

5. ANÁLISIS SÍSMICO

5.1 METODOLOGÍA SÍSMICA

Con base en el trabajo del grupo interdisciplinario de especialistas, - más que todo con los Especialistas de Geología, Geotécnica, Vulnerabilidad y Estructuras -, habiendo realizado la actividad de recopilación y estudio de la información pertinente y teniendo en cuenta las siguientes consideraciones, se estableció la Metodología correspondiente al efecto sísmico, que se deberá utilizar en el desarrollo de presente Estudio.

Como primera medida, se analizó la metodología utilizada en el Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fé de Bogotá, agosto/97, la cual partiendo de los resultados de las aceleraciones en superficie para las diferentes tipos de zonas de amenaza sísmica, establece el grado de vulnerabilidad de las líneas vitales de acueducto, con base en la metodología propuesta en el ATC-13 (Applied Technology Council, Earthquake Damage Evaluation Data for California), llegando a establecer para sismo moderado en la falla frontal (0.12 g) y sismo fuerte en la falla frontal (0.20 g), los valores correspondientes en número de rupturas por kilómetro.

Por otra parte, en el Estudio de Vulnerabilidad respecto al efecto Sísmico, realizado por Consultoría Colombiana de fecha octubre del 2000, establecen para la red matriz el número de rupturas por kilómetro, partiendo de los coeficientes espectrales propuestos por el Estudio de Microzonificación Sísmica, pero utilizando otro método alternativo para encontrar el número de rupturas por kilómetro.

En consecuencia, ambos estudios se basan en las mismas zonas de amenaza sísmica y en los mismos valores de aceleración en superficie. Lo único que los diferencia entonces, es la metodología utilizada para determinar el número de rupturas por kilómetro.

Por lo tanto, las zonas críticas propuestas por los dos Estudios son las mismas y en lo único que se diferencian es en el valor asignado al número de rupturas por kilómetro.

Cualquier otra metodología aproximada para establecer el grado de vulnerabilidad de la red matriz, debe partir de los datos encontrados por el Estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fé de Bogotá, pues aunque existen algunas dudas sobre los resultados y procedimientos para establecer los respectivos espectros de respuesta, es por ahora la fuente más confiable y creíble que se tiene hasta el momento, y tratar de verificar y/o discutir los valores propuestos no son tema ni alcance, ni los objetivos del presente Proyecto.

En la Metodología del ATC-13, (Applied Technology Council, Earthquake Damage Evaluation Data for California), como primera medida, consideran los efectos que produce el sismo en tuberías enterradas, para tres condiciones de suelos diferentes (buena, media y pobre), correlacionando los anteriores valores con la aceleración pico del suelo, y en consecuencia, estableciendo los valores correspondientes de rupturas por kilómetro.

Los inconvenientes que tiene esta correlación es que no se hace la diferenciación para diferentes tipos, clases y diámetros de tubería; Así mismo, no explican qué es un tipo de suelo pobre, o que características geotécnicas posee un suelo bueno.

En otro aparte, el ATC-13, sí involucra el tipo de tubería, pero lo correlaciona con el desplazamiento máximo permanente del suelo, determinando las posibles rupturas por kilómetro; éstos valores de desplazamiento son de difícil estimación tanto en su predicción como en su intensidad; por ende, la utilización de esta metodología no es muy practicable.

Finalmente, el ATC-13, correlaciona el tipo de tubería con la intensidad de sismo en la escala de Mercalli Modificada, para determinar las respectivas rupturas por kilómetro, observándose que para una intensidad máxima de diez (X) en la escala de Mercalli Modificada, el máximo valor obtenido sería de una ruptura por kilómetro; valor éste muy bajo respecto a otros valores típicos reportados en otros estudios a nivel mundial bajo las mismas circunstancias.

Analizando la Metodología utilizada en el Estudio de Consultoría Colombiana, Método propuesto por la Organización Panamericana de la Salud, en el Estudio de Vulnerabilidad para la Ciudad de Limón, Costa Rica, se encuentra, que de todas maneras es una metodología aproximada, pero que cuenta con criterios y condiciones que se ajustan mejor a los requerimientos geotécnicos, como son los factores de amenaza por tipo de perfil de suelo, amenaza por licuefacción potencial, amenaza por deformación permanente del suelo; estableciendo el índice básico de daño, teniendo adicionalmente en cuenta el tipo de tubería a considerar.

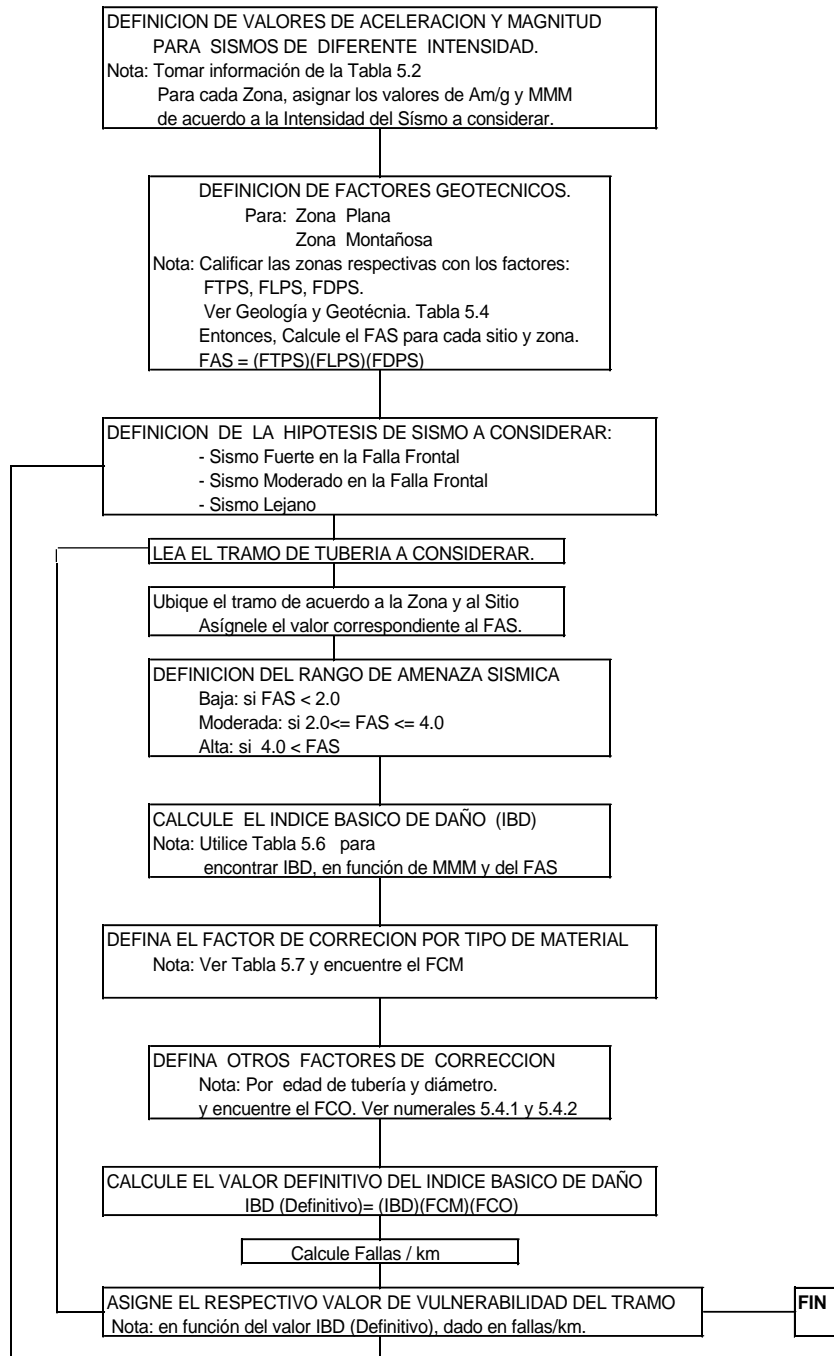
Por todo lo anterior, se concluye que la metodología que mejor se acopla a los requerimientos y alcances del Proyecto es la presentada en el Estudio de Consultoría Colombiana; o sea la propuesta en el Informe de la Organización Panamericana de la Salud.

En consecuencia, se utilizará la Metodología de la OPS (Organización Panamericana de la Salud), para establecer el grado de vulnerabilidad de la red matriz, calificada en rupturas por kilómetro, por efecto sísmico, utilizando como información base la obtenida por las diferentes Especialidades Técnicas a lo largo del desarrollo del presente Estudio.

Del ejercicio anterior, se establecieron las respectivas zonas críticas por efecto sísmico, evaluando su grado de vulnerabilidad, y de éstas, se escogieron los tramos que son prioritarios para su rehabilitación bajo el concepto sísmico.

En la Figura 5.1, se presenta el esquema de Procedimiento para la Evaluación de la Amenaza Sísmica y su respectivo valor de Vulnerabilidad, teniendo en cuenta la Metodología planteada por la OPS (Organización Panamericana de la Salud).

*Figura No. 5.1 Flujograma para Evaluación de Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad,
 Metodología de la Organización Panamericana de la Salud.*



5.2 FACTORES SÍSMICOS Y GEOTÉCNICOS.

Los diferentes factores o parámetros de amenaza sísmica fueron determinados de la siguiente manera.

5.2.1 SELECCIÓN DE LOS VALORES DE INTENSIDAD Y DE ACELERACIÓN SÍSMICA:

Para la selección de los valores de intensidad y de aceleración sísmica se tomó como referencia el estudio de Microzonificación Sísmica de Santa Fé de Bogotá. De este estudio se diferencian las siguientes zonas:

Tabla No. 5.1. Zonas diferenciadas para la selección de Valores de Intensidad y de Aceleración Sísmica de Bogotá

ZONA 1	CERROS	Correspondiente a los afloramientos de rocas del Cretáceo y Terciario.
ZONA 2	PIEDEMONTE	Depósitos coluviales y conos de deyección con estratigrafía variable entre gravas, arenas y limos.
ZONA 3	LACUSTRE A	Depósitos de arcillas blandas de mas de 50 m de espesor.
ZONA 4	LACUSTRE B	Depósitos de arcillas blandas de 50 a 400 m de espesor. Los primeros 50 m son más blandos.
ZONA 5^a	TERRAZAS Y CONOS	Potencialmente licuables: corresponde a depósitos de arenas finas y limos con niveles freáticos altos, susceptibles a licuación.
ZONA 5	TERRAZAS Y CONOS (No licuables)	Están conformados por suelos arcillosos, arenas y limos.

El efecto de sismo se analizó en función de su intensidad, medida en la escala de Mercalli Modificada (MM), la cual se puede asociar en función de la aceleración pico (A_m) que corresponde a la aceleración sísmica obtenida del EMS (Estudio de Microzonificación

Sísmica), y de la Norma NSR-98; a partir de la expresión de Richter y Gutenberg, 1942, se pueden correlacionar estas dos variables así:

$$\text{Log } A_m = 0.33 * (MM) - 0.50$$

Los valores de aceleración y intensidad de sismo, para los diferentes escenarios de sismo contemplados en el EMS son los siguientes:

Tabla No. 5.2. Valores de Aceleración e Intensidad de Sismo, para los Diferentes Escenarios de Sismo Contemplados en el EMS

Zona	Sismo Fuerte en la Falla Frontal		Sismo Moderado en la Falla Frontal		Sismo Lejano	
	Am/g	Intensidad MM	0.6 Am/g	Intensidad MM	0.19 Am/g	Intensidad MM
1	0.24	IX	0.14	VIII	0.05	VII
2	0.30	IX	0.18	VIII	0.07	VII
3	0.25	IX	0.15	VIII	0.12	VIII
4	0.16	VIII	0.10	VII	0.08	VII
5	0.20	VIII	0.12	VIII	0.10	VIII

En las zonas que quedan por fuera del Mapa de Microzonificación Sísmica de Bogotá, se consideraron los siguientes criterios de zonificación:

- La zona correspondiente al cerro de Tibitoc y los cerros nororientales, debido a sus características propias de material rocoso, se consideran similares a las de la zona 1.
- Se definió una franja de aproximadamente 500 m, en el contorno del cerro de Tibitoc y los cerros nororientales, que se considera de un comportamiento similar a la zona 2 del estudio de Microzonificación, debido a su proximidad a los cerros, y a la probabilidad de efectos locales de amplificación de ondas, reflejados en el modelo del Estudio de Microzonificación Sísmica.

- La zona baja de inundación de los ríos Bogotá y Teusacá, se consideran similares a la zona 5 del Estudio de Microzonificación Sísmica, debido a la presencia de suelos arcillosos y orgánicos de consistencia blanda y capas de arena suelta, las cuales son susceptibles a fenómenos de licuación.
- La zona plana no cubierta por las zonas anteriormente descritas, se considera como zona 3, ya que en este sector predominan depósitos de arcillas de consistencia media a firme, y arenas medianamente densas, las cuales se asemejan al comportamiento de suelo lacustre tipo A del estudio de Microzonificación Sísmica.
- En la zona oriental correspondiente al Municipio de Mosquera se adoptaron los valores obtenidos en el Estudio de Microzonificación Sísmica EMS correspondientes a la zona 4 de depósitos lacustres Tipo B.
- La zona sur de Ciudad Bolívar corresponde a la zona 1 de Cerros del Estudio de Microzonificación Sísmica.

5.2.2 SELECCIÓN DE VARIABLES GEOTÉCNICAS PARA AMENAZA SÍSMICA.

El Método de la Organización Panamericana de la Salud OPS, 1988, se basa en el Estudio del Caso del Terremoto de la ciudad de Limón, Costa Rica, 1991 que involucra factores de amenaza que dependen del comportamiento geotécnico de los materiales. Se destaca en esta clasificación el tipo de suelo o roca, su grado de consistencia o densidad y las condiciones de drenaje (Ver Tabla 5.3). Estos factores enmarcan situaciones de mayor o menor grado de susceptibilidad de desplazamientos transitorios a permanentes del terreno inducidos por sismo, los cuales afectan en un mayor o menor grado, la probabilidad de daño de la red matriz de distribución. Para el estudio de estos factores de amenaza sísmica se tomó como base para la zona plana, el mapa presentado por el Ingeominas en 1988 y para la zona montañosa los mapas de zonificación geotécnica presentados por el FOPAE, los cuales se basan en el método de zonificación propuesto por Ramírez y González (1990).

Tabla No. 5.3. Factores Geotécnicos Considerados dentro del Método de la OPS

FACTOR DE AMENAZA POR PERFIL DE SUELO (FTPS)		
DENOMINACION	FTPS	DESCRIPCIÓN
ROCA	1.0	Estratos rocosos o suelos muy consolidados con velocidades de propagación de onda de corte en exceso a 750 m/seg.
SUELO DURO	1.5	Estratos de suelos bien consolidados, o blandos con espesor menor a 5 m
SUELO BLANDO	2.0	Estratos de suelos blandos con espesores en exceso de 10 m

FACTOR DE AMENAZA POR POTENCIAL DE LICUACIÓN (FLPS)		
DENOMINACION	FTPS	DESCRIPCIÓN
BAJA	1.0	Suelos bien consolidados y con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arenas apreciable.
MEDIA	1.5	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido moderado de arenas.
ALTA	2.0	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alto contenido de arenas, zonas deltáicas de ríos y depósitos aluviales.

FACTOR DE AMENAZA POR DEFORMACIÓN PERMANENTE DEL SUELO (FDPS)		
DENOMINACION	FTPS	DESCRIPCIÓN
BAJA	1.0	Terrenos de baja pendiente y zonas alejadas de cauces de ríos y fallas geológicas, rellenos bien compactos.
MODERADA	1.5	Suelos consolidados con pendientes menores del 25% rellenos compactos, áreas cercanas a cruces de ríos o fallas geológicas.
ALTA	2.0	Suelos mal consolidados con pendientes superiores al 25% áreas muy cercanas a cruces de ríos o fallas geológicas.

El Factor de Amenaza Sísmica se calcula como:

$$FAS = FTPS * FLPS * FDPS$$

A partir de la información anterior, se determinaron los siguientes factores de amenaza sísmica:

Tabla No. 5.4. Resumen de los Factores de Amenaza Sísmica.

ZONA	DESCRIPCIÓN	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	AMENAZA SÍSMICA
IP	Zona de inundación baja, constituida por arcillas y limos poco permeables.	2,0	2,0	2,0	8,0	ALTA
IAP	Zona de arcillas y limos de consistencia media. En general, las estructuras desplantadas en este tipo de terreno no tendrán problemas de capacidad portante y los asentamientos esperados son en general pequeños.	1,5	1,5	1,5	3,4	MEDIA
IBP	Zona de arcillas y limos con una capa superior de arcilla expansiva "neme". En esta zona también se encuentran arenas potencialmente licuables.	1,5	1,5	1,0	2,3	MEDIA
IIP	Parte superior, limos y arcillas orgánicas negras, debajo arcilla amarilla preconsolidada y agrietada.	1,5	1,0	1,0	1,5	BAJA
IIIP	Zona de suelos blando, muy compresibles y de baja resistencia	2,0	1,0	2,0	4,0	MEDIA
IVP	Zona de Depósitos coluviales y conos de deyección	1,5	1,5	1,5	3,4	MEDIA
VP	Zona de alto riesgo por deslizamientos de las paredes de las excavaciones e inundación de las mismas ante probables desbordamientos del río Tunjuelito	1,5	1,0	2,0	3,0	MEDIA
VIAP	Rellenos de basuras en zonas bajas de inundación	2,0	2,0	2,0	8,0	ALTA
VIBP	Rellenos de excavación en suelos blandos	2,0	2,0	2,0	8,0	ALTA
R2	Roca dura: areniscas duras, con resistencia a la compresión mayor a 560 kg./cm ²	1,0	1,0	1,0	1,0	BAJA
R3	Roca blanda, arenisca de Plaeners, arenisca de labor, arenisca tierna, arenisca del Guaduas medio, y arenisca de Usme con resistencia a la compresión menor de 560 kg./cm ²	1,0	1,0	1,0	1,0	BAJA
R4	Liditas de la Formación Plaeners, limolitas de la Formación Guaduas y arcillolitas de la Formación Guaduas, Labor, La Regadera y Bogotá, con resistencia a la compresión menor de 280 Kg./cm ²	1,0	1,0	1,0	1,0	BAJA
SR2B	Suelos residuales finos de consistencia blanda	2,0	1,0	2,0	4,0	MEDIA
SR2C	Suelos residuales finos de consistencia media	1,5	1,0	1,5	2,3	MEDIA
SR3C	Suelos residuales finos de consistencia media	1,5	1,0	1,5	2,3	MEDIA
IT3M	Coluviones, depósitos fluvioglaciares, y conos de deyección	1,5	1,5	1,5	3,4	MEDIA
IT4A	Talus y conos del Tunjuelo	1,5	1,5	1,5	3,4	MEDIA
ST3A	Aluvial con predominio de material granular denso	1,5	1,0	1,5	2,3	MEDIA
ST3B	Formación Tiltatá, con predominio de material fino de consistencia 'baja'.	2,0	1,0	2,0	4,0	MEDIA
ST3C	Depósitos aluviales, con predominio de material fino de consistencia 'media'.	1,5	1,0	1,5	2,3	MEDIA

ZONA	DESCRIPCION	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	AMENAZA SISMICA
ST3D	Terrazas Bajas, con predominio de material fino de consistencia 'dura'.	1,0	1,0	1,5	1,5	BAJA
ST3M	Material granular de densidad 'media'.	1,5	1,5	1,5	3,4	MEDIA
ST3S	Material granular de densidad 'baja'.	2,0	2,0	1,5	6,0	ALTA
ST4B	Rellenos, Depósitos coluviales y flujos de tierra, compuesto por material fino de consistencia 'baja'	2,0	1,0	2,0	4,0	MEDIA
ST4C	Depósitos coluviales compuestos por material fino de consistencia 'media'	1,5	1,0	1,5	2,3	MEDIA
ST4D	Material fino de consistencia 'dura'	1,0	1,0	1,5	1,5	BAJA

En el Plano JR-052-GEO-001-E del Anexo 12, se presenta el mapa de zonificación geotécnica unificado resultado de la fusión de los mapas geotécnicos de la zona plana (INGEOMINAS, 1988) y de la zona montañosa (DPAE, 1998).

5.3 GRADO DE AMENAZA DEL SISTEMA

Las zonas de amenaza sísmica se pueden clasificar en el siguiente orden de prioridad:

- Las zonas de amenaza sísmica alta corresponden a las rondas de inundación de los ríos Tunjuelito y Bogotá, donde se predominan suelos muy blandos y sueltos no consolidados, susceptibles a deformaciones permanentes y a fenómenos de licuación.
- Clasifica como zona de amenaza sísmica media la zona plana de depósito lacustre de la ciudad de Bogotá donde se encuentra una capa superior de arcillas y limos arcillosos de consistencia firme a dura, seguido por estratos blandos de arcilla.
- Clasifican también como categoría media los conos aluviales de las quebradas provenientes de los cerros orientales, zonas de transición entre depósitos aluviales y lacustres y zonas con la presencia de depósitos fluvio-glaciares y coluviales, al igual que pasos por ríos y quebradas de los cerros orientales. Se incluyen también las zonas con problemas de estabilidad activos, los cuales están asociados principalmente a factores antrópicos y son indicados en los mapas el DPAE como de amenaza geotécnica alta a muy alta.

- Clasifican como zonas de amenaza sísmica baja, los afloramientos de rocas del Terciario y del Cretáceo que presentan condiciones de estabilidad favorables con un horizonte de suelo residual de poco espesor; morfológicamente corresponde a las zonas media y alta de los cerros de Bogotá.

En la tabla No. 5.5 se presenta el listado de las líneas de la Red Matriz con mayor amenaza sísmica.

Tabla No. 5.5 Líneas o tramos con mayor amenaza sísmica

Tabla 5.5 Líneas o tramos con mayor amenaza sísmica

Tabla 5.5 Líneas o tramos con mayor amenaza sísmica

Tabla 5.5 Líneas o tramos con mayor amenaza sísmica

5.4 INDICE BASICO DE DAÑOS. (IBD)

La siguiente tabla, está estipulada para tuberías de hierro fundido, de acuerdo con la Metodología de OPS. Para aplicarla a otros tipos de tubería, se deberá aplicar el valor de corrección correspondiente por tipo de material según la tabla No. 5.7.

Tabla No. 5.6. Índice Básico de Daños para Tuberías de Hierro Fundido.

Intensidad de Mercalli	IBD (Fallas/Km.) FAS < 2	IBD (Fallas/Km.) 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	30.00

Tabla No. 5.7. Factor de Corrección por Tipo de Material. (FCM)

Material	FCM
Hierro Dúctil (AD)	0.25
Hierro Fundido (HF)	1.00
Cloruro de Polivinilo (PVC)	1.50
Asbesto Cemento (AC)	2.60
Concreto Reforzado (CCP Y PCCP)	2.60

FUENTE: Estudio de Consultoría Colombiana

5.4.1 FACTORES DE CORRECCIÓN PARA EL EFECTO SÍSMICO SEGÚN LA EDAD.

Según la experiencia presentada en los daños de tubería a nivel internacional, se deduce que el estado general de las tuberías o años de servicio (edad de la tubería) influye en el comportamiento de la resistencia en un evento sísmico, y se estima - de acuerdo con la OPS -, que los valores de corrección van aumentando a medida que aumenta la edad de la tubería. Así, en el caso del Sismo de la Ciudad de Limón se consideró, para tuberías en mal estado un incremento hasta en un 50% y si el estado de la tubería era regular este porcentaje no sobrepasaba el 25%; con base en lo anterior, para nuestro caso, se establecieron los siguientes rangos de los factores de corrección por edad, los cuales corresponden con los utilizados en la estimación del valor de la Priorización de la Red Matriz:

Edad de Tubería	Factor de Corrección
▪ Tubería Muy Nueva, entre 0 – 15 años de operación.	1.000
▪ Tubería Nueva, entre 15 – 25 años de operación.	1.125
▪ Tubería Moderada, entre 25 – 35 años de operación.	1.250
▪ Tubería Vieja, entre 35 – 45 años de operación.	1.375
▪ Tubería Muy Vieja, mayor de 45 años de operación.	1.500

5.4.2 FACTORES DE CORRECCIÓN PARA EL EFECTO SÍSMICO SEGÚN EL DIÁMETRO.

En diferentes Estudios en donde se analiza el efecto sísmico, en sistemas de tuberías, se llega a la conclusión de que entre menor es el diámetro de la tubería, es mayor el daño que se produce por efecto sísmico; dicho de otra manera, entre mayor es el diámetro, existe menor probabilidad de rupturas por kilómetro.

En la metodología presentada por la OPS, en el caso del Sismo de la ciudad de Limón en Costa Rica, la red de acueducto en general estaba compuesta por tuberías con diámetro entre 3" y 12" y en algunos tramos se llegaba hasta 20". Por esta razón, el Estudio

propone que cuando se vaya a asignar el valor de corrección por diámetro, se tuviera en cuenta lo siguiente: " Para tuberías con diámetros menores o iguales a 75 mm, puede aplicarse un factor de aumento de hasta 50%, diámetros entre 75mm y 200mm, se puede incrementar hasta un 25% y para tuberías con diámetro en exceso a 200 mm no es preciso incrementar los valores dados".

Por otra parte, en el Estudio de redes de acueducto consignado en el ATC-13, manifiesta y es consecuente con el anterior criterio presentando los valores de reducción de rupturas/km, según el aumento en el diámetro de la tubería, para diferentes zonas sometidas a eventos sísmicos.

Para la Ciudad de Bogotá, en donde la red matriz está compuesta por tuberías desde las 16" de diámetro hasta 78"; se hace evidente, que se estipule un factor de reducción del número de rupturas/km, debido a los diámetros existentes, respecto a los valores relacionados en la metodología de la OPS (caso sismo Ciudad de Limón).

Para encontrar los factores de reducción, se tomaron en cuenta los datos presentados en el Estudio del ATC-13, y con base en el comportamiento de disminución de fallas para diferentes Ciudades (Tangshan, Tianjin y Yinkou), se proponen los valores de corrección por diámetro mostrados en la tabla 5.8, los cuales son una primera aproximación dado que se tiene poca información al respecto.

La tendencia de daño en rupturas por kilómetro, respecto al diámetro de la tubería para las tres Ciudades, se comporta de una manera decreciente, de forma parabólica y de tipo semejante entre sí, siendo las de Tianjing y Yinkou curvas que involucran diámetros pequeños, mientras que la de Tangshan, contempla diámetros desde 150 mm hasta 600mm, por lo que se utilizarán los datos reportados de esta Ciudad, para obtener la proyección para diámetros mayores, y así definir los valores respectivos de corrección para diámetros hasta de 78".

Tabla No. 5.8. Valores de Corrección por diámetro.

LOCALIZACIÓN SISMO	Diámetro Tubería (mm)	Daño Rupturas/km.	Factor de Corrección por Diámetro respecto a tubería de 300 mm	Factor de Corrección por Diámetro respecto a tubería de 500 mm
Tangshan (China) 1976	150.00	5.23		
	300.00	4.63		
	600.00	1.89		
				Corrección propuesta
	600.00	1.89	0.408	0.675
	762.00	1.00	0.216	0.357
	914.40	0.70	0.151	0.250
	1066.80	0.55	0.119	0.196
	1219.20	0.47	0.102	0.168
	1524.00	0.37	0.080	0.132
	1981.20	0.30	0.065	0.107

Tianjin (China)	50.00	1.13		
	75.00	0.20		
	600.00	0.04		

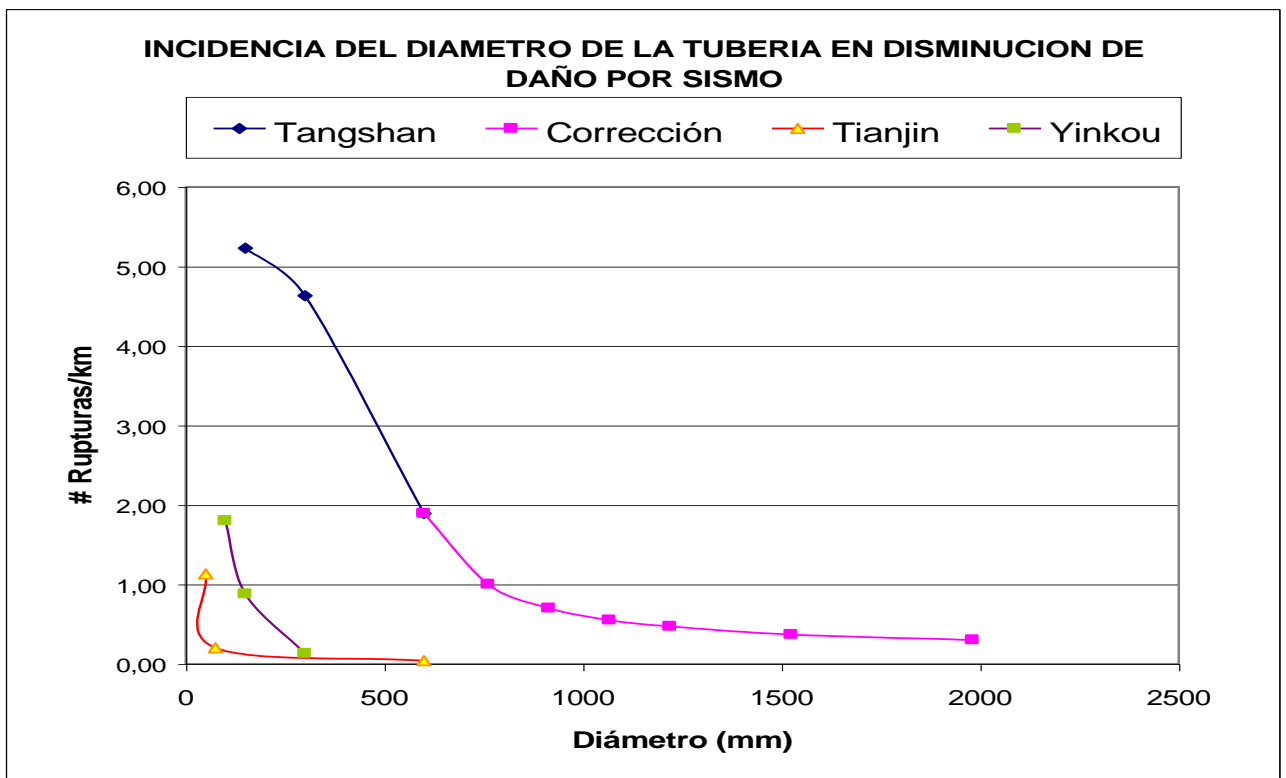
Yinkou (China)	100.00	1.80		
	150.00	0.88		
	300.00	0.13		

Analizando el comportamiento de la disminución de las fallas/km, para diferentes diámetros, se nota que no tiene un comportamiento uniforme, sino que está compuesta por dos zonas claramente definidas, la primera, para diámetros pequeños (hasta más o menos 16”), de tendencia casi recta y la segunda, (para diámetros mayores de 24”), de

tendencia de tipo parabólico descendente. (Ver Figura 5.3). Por lo que para establecer los valores de corrección, se tuvo en cuenta el anterior comportamiento y se definió una metodología para diámetros de 16" y 20"; y otra metodología para diámetros mayores o iguales a 24".

En el primer caso, se corrigió con base en la proporción directa entre el valor de fallas/km, para tubería de 16" contra el valor de fallas para tubería de 8", dando un valor de 0.76. Para diámetros de 24" en adelante, se corrigió teniendo como base las fallas/km, de una tubería de 20", respecto a cada una de las fallas de las diferentes tuberías. Adicionalmente, en la siguiente gráfica se muestra la tendencia de la reducción del número de rupturas/km, en función del diámetro.

Figura No. 5.2. Disminución de Daños en Función del Diámetro de acuerdo al Sismo.



5.5 COMENTARIOS PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.

La Metodología planteada para el análisis sísmico de las tuberías, establece un resultado final, para diferentes escenarios sísmicos (sismo fuerte en la falla frontal, sismo moderado en la falla frontal y sismo lejano), medido en rupturas por kilómetro.

Estos valores, son un buen índice o medida para asignar el valor correspondiente al grado de vulnerabilidad que tiene la tubería, para cualquiera de éstos eventos.

Realizando un Análisis de Frecuencias, para los tres tipos de sismo, se definen cinco (5) rangos de vulnerabilidad sísmica, los cuales están asociados a rangos de fallas/km:

1. Muy Alta
2. Alta
3. Media
4. Baja
5. Muy Baja

Analizando el evento de un sismo fuerte en la falla frontal, se aprecia que el rango en que oscilan las fallas/km, está entre 0.045 y 11.07 fallas/km, y teniendo en cuenta la frecuencia en que ocurre el número de fallas para cada tramo de línea, se establece la respectiva probabilidad de ocurrencia acumulada y en consecuencia, se define que para probabilidades de 0.89 o mayores, la Vulnerabilidad es de tipo Muy Alto, correspondiendo a 7.0 o más fallas/km.

De tal forma, para diferentes valores de probabilidades, se definieron las correspondientes fallas/km. y sus valores de Vulnerabilidad.

La Vulnerabilidad Muy Alta, se encuentra definida para valores mayores o iguales a 7.0 fallas/km, la Vulnerabilidad Alta, está entre 3.0 fallas/km y menor que 7.0 fallas/km, la Vulnerabilidad Media, está entre 1.0 fallas/km y menor que 3.0 fallas/km., la

Vulnerabilidad Baja, está entre 0.15 fallas/km y menor que 1.0 fallas/km y la Vulnerabilidad Muy Baja está para valores menores de 0.15 fallas/km.

Estos valores se definieron, teniendo en cuenta los resultados de rupturas/km que se obtuvieron para los tres diferentes tipos de intensidad sísmica; los cuales permitieron valorar el grado de afectación o sensibilidad para sismos fuertes, moderados y lejanos.

Toda esta información se encuentra consignada en los cuadros que se presentan en el Anexo 15 de este documento, en donde se relaciona el tipo de tramo de cada línea, para los diferentes eventos sísmicos y su calificación correspondiente a las fallas/km. En la Tabla 5.9 se presenta el resumen del análisis de vulnerabilidad sísmica para cada uno de los eventos sísmicos de acuerdo con el análisis de frecuencias que se realizó, tabla que además se basa en los datos que se presentan en el anexo 15. De otra parte, todo el Modelo Sísmico está implementado en el SIG; de tal manera, que se puedan generar los mapas y cuadros de Vulnerabilidad Sísmica de forma dinámica y visual.

En los planos JR-052-EST-003-E, JR-052-EST-004-E y JR-052-EST-005-E del anexo 12, se presentan los daños esperados en la red matriz de acueducto para sismo fuerte en la falla frontal, moderado en la falla frontal y lejano respectivamente.

Tabla No. 5.9. Resumen del Análisis de Vulnerabilidad Sísmica

Tabla No. 5.9. Resumen del Análisis de Vulnerabilidad Sísmica

Tabla No. 5.9. Resumen del Análisis de Vulnerabilidad Sísmica



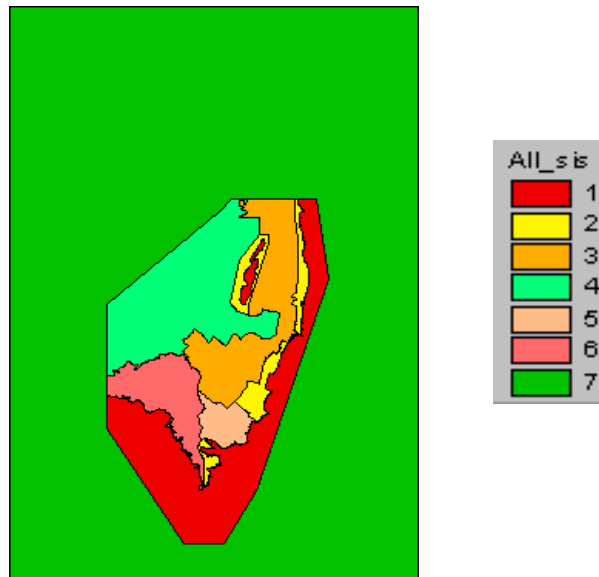
5.6 AYUDA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA

Siguiendo el diagrama de flujo correspondiente a la evaluación de la amenaza sísmica formulado, de acuerdo con la metodología de la OPS. A continuación se detallan las actividades ejecutadas a través del sistema de información geográfica SIG, para la evaluación de la amenaza sísmica.

5.6.1 VERIFICACIÓN PLANO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

Se verificó el plano de microzonificación sísmica del DEPAE, el cual fue incorporarlo al SIG, en la Figura No. 5.3 se observa el plano.

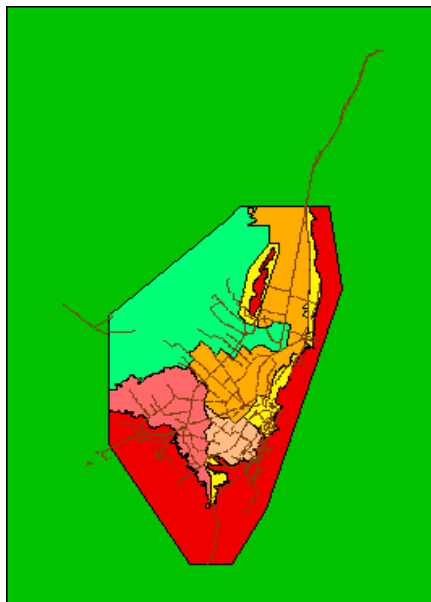
Figura No. 5.3. Plano de Microzonificación Sísmica y Cuadro de Convenciones por Zonas



5.6.2 CRUCE COBERTURA RED MATRIZ ACUEDUCTO CON PLANO MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

La cobertura de red matriz existente (Resige.shp) se cruza con el plano de microzonificación sísmica incorporado dentro del SIG, asignando a cada tramo el nombre del polígono sobre el cual se ubica.

Figura No. 5.4. Cobertura red Matriz sobre Mapa Microzonificación Sísmica y vista tabla de atributos



<i>Resige</i>	<i>Codlin</i>	<i>Zona sísm</i>
250	RD324018	3
251	STF2016133	4
252	RD324018	3
253	STF2016133	4
254	STF20126	2
255	RM78001	3
256	STF2016133	4
257	STF2016133	4

5.6.3 ASIGNACIÓN DE VALORES DE ACELERACIÓN Y INTENSIDAD

Se tomaron los valores de aceleración y intensidad para los sismos, cercano fuerte, cercano moderado y lejano del estudio de Microzonificación y se asignaron a cada tramo de acuerdo a su ubicación dentro del mapa de Microzonificación sísmica. Los nombres de los campos en la tabla de atributos son:

Aceleración: Scf (sismo fuerte en la falla frontal), Scm (sismo moderado en la falla frontal) y Sl (sismo lejano).

Intensidad: Mscf, Mscm y Msl

Figura No. 5.5. Vista Tabla Atributos con Valores de Aceleración y Intensidad Asignados a cada Tramo

<i>Resize</i>	<i>Codlin</i>	<i>Zona_sis</i>	<i>Scf</i>	<i>Mscf</i>	<i>Mscf_n</i>	<i>Scm</i>	<i>Mscm</i>	<i>Mscm_n</i>	<i>Sl</i>	<i>Msl</i>	<i>Msl_n</i>
250	RD324018	3	0.250	IX	9	0.150	VIII	8	0.048	VII	7
251	STF2016133	4	0.160	VIII	8	0.100	VII	7	0.030	VI	6
252	RD324018	3	0.250	IX	9	0.150	VIII	8	0.048	VII	7
253	STF2016133	4	0.160	VIII	8	0.100	VII	7	0.030	VI	6
254	STF20126	2	0.300	IX	9	0.180	VIII	8	0.057	VII	7
255	RM78001	3	0.250	IX	9	0.150	VIII	8	0.048	VII	7
256	STF2016133	4	0.160	VIII	8	0.100	VII	7	0.030	VI	6
257	STF2016133	4	0.160	VIII	8	0.100	VII	7	0.030	VI	6
258	STF2016133	4	0.160	VIII	8	0.100	VII	7	0.030	VI	6
259	STF2016133	4	0.160	VIII	8	0.100	VII	7	0.030	VI	6
260	CC9003	3	0.250	IX	9	0.150	VIII	8	0.048	VII	7

5.6.4 DEFINICIÓN DE PLANO GEOTÉCNICO

Se definió el plano de geotécnica para las zonas plana y montañosa a partir de los planos del Departamento de Prevención y Atención de Emergencias (DPAE) e INGEOMINAS, para incorporarlo al SIG, en la Figura No. 5.6 se observa el plano.

5.6.5 CRUCE COBERTURA RED MATRIZ ACUEDUCTO CON PLANO GEOTÉCNICO

La cobertura de red matriz existente (Resige.shp) se cruzó con el plano geotécnico incorporado dentro del SIG, asignando a cada tramo el nombre del polígono sobre el cual se ubica.

Figura No. 5.6. Plano de Geotécnia Definido para las Zonas Plana y Montañosa

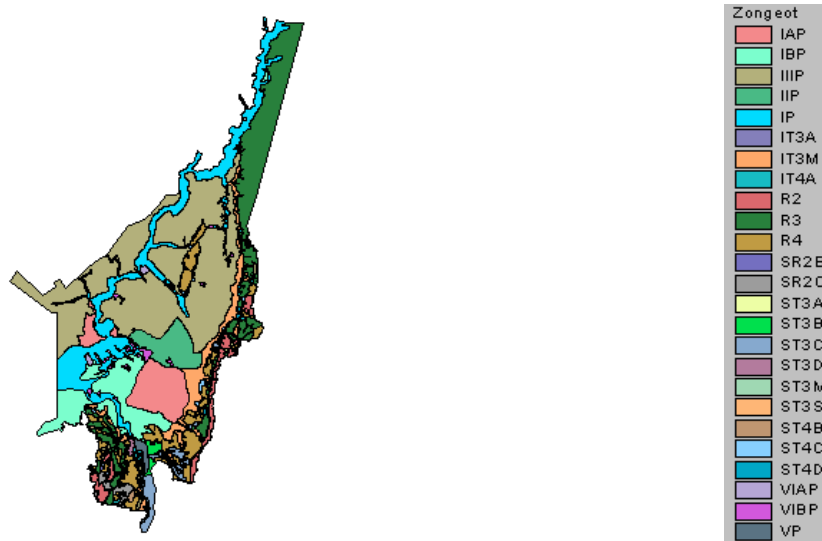
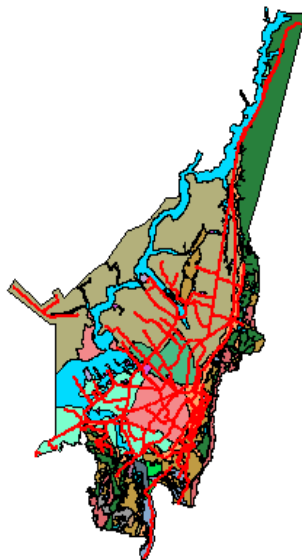


Figura No. 5.7. Cobertura Red Matriz sobre Mapa Geotécnico y Vista Tabla de Atributos



<i>Resiga_</i>	<i>Codlin</i>	<i>Zongeot</i>
31	RM78001	R3
32	RM78001	R3
33	CC9003	R3
34	RM78001	R3
35	CC9003	IP
36	RM78001	R3
37	CC9003	IP
38	RM78001	R3
39	CC9003	R3
40	RM78001	R3
41	RM78001	R3

5.6.6 UBICACIÓN DEL TRAMO DE ACUERDO A ZONA Y SITIO Y ASIGNACIÓN VALOR DE FAS

De acuerdo con la metodología de la OPS, para la evaluación de la amenaza se usan tres factores que tienen en cuenta las condiciones geotécnicas. Estos tres factores son el FTPS, el FLPS y el FDPS. El factor FTPS tiene en cuenta el tipo de perfil de suelo, el factor FLPS tiene en cuenta la amenaza por potencial de licuación y el factor FDPS tiene en cuenta la susceptibilidad a las deformaciones permanentes.

Los valores de los factores fueron asignados a cada tramo de acuerdo a su ubicación dentro del mapa geotécnico. Siguiendo este procedimiento, el factor de amenaza sísmica (FAS) de la zona considerada es obtenido mediante el producto: $(FAS) = (FTPS) * (FLPS) * (FDPS)$. En la figura No. 5.8 se observa una vista de la tabla de atributos con dichos factores asignados y el FAS calculado.

Figura No. 5.8. Factores FTPS, FLPS y FDPS Asignados y FAS Calculado

Resize	Codlin	Zongeot	Ftps	Flps	Fdps	Fas
31	RM78001	R3	1.00	1.00	1.00	1.00
32	RM78001	R3	1.00	1.00	1.00	1.00
33	CC9003	R3	1.00	1.00	1.00	1.00
34	RM78001	R3	1.00	1.00	1.00	1.00
35	CC9003	IP	2.00	2.00	2.00	8.00
36	RM78001	R3	1.00	1.00	1.00	1.00
37	CC9003	IP	2.00	2.00	2.00	8.00
38	RM78001	R3	1.00	1.00	1.00	1.00
39	CC9003	R3	1.00	1.00	1.00	1.00
40	RM78001	R3	1.00	1.00	1.00	1.00
41	RM78001	R3	1.00	1.00	1.00	1.00

5.6.7 DEFINICIÓN DEL RANGO DE AMENAZA SÍSMICA

Esta actividad fue realizada según el procedimiento de la OPS, se considera la amenaza sísmica baja si el $FAS < 2.0$, moderada si $2.0 \leq FAS \leq 4.0$ y alta si $FAS > 4.0$.

5.6.8 CÁLCULO DEL ÍNDICE BÁSICO DE DAÑO (IBD)

Se utilizó la tabla 7.20 de Consultoría Colombiana para encontrar el índice básico de daños (IBD) en función de la intensidad de Mercalli y el FAS. En la figura No. 5.9 se observa una vista de la tabla de atributos con el IBD calculado para las hipótesis de sismo fuerte en la falla frontal, cercano moderado y lejano.

Figura No. 5.9. Índice Básico de Daños (IBD) para Sismos Fuerte en la falla frontal, Moderado en la falla frontal y Lejano

<i>Faseja</i>	<i>Codificación</i>	<i>Ibd_scf</i>	<i>Ibd_scm</i>	<i>Ibd_sl</i>
31	RM78001	0.3500	0.1500	0.0015
32	RM78001	0.3500	0.1500	0.0015
33	CC9003	0.3500	0.1500	0.0015
34	RM78001	0.3500	0.1500	0.0015
35	CC9003	4.0000	0.5500	0.0100
36	RM78001	0.3500	0.1500	0.0015
37	CC9003	4.0000	0.5500	0.0100
38	RM78001	0.3500	0.1500	0.0015
39	CC9003	0.3500	0.1500	0.0015
40	RM78001	0.3500	0.1500	0.0015
41	RM78001	0.3500	0.1500	0.0015

5.6.9 DEFINICIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN POR TIPO DE MATERIAL (FCM)

Inicialmente se utilizaron los factores de corrección por tipo de material correspondientes a la tabla 7.21 del informe de Consultoría Colombiana, posteriormente se confirmó definitivamente el valor para la tubería de CCP. En la figura No. 5.10 se observa una vista de la tabla de atributos con el valor para el factor de corrección por material asignado a cada tramo.

5.6.10 DEFINICIÓN OTROS FACTORES DE CORRECCIÓN (FCE Y FCD)

Los factores de corrección por edad y diámetro fueron definidos y en la figura No. 5.11 se observa una vista de la tabla de atributos con los valores para los factores de corrección por edad y diámetro asignados a cada tramo.

Figura No. 5.10. Factor de Corrección por Material (FCM) Asignado a cada Tramo

<i>Resize</i>	<i>Codlin</i>	<i>Fcm</i>
501	BIV7860077	0.25
502	CC9003	2.60
503	BIV7860077	0.25
504	BIV36084	2.60
505	RM78001	2.60
506	BIV36084	2.60
507	BIV36084	2.60
508	BIV36084	2.60
509	BIV7860077	0.25
510	BIV36084	2.60
511	BIV7860077	0.25

Figura No. 5.11. Factores de Corrección por Edad (FCE) y Diámetro (FCD) Asignados a cada Tramo

<i>Resize</i>	<i>Codlin</i>	<i>Fce</i>	<i>Fcd</i>
591	RD4A24021	1.250	0.68
592	RD3124044	1.125	0.68
593	RM78001	1.250	0.11
594	BIV60092	1.000	0.13
595	BIV60092	1.000	0.13
596	BIV60092	1.000	0.13
597	BIV60092	1.000	0.13
598	CC9003	1.375	0.13
599	BIV60092	1.000	0.13
600	BIV60092	1.000	0.13
601	RM78001	1.250	0.11

5.6.11 CÁLCULO DEL VALOR DEFINITIVO DEL ÍNDICE BÁSICO DE DAÑO (IBD)

El valor definitivo del índice básico de daño se calculó a partir del IBD sin corregir, multiplicado por el factor de corrección por material (FCM), por el factor de corrección por edad (FCE) y por el factor de corrección por diámetro (FCD). En la figura No. 5.12 se observa una vista de la tabla de atributos con el valor definitivo del IBD asignado a cada tramo y para cada hipótesis de sismo.

Figura No. 5.12. Valor Definitivo del IBD para cada Hipótesis de Sismo

<i>Fesige</i>	<i>Codlin</i>	<i>T_ibd_scf</i>	<i>T_ibd_scm</i>	<i>T_ibd_sl</i>
591	RD4A24021	1.2155	0.1989	0.0221
592	RD3124044	0.6962	0.2984	0.0298
593	RM78001	0.1251	0.0536	0.0054
594	BIV60092	0.1300	0.0179	0.0029
595	BIV60092	0.0114	0.0049	0.0005
596	BIV60092	0.0114	0.0049	0.0005
597	BIV60092	0.1300	0.0179	0.0029
598	CC9003	1.8590	0.2556	0.0418
599	BIV60092	0.0114	0.0049	0.0005
600	BIV60092	0.0114	0.0049	0.0005
601	RM78001	0.1251	0.0536	0.0054

5.6.12 CÁLCULO DEL NÚMERO DE FALLAS

A partir del IBD total (Figura No. 5.12) y la longitud, para cada tramo se calculó el número de fallas, que es igual al IBD total por la longitud respectiva del tramo. En la figura No. 5.13 se observa una vista de la tabla de atributos con el valor calculado del número de fallas asignado a cada tramo y para cada hipótesis de sismo.

Figura No. 5.13. Valores de Número de Fallas Asignados a cada Tramo y para cada Hipótesis de Sismo

<i>Fesige</i>	<i>Codlin</i>	<i>Nfallk_scf</i>	<i>Nfallk_scm</i>	<i>Nfallk_sl</i>
591	RD4A24021	0.0222	0.0036	0.0004
592	RD3124044	0.0073	0.0031	0.0003
593	RM78001	0.0270	0.0116	0.0012
594	BIV60092	0.0123	0.0017	0.0003
595	BIV60092	0.0000	0.0000	0.0000
596	BIV60092	0.0001	0.0001	0.0000
597	BIV60092	0.0866	0.0119	0.0019
598	CC9003	0.3855	0.0530	0.0087
599	BIV60092	0.0003	0.0001	0.0000
600	BIV60092	0.0001	0.0000	0.0000
601	RM78001	0.0015	0.0006	0.0001

Sumando estos valores para cada línea se obtuvo el valor de fallas totales por línea.

5.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.7.1 MEDIDAS DE CONTROL Y MITIGACION

En las zonas de amenaza sísmica alta donde se presente amenaza por licuación o deformación permanente de suelos se recomienda lo siguiente:

- Efectuar inspecciones de las redes después de la ocurrencia de sismos, por medio de la inspección de las juntas y la detección de fugas en la red.
- En caso de que se presenten daños asociados al evento de sismo, se recomienda utilizar juntas flexibles en las zonas de afectación.
- En los pasos especiales a lo largo de las rondas de los ríos Tunjuelito, Bogotá y Humedal del Teusacá, se recomienda efectuar estudios detallados con el fin de establecer el diseño de obras de infraestructura para prevenir daños en la tubería por el evento de sismo.

Otros sectores que pueden generar daños en la Red Matriz de Distribución, corresponden a aquellas zonas donde se presenta cambios bruscos de materiales. En estos sectores se pueden presentar efectos locales de amplificación o deamplificación de ondas sísmicas, además de presentarse concentración de cargas en tuberías continuas o desempates en tuberías discontinuas del tipo espigo y campana. Con base en el estudio presentado por la Universidad de los Andes (Luis Yamin y otros) sobre efectos locales de amplificación de onda en la ciudad de Bogotá, se presenta un efecto importante de amplificación de onda en las zonas de transición de suelo-roca donde se presentan factores de impedancia altos del orden de 5 a 10 que pueden amplificar el efecto de onda en más de dos (2) veces. Aplicando este criterio, se han identificado los sectores de la red matriz que pueden verse afectados por dicho efecto (Ver Esquema 5.1). En estos puntos, se recomienda implementar el uso de juntas flexibles, que tienen por objeto

absorber las posibles deformaciones, inducidas ante el evento del sismo, y así mismo prevenir daños potenciales sobre la tubería.

5.7.2 NORMAS PARA EL DISEÑO FUTURO

En las zonas susceptibles a licuación y deformación permanente del suelo se recomienda lo siguiente:

- Evadir en los trazados futuros, zonas de suelos blandos, no consolidados, calificados como zonas de amenaza sísmica alta en el presente estudio. De esta manera se reduce la probabilidad de daños en la red de distribución.
- En los pasos obligatorios correspondientes a las zonas bajas de los ríos Tunjuelito y Bogotá, se deben exigir estudios locales de amenaza sísmica con el diseño de las obras de infraestructura necesaria que garanticen la estabilidad de la tubería. Dependiendo de la intensidad del problema se deben implementar técnicas de mejoramiento de suelo de fundación o el uso cimentaciones profundas para transferir las cargas a estratos competentes y mitigar el efecto de deformaciones del suelo ante la ocurrencia de sismo.

En la zona plana con predominio de suelos blandos, se recomienda implementar el uso de tuberías flexibles de gran diámetro de tal manera que asimilen las deformaciones temporales o permanentes que se generen por la ocurrencia de sismos fuertes. En las zonas de transición de suelos duros a blandos se debe implementar el uso de juntas flexibles.

Evadir en los trazados futuros zonas inestables o catalogadas como zonas de amenaza alta a muy alta, en el mapa geotécnico de la zona montañosa de la ciudad de Bogotá o de estudios locales de cada sector. Normalmente en los sectores de mayor amenaza se encuentran chircales y canteras en proceso de explotación o ya abandonadas; aunque los problemas de estabilidad de estos sectores están principalmente asociados a factores

antrópicos, pueden llegar a tener un grado de susceptibilidad importante ante la ocurrencia de sismos.

En las zonas clasificadas como amenaza geotécnica media en el mapa geotécnico de la zona montañosa de la ciudad de Bogotá se deben efectuar los estudios geotécnicos detallados de los corredores, con el fin de identificar puntos con problemas activos y potenciales que se detecten a lo largo del trazado, y diseñar las obras geotécnicas para su prevención y control en caso necesario.

*Esquema 5.1. Localización de Juntas mecánicas flexibles sobre la red matriz de
distribución*

TABLA DE CONTENIDO

5. ANÁLISIS SÍSMICO	5-1
5.1 METODOLOGÍA SÍSMICA.....	5-1
5.2 FACTORES SÍSMICOS Y GEOTÉCNICOS.....	5-5
5.2.1 SELECCIÓN DE LOS VALORES DE INTENSIDAD Y DE ACELERACIÓN SÍSMICA: ..	5-5
5.2.2 SELECCIÓN DE VARIABLES GEOTÉCNICAS PARA AMENAZA SÍSMICA.....	5-7
5.3 GRADO DE AMENAZA DEL SISTEMA	5-10
5.4 INDICE BASICO DE DAÑOS. (IBD).....	5-16
5.4.1 FACTORES DE CORRECCIÓN PARA EL EFECTO SÍSMICO SEGÚN LA EDAD.	5-17
5.4.2 FACTORES DE CORRECCIÓN PARA EL EFECTO SÍSMICO SEGÚN EL DIÁMETRO.	5-17
5.5 COMENTARIOS PARA EL ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD.....	5-21
5.6 AYUDA DEL SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA PARA LA EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA	5-27
5.6.1 VERIFICACIÓN PLANO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	5-27
5.6.2 CRUCE COBERTURA RED MATRIZ ACUEDUCTO CON PLANO MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	5-28
5.6.3 ASIGNACIÓN DE VALORES DE ACELERACIÓN Y INTENSIDAD	5-28
5.6.4 DEFINICIÓN DE PLANO GEOTÉCNICO	5-29
5.6.5 CRUCE COBERTURA RED MATRIZ ACUEDUCTO CON PLANO GEOTÉCNICO	5-29
5.6.6 UBICACIÓN DEL TRAMO DE ACUERDO A ZONA Y SITIO Y ASIGNACIÓN VALOR DE FAS.....	5-31
5.6.7 DEFINICIÓN DEL RANGO DE AMENAZA SÍSMICA	5-31
5.6.8 CÁLCULO DEL ÍNDICE BÁSICO DE DAÑO (IBD).....	5-32
5.6.9 DEFINICIÓN DEL FACTOR DE CORRECCIÓN POR TIPO DE MATERIAL (FCM)	5-32
5.6.10 DEFINICIÓN OTROS FACTORES DE CORRECCIÓN (FCE Y FCD).....	5-32
5.6.11 CÁLCULO DEL VALOR DEFINITIVO DEL ÍNDICE BÁSICO DE DAÑO (IBD).....	5-33
5.6.12 CÁLCULO DEL NÚMERO DE FALLAS.....	5-34
5.7 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	5-35
5.7.1 MEDIDAS DE CONTROL Y MITIGACION	5-35
5.7.2 NORMAS PARA EL DISEÑO FUTURO	5-36
ANEXO 15. LISTADO GENERAL DE ANALISIS SISMICO	



INDICE DE TABLAS

<i>Tabla No. 5.1. Zonas diferenciadas para la selección de Valores de Intensidad y de Aceleración Sísmica de Bogotá.....</i>	<i>5-5</i>
<i>Tabla No. 5.2. Valores de Aceleración e Intensidad de Sismo, para los Diferentes Escenarios de Sismo Contemplados en el EMS</i>	<i>5-6</i>
<i>Tabla No. 5.3. Factores Geotécnicos Considerados dentro del Método de la OPS.....</i>	<i>5-8</i>
<i>Tabla No. 5.4. Resumen de los Factores de Amenaza Sísmica.</i>	<i>5-9</i>
<i>Tabla No. 5.5 Líneas o tramos con mayor amenaza sísmica</i>	<i>5-12</i>
<i>Tabla No. 5.6. Índice Básico de Daños para Tuberías de Hierro Fundido.</i>	<i>5-16</i>
<i>Tabla No. 5.7. Factor de Corrección por Tipo de Material. (FCM)</i>	<i>5-16</i>
<i>Tabla No. 5.8. Valores de Corrección por diámetro.</i>	<i>5-19</i>
<i>Tabla No. 5.9. Resumen del Análisis de Vulnerabilidad Sísmica</i>	<i>5-23</i>



INDICE DE FIGURAS

<i>Figura No. 5.1 Flujograma para Evaluación de Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad, Metodología de la Organización Panamericana de la Salud.</i>	<i>5-4</i>
<i>Figura No. 5.2. Disminución de Daños en Función del Diámetro de acuerdo al Sismo.</i>	<i>5-20</i>
<i>Figura No. 5.3. Plano de Microzonificación Sísmica y Cuadro de Convenciones por Zonas</i>	<i>5-27</i>
<i>Figura No. 5.4. Cobertura red Matriz sobre Mapa Microzonificación Sísmica y vista tabla de atributos</i>	<i>5-28</i>
<i>Figura No. 5.5. Vista Tabla Atributos con Valores de Aceleración y Intensidad Asignados a cada Tramo</i>	<i>5-29</i>
<i>Figura No. 5.6. Plano de Geotécnia Definido para las Zonas Plana y Montañosa.....</i>	<i>5-30</i>
<i>Figura No. 5.7. Cobertura Red Matriz sobre Mapa Geotécnico y Vista Tabla de Atributos</i>	<i>5-30</i>
<i>Figura No. 5.8. Factores FTPS, FLPS y FDPS Asignados y FAS Calculado</i>	<i>5-31</i>
<i>Figura No. 5.9. Índice Básico de Daños (IBD) para Sismos Fuerte en la falla frontal, Moderado en la falla frontal y Lejano</i>	<i>5-32</i>
<i>Figura No. 5.10. Factor de Corrección por Material (FCM) Asignado a cada Tramo ..</i>	<i>5-33</i>
<i>Figura No. 5.11. Factores de Corrección por Edad (FCE) y Diámetro (FCD) Asignados a cada Tramo</i>	<i>5-33</i>
<i>Figura No. 5.13. Valores de Número de Fallas Asignados a cada Tramo y para cada Hipótesis de Sismo</i>	<i>5-34</i>
<i>Esquema 5.1. Localización de Juntas mecánicas flexibles sobre la red matriz de distribución</i>	<i>5-38</i>