser afectados por el estado general de la tubería y/o los años de servicio, a juicio del profesional responsable de la evaluación. Para tuberías viejas o en mal estado los valores de la Tabla A3.4 pueden incrementarse hasta en un 50%; si su estado es considerado regular este porcentaje no tiene por qué sobrepasar el 25%; y para tuberías en buen estado no es necesario modificar los valores de la Tabla A3.4.

Paso 6: Las estadísticas de daños también revelan que las tuberías de menor diámetro tienden a ser más vulnerables. Así, para tuberías con diámetros menores o iguales a 75 mm., puede aplicarse un factor de aumento de hasta 50%; diámetros entre 75 mm. y 200 mm. se puede incrementar hasta un 25%; y para tuberías con diámetros en exceso a 200 mm. no es preciso incrementar los valores dados.

Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro

La metodología para el cálculo del número de fallas por kilómetro, se ilustrará con un ejemplo. Este consiste en una tubería de concreto reforzado (CR), relativamente nueva y en buenas condiciones, de 500 mm. de diámetro, ubicada en un área donde se esperan sismos con Intensidades de Mercalli Grado IX; su longitud total es de 15,5 Km., la cual se puede dividir en los siguientes tres tramos con arreglo a la Sección A3.2 de este Anexo:

- Tramo 1: 1,8 Km. de longitud en áreas de baja amenaza sísmica (FAS < 2)
- Tramo 2: 12,7 Km. de longitud en áreas de amenaza sísmica moderada (FAS > 2)
- Tramo 3: 1,0 Km. de longitud en áreas de alta amenaza sísmica (FAS > 2)

El total de fallas esperadas es igual a:

$$1,8 \times 0,35 \times 2,60 + 12,7 \times 4,0 \times 2,60 + 1,0 \times 4,0 \times 2,60 = 144 \text{ fallas/Km.}$$

Obsérvese que si esta tubería hubiese sido de acero dúctil (AD), el número de fallas por kilómetro se reduce a: $144 \times (0,25/2,60) = 14$; es decir diez veces menor.