

7.5.2 Gráficas resultados de vulnerabilidad y escenarios de daño

En el “Anexo No 12: Gráficas con resultados de vulnerabilidad y estados de daño en tuberías de acueducto y alcantarillado para todos los escenarios”, existen ilustraciones que muestran la vulnerabilidad y el daño de los elementos expuestos, estudiados desde diferentes clasificaciones, las cuales se detallan en la siguiente tabla.

Tabla 67. Forma de presentación de gráficas para el análisis de vulnerabilidad en el Anexo No 12

Elemento	Información que muestra	Investigación de Vulnerabilidad	Clasificación de la información	T de retorno
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Acueducto ▪ Alcantarillado Sanitario ▪ Alcantarillado Pluvial 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Rata de Daño ▪ Cantidad de daño 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ ATC-25 ▪ ALA (2001) ▪ O'Rourke & Ayala (1993) ▪ Eidinger & Ávila (1999) ▪ Isoyama (2000) ▪ Japan Wasteworks Association (1998) ▪ JICA (2002) ▪ Eidinger – G & E Report (2001) 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zona Bogotá ▪ Diámetro ▪ Material ▪ Localidad ▪ Tipo de Tubería 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 50 años ▪ 100 años ▪ 200 años ▪ 475 años ▪ 1000 años

7.5.2.1 Sistemas de servicios

7.5.2.1.1 ALA (2001)

En el “Anexo No 12: Gráficas con resultados de vulnerabilidad y estados de daño en tuberías de acueducto y alcantarillado para todos los escenarios”, se muestran resultados de vulnerabilidad específicos para la referencia en mención. Para tuberías de acueducto en las páginas 9, 17, 25 por diámetro, localidad y material respectivamente. Para tuberías de alcantarillado pluvial en la página 41 por localidad. Para tuberías de alcantarillado sanitario en la página 58, también por localidad.

7.5.2.1.2 O'Rourke & Ayala (1993)

En el “Anexo No 12: Gráficas con resultados de vulnerabilidad y estados de daño en tuberías de acueducto y alcantarillado para todos los escenarios”, se muestran resultados de vulnerabilidad específicos para la referencia en mención. Para tuberías de acueducto en las páginas 10, 18, 26 por diámetro, localidad y material respectivamente. Para tuberías de alcantarillado pluvial en la página 42 por localidad. Para tuberías de alcantarillado sanitario en la página 59, también por localidad.

7.5.2.1.3 Eidinger & Ávila (1999).

En el “Anexo No 12: Gráficas con resultados de vulnerabilidad y estados de daño en tuberías de acueducto y alcantarillado para todos los escenarios”, se muestran resultados de vulnerabilidad específicos para la referencia en mención. Para tuberías de acueducto en las páginas 11, 19, 27 por diámetro, localidad y material respectivamente. Para tuberías de alcantarillado pluvial en la página 43 por localidad. Para tuberías de alcantarillado sanitario en la página 60, también por localidad.

7.5.2.1.4 Isoyama (2000).

En el “Anexo No 12: Gráficas con resultados de vulnerabilidad y estados de daño en tuberías de acueducto y alcantarillado para todos los escenarios”, se muestran resultados de vulnerabilidad específicos para la referencia en mención. Para tuberías de acueducto en las páginas 12, 20, 28 por diámetro, localidad y material respectivamente. Para tuberías de alcantarillado pluvial en la página 44 por localidad. Para tuberías de alcantarillado sanitario en la página 61, también por localidad.

7.5.2.1.5 Japan Waterworks Association (1998).

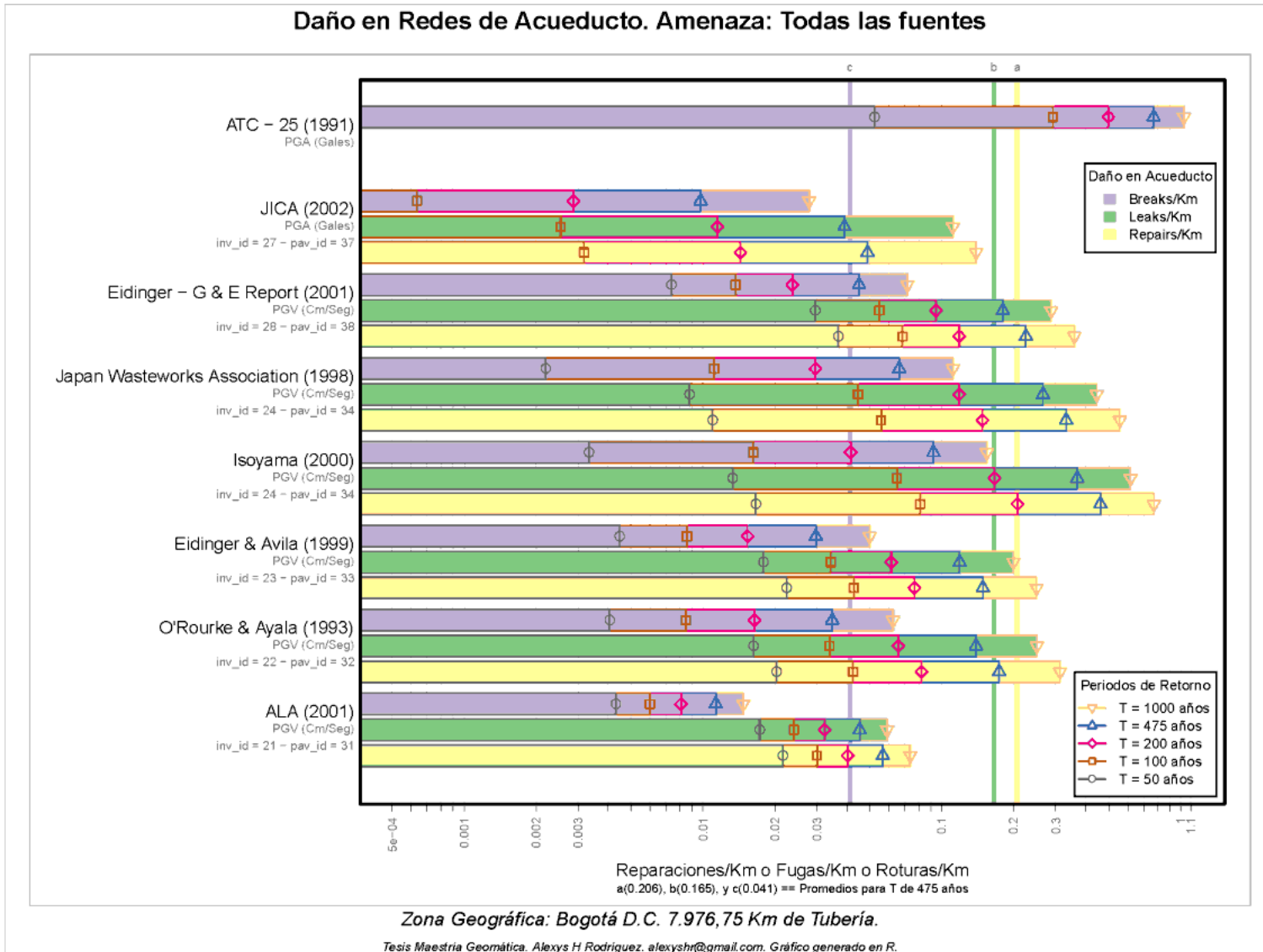
En el “Anexo No 12: Gráficas con resultados de vulnerabilidad y estados de daño en tuberías de acueducto y alcantarillado para todos los escenarios”, se muestran resultados de vulnerabilidad específicos para la referencia en mención. Para tuberías de acueducto en las páginas 13, 21, 29 por diámetro, localidad y material respectivamente. Para tuberías de alcantarillado pluvial en la página 45 por localidad. Para tuberías de alcantarillado sanitario en la página 62, también por localidad.

7.5.2.1.6 JICA (2002).

En el “Anexo No 12: Gráficas con resultados de vulnerabilidad y estados de daño en tuberías de acueducto y alcantarillado para todos los escenarios”, se muestran resultados de vulnerabilidad específicos para la referencia en mención. Para tuberías de acueducto en las páginas 14, 22, 30 por diámetro, localidad y material respectivamente. Para tuberías de alcantarillado pluvial en la página 46 por localidad. Para tuberías de alcantarillado sanitario en la página 63, también por localidad.

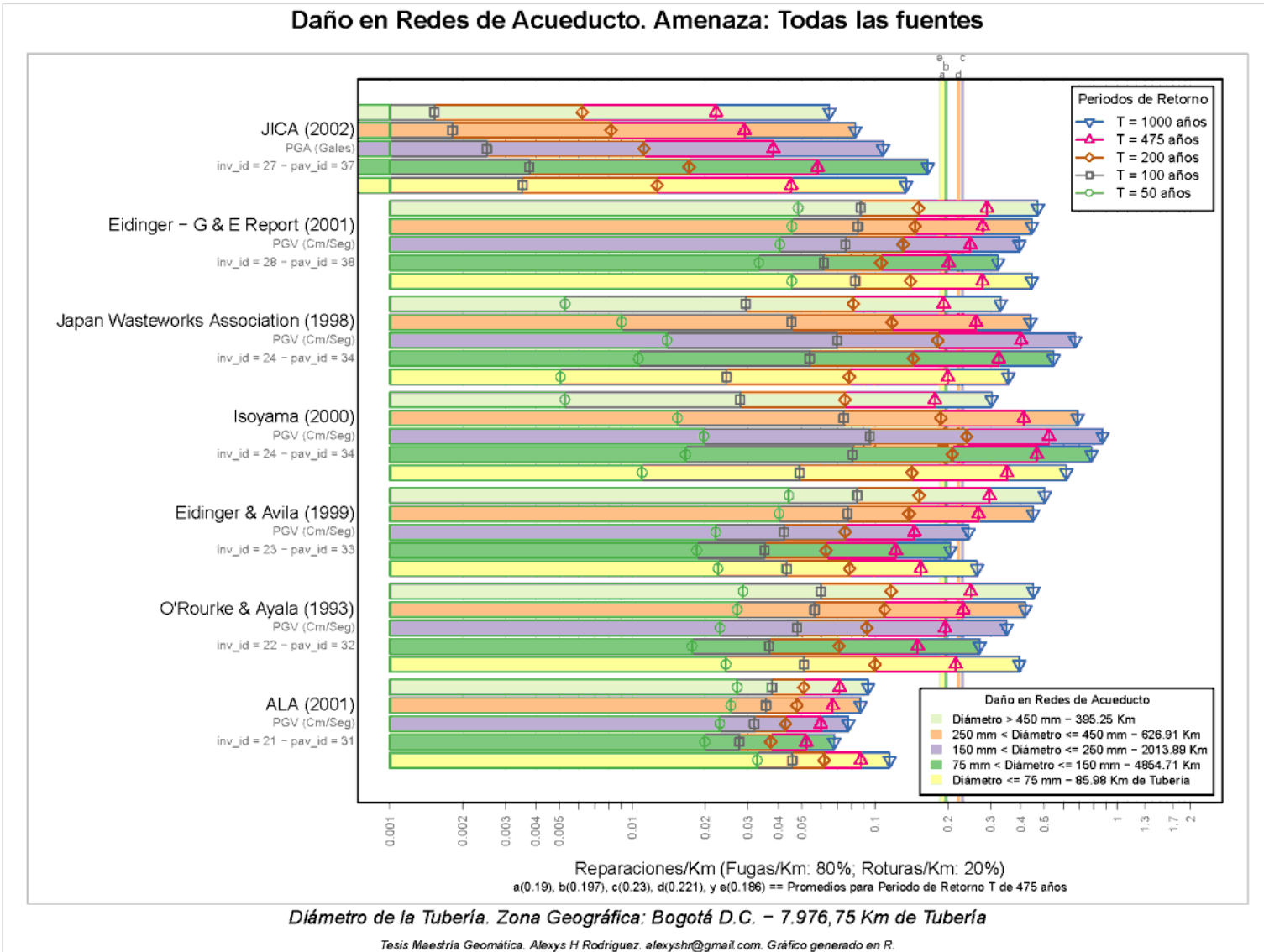
7.5.2.1.7 Eidinger – G & E Report (2001)

En el “Anexo No 12: Gráficas con resultados de vulnerabilidad y estados de daño en tuberías de acueducto y alcantarillado para todos los escenarios”, se muestran resultados de vulnerabilidad específicos para la referencia en mención. Para tuberías de acueducto en las páginas 15, 23, 31 por diámetro, localidad y material respectivamente. Para tuberías de alcantarillado pluvial en la página 47 por localidad. Para tuberías de alcantarillado sanitario en la página 64, también por localidad.



Fuente: Anexo No 12. Página 1.

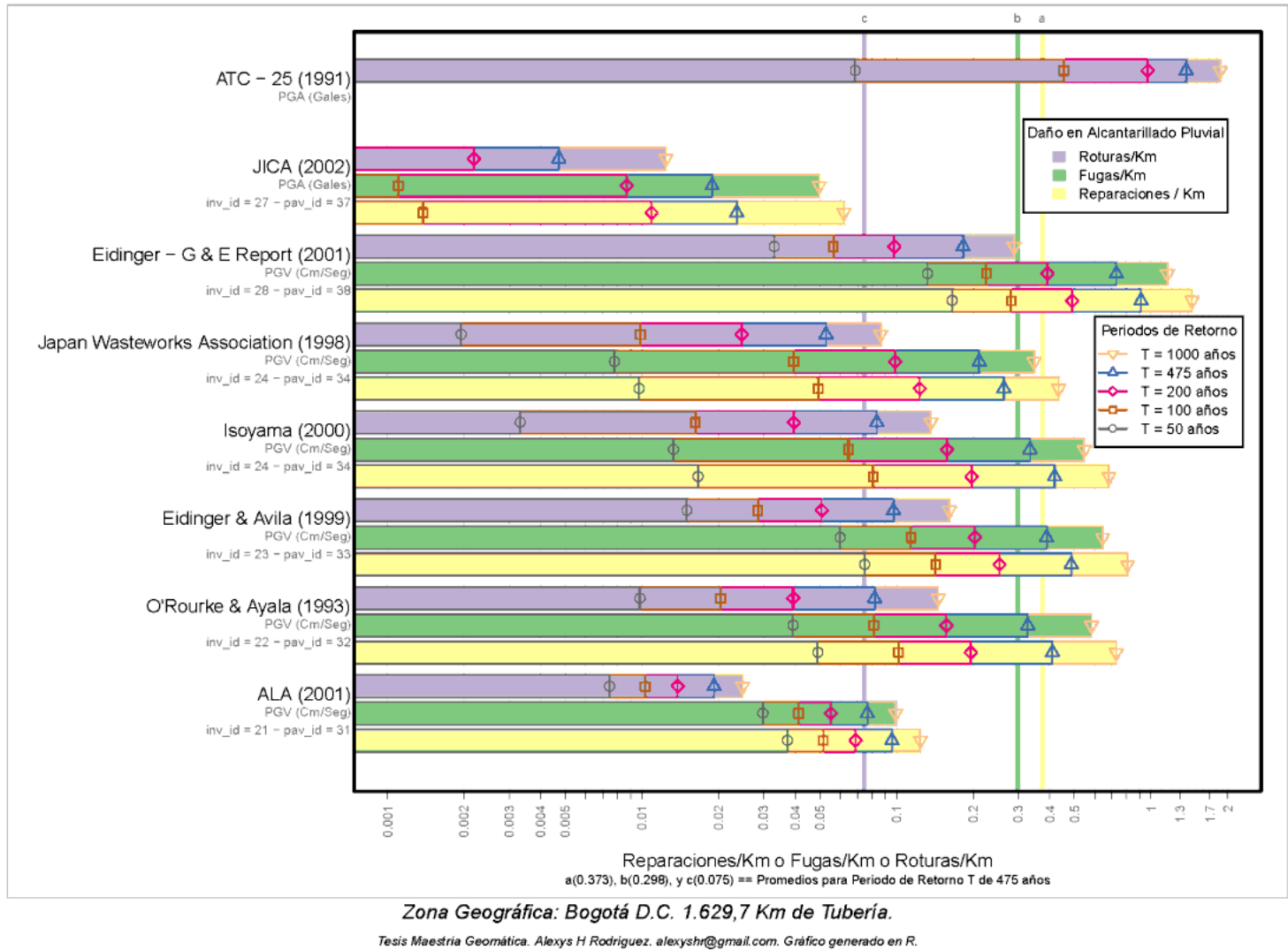
Figura 98. Resultado global tasa de daño para Bogotá. Todas las investigaciones de vulnerabilidad. Todos los periodos de retorno. Tubería de acueducto



Fuente: Anexo No 12. Página 5.

Figura 99. Resultado global tasa de daño para Bogotá por diámetros. Todas las investigaciones de vulnerabilidad. Todos los periodos de retorno. Tubería de acueducto.

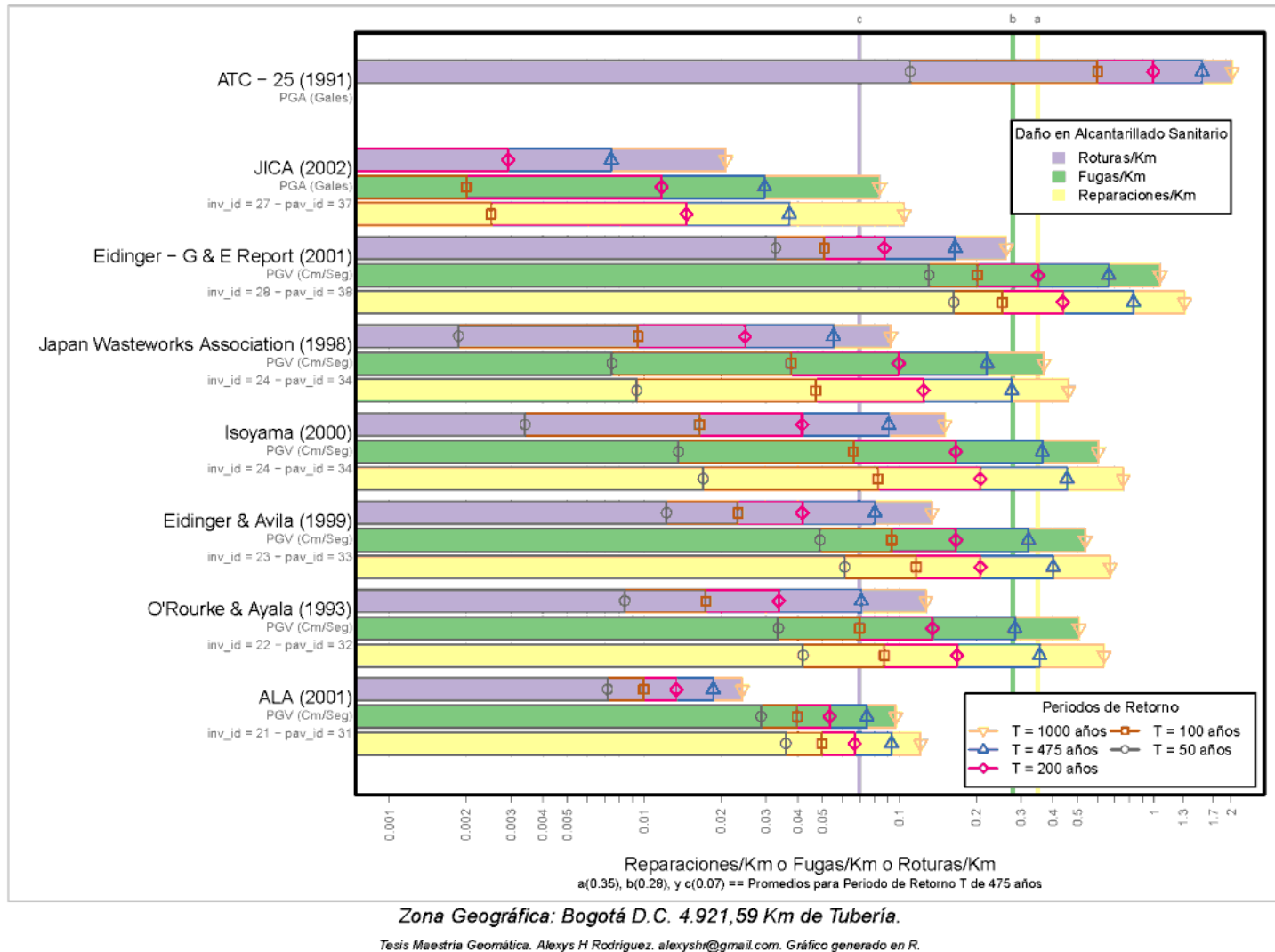
Daño en Redes de Alcantarillado Pluvial. Amenaza: Todas las fuentes



Fuente: Anexo No 12. Página 33.

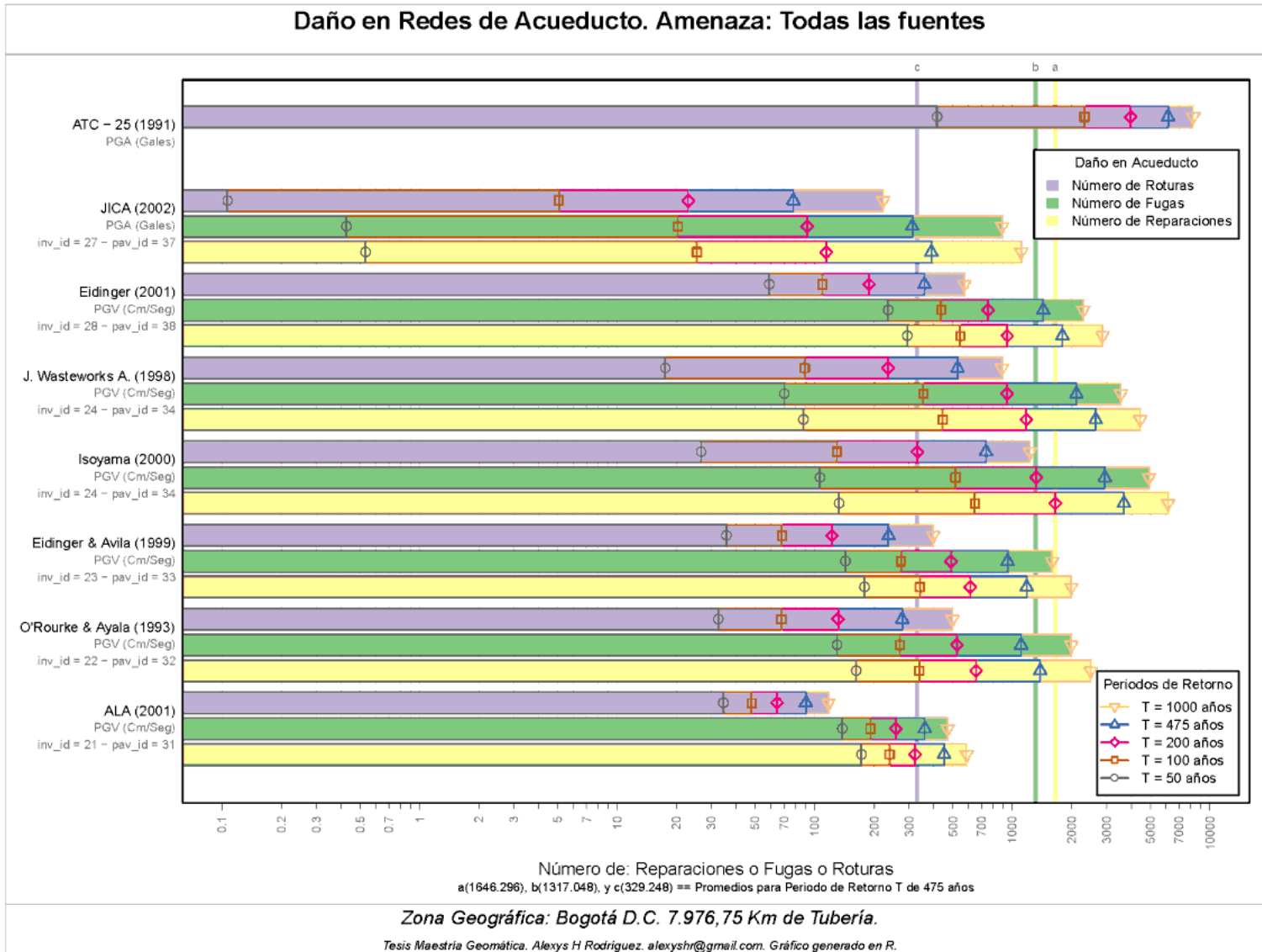
Figura 100. Resultado global tasa de daño para Bogotá. Todas las investigaciones de vulnerabilidad. Todos los periodos de retorno. Tubería de alcantarillado pluvial.

Daño en Redes de Alcantarillado Sanitario. Amenaza: Todas las fuentes



Fuente: Anexo No 12. Página 50.

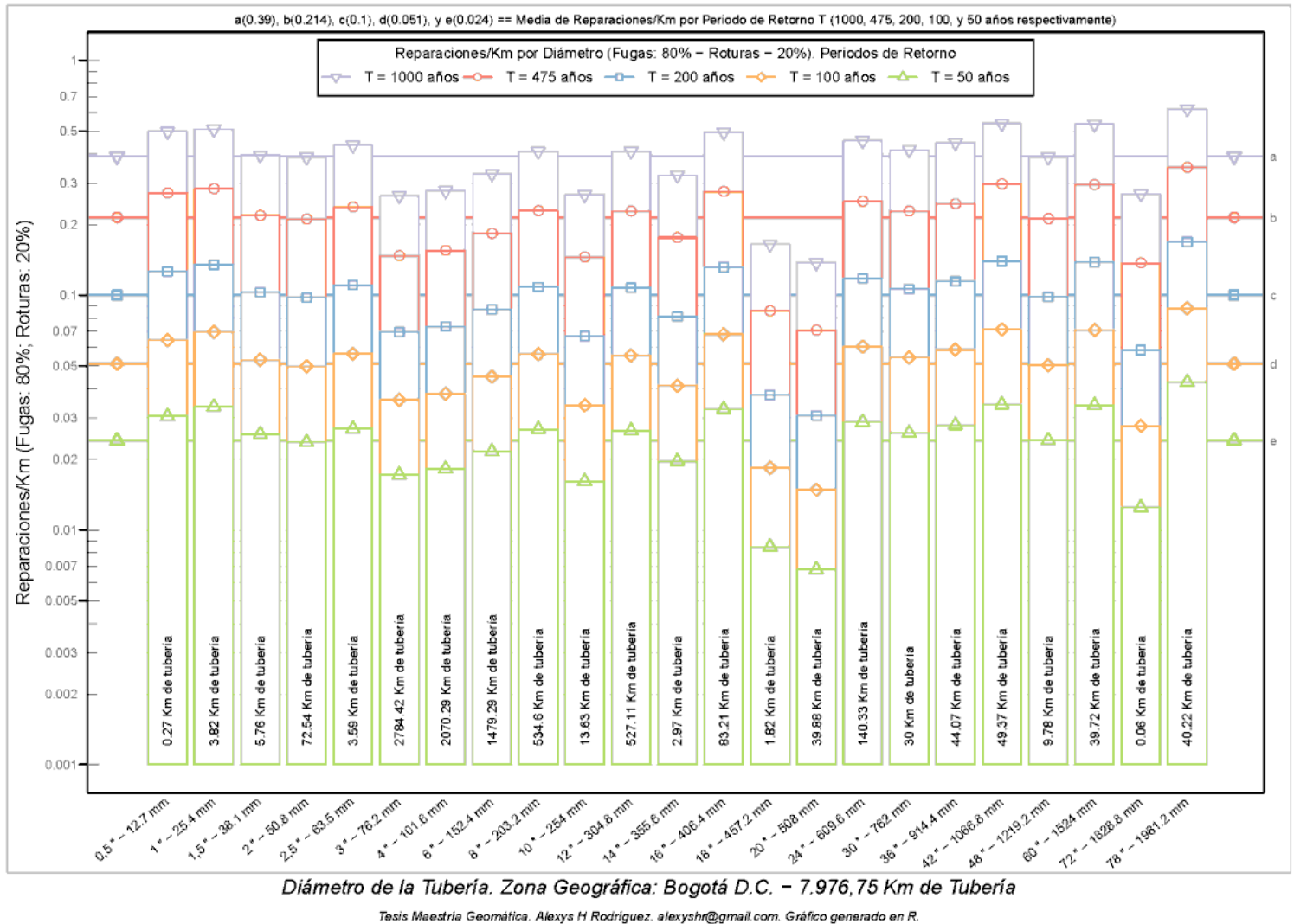
Figura 101. Resultado global tasa de daño para Bogotá. Todas las investigaciones de vulnerabilidad. Todos los periodos de retorno. Tubería de alcantarillado sanitario.



Fuente: Anexo No 12. Página 3.

Figura 102. Resultado global estado de daño para Bogotá. Todas las investigaciones de vulnerabilidad. Todos los periodos de retorno. Tubería de acueducto.

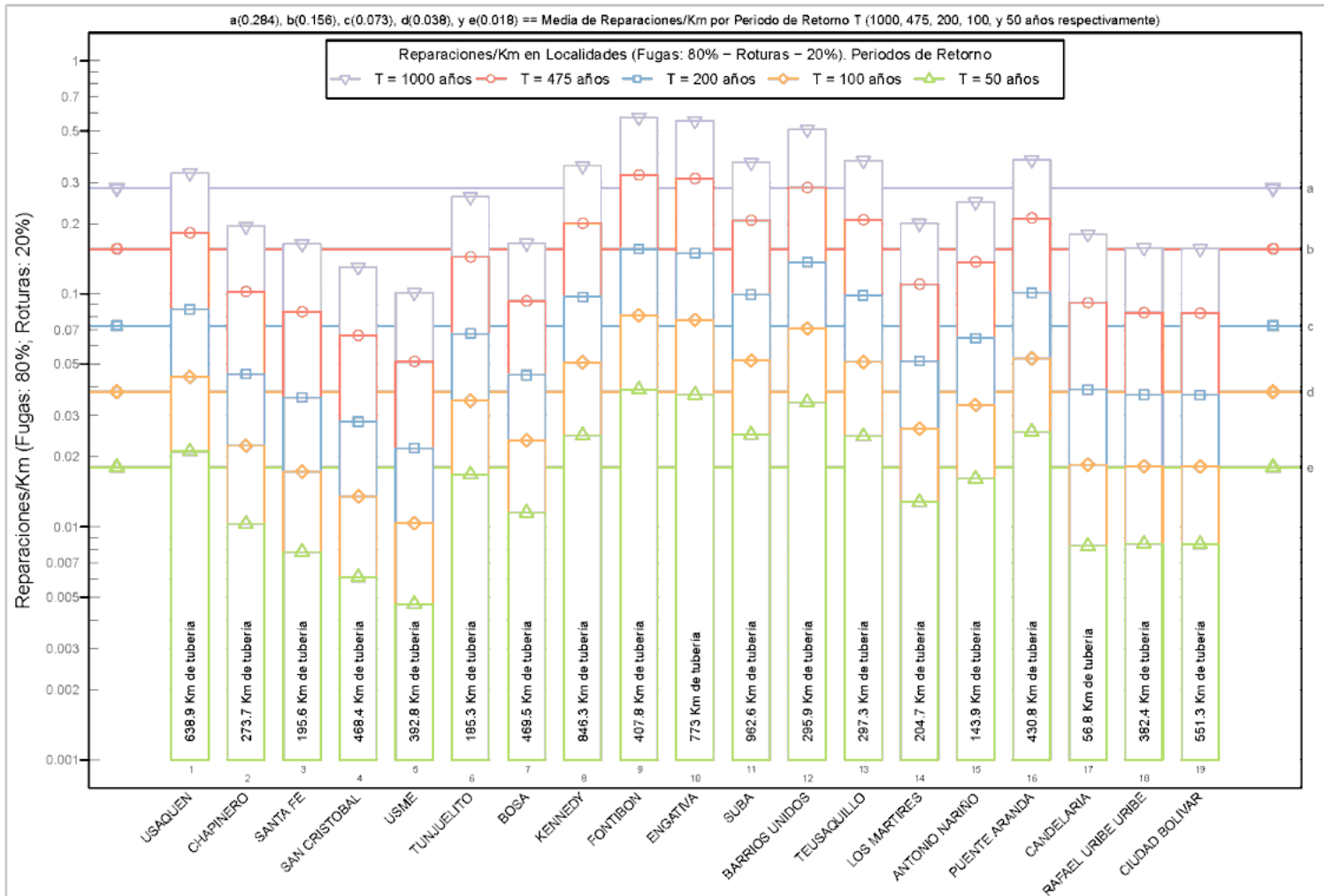
Daño en Redes de Acueducto. Amenaza: Todas las fuentes
O'Rourke & Ayala (1993). Ground Shaking: PGV (Cm/Seg). inv_id = 22 - pav_id = 32



Fuente: Anexo No 12. Página 10

Figura 103. Tasa de daño por diámetro. Tubería de acueducto. O'Rourke y Ayala (1993).

Daño en Redes de Acueducto. Amenaza: Todas las fuentes
O'Rourke & Ayala (1993). Ground Shaking: PGV (Cm/Seg). inv_id = 22 - pav_id = 32

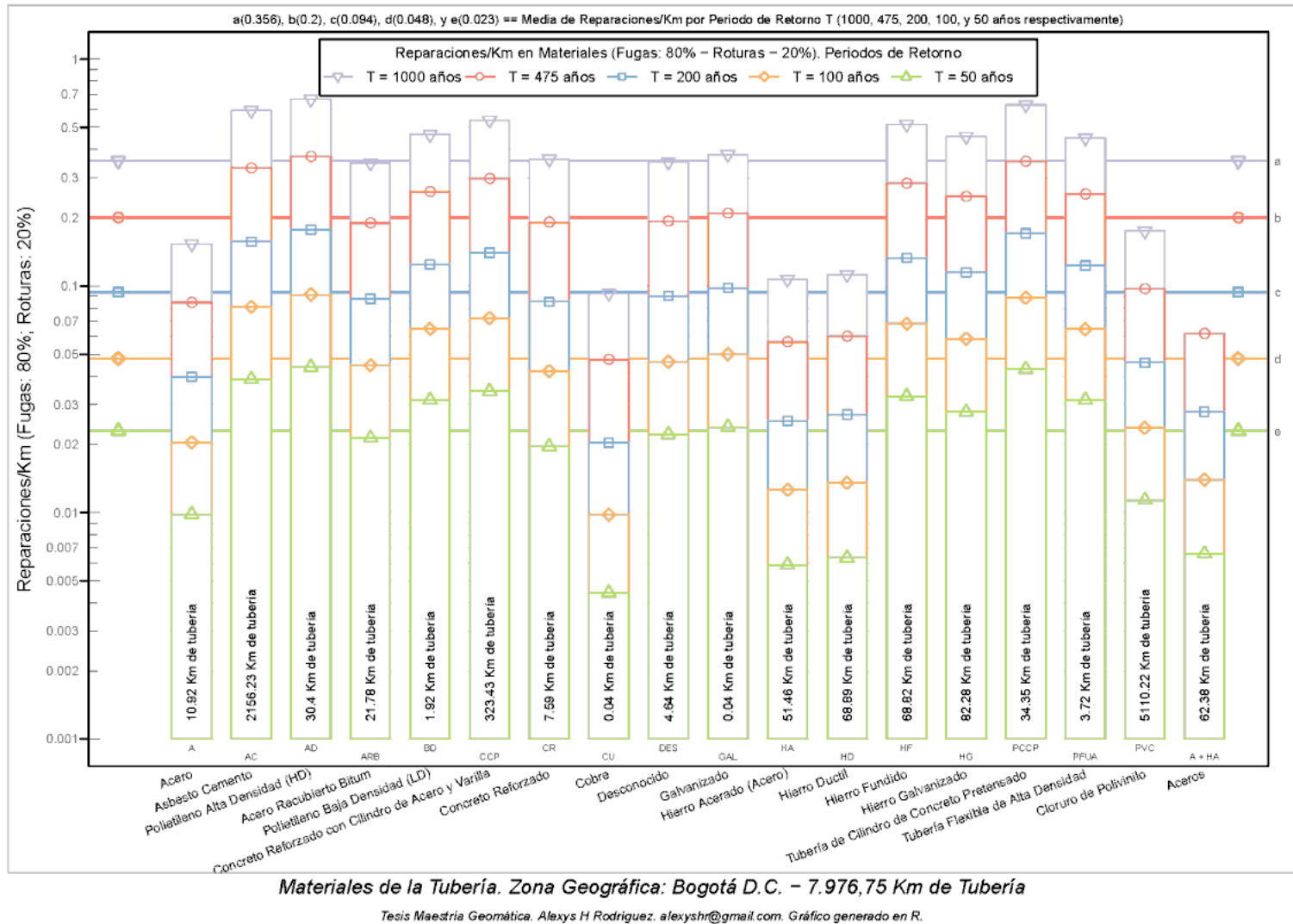


Tesis Maestría Geomática. Alexys H Rodriguez. alexyshr@gmail.com. Gráfico generado en R.

Fuente: Anexo No 12. Página 18

Figura 104. Tasa de daño por localidad. Tubería de acueducto. O'Rourke y Ayala (1993)

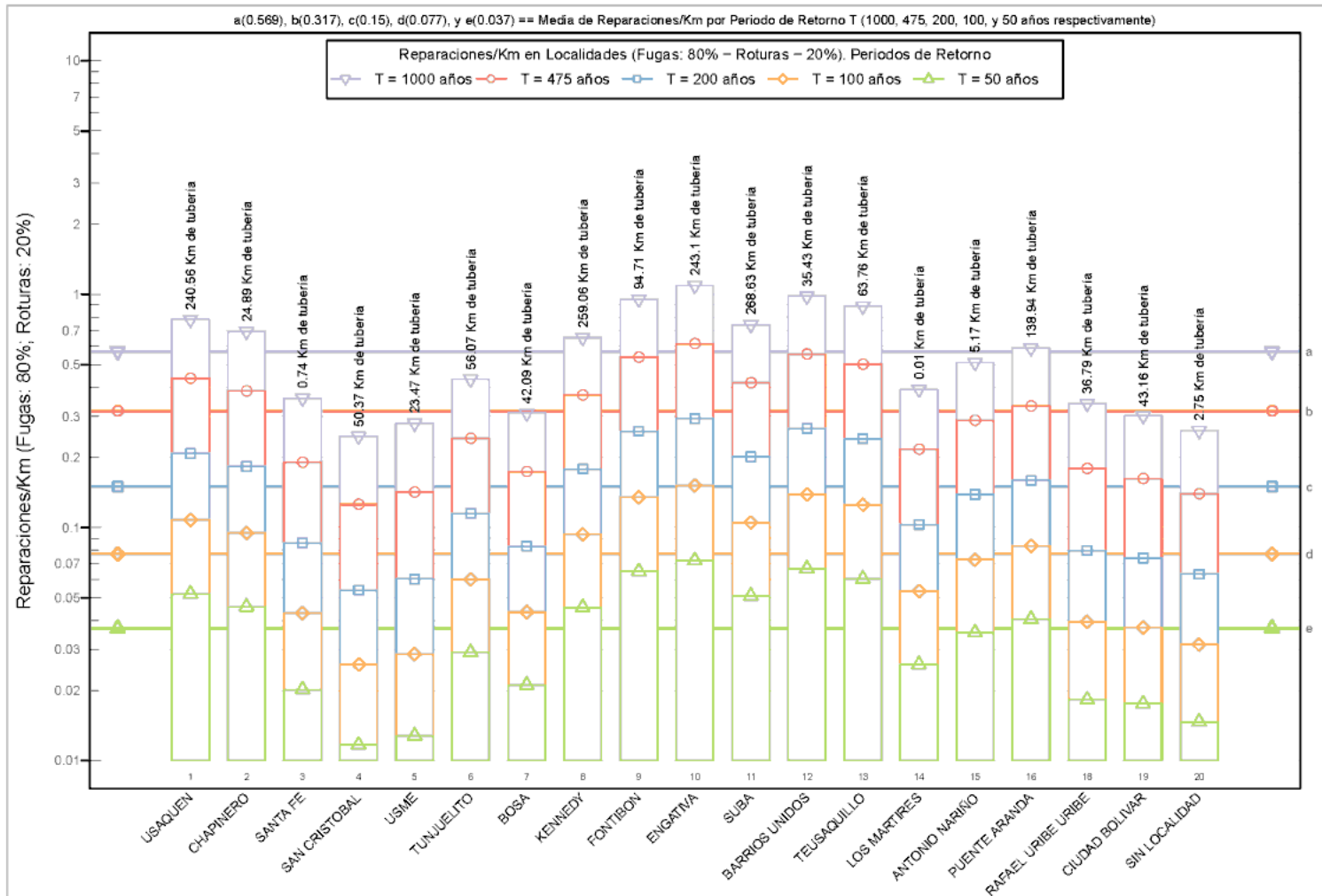
Daño en Redes de Acueducto. Amenaza: Todas las fuentes
O'Rourke & Ayala (1993). Ground Shaking: PGV (Cm/Seg). inv_id = 22 - pav_id = 32



Fuente: Anexo No 12. Página 26

Figura 105. Tasa de daño por material. Tubería de acueducto. O'Rourke y Ayala (1993)

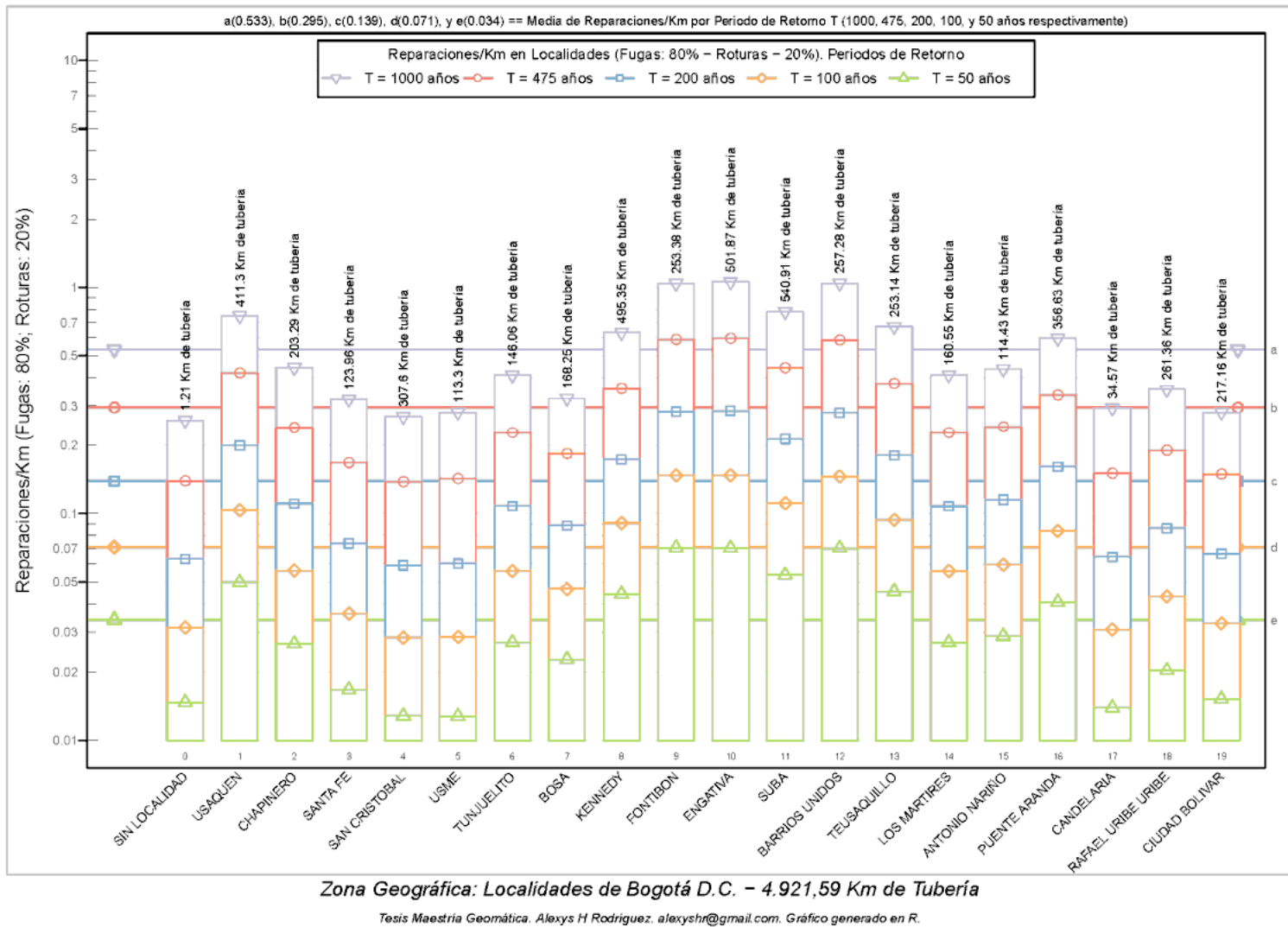
Daño en Redes de Alcantarillado Pluvial. Amenaza: Todas las fuentes
O'Rourke & Ayala (1993). Ground Shaking: PGV (Cm/Seg). inv_id = 22 - pav_id = 32



Fuente: Anexo No 12. Página 42

Figura 106. Tasa de daño por localidad. Alcantarillado pluvial. O'Rourke y Ayala (1993)

Daño en Redes de Alcantarillado Sanitario. Amenaza: Todas las fuentes
O'Rourke & Ayala (1993). Ground Shaking: PGV (Cm/Seg). inv_id = 22 - pav_id = 32



Fuente: Anexo No 12. Página 59

Figura 107. Tasa de daño por localidad. Alcantarillado sanitario. O'Rourke y Ayala (1993)

7.5.3 Pérdidas e impacto económico

En (Alexoudi et al., 2005) calculan el impacto económico con un costo de reemplazo promedio por intervención de 1800 a 2000 euros a precios de 2004, es decir en pesos colombianos equivalente a \$3'420.000 (U\$ 1 equivaliendo a \$1800).

En (JICA y DPAE, 2002) usaron los siguientes precios unitarios para calcular la costos de los daños.

Tabla 68. Precios unitarios de tuberías, cables y puentes en (JICA y DPAE, 2002).

Ítem	Descripción	Precio Unitario (\$)	Unidad	Fuente
Tuberías de acueducto	Asbesto cemento, concreto reforzado (ACP)	300.000	1 punto dañado	EEAB
	Hierro fundido (CIP)	350.000		
	GIP	350.000		
	PVC	300.000		
	RC	30.000.000		
Tuberías de gas	Polietileno	1.000.000		Gas Natural
Cable eléctrico	Elevados	1.300.000	1 metro	CODENSA
	Enterrados	400.000		
Cable telefónico	Elevados (postes)	400.000	1 poste	ETB
	Enterrados	220.000	1 metro	
Puentes	RC puentes	7.000.000.000	1 puente	IDU

Fuente: (JICA y DPAE, 2002 p. 4-83)

Por consultas realizadas en el mes de enero de 2011, a contratistas del Acueducto de Bogotá, se logró definir los costos promedio de reemplazo de tubería sin distinción de material en función del diámetro de la misma:

Tabla 69. Costos de reemplazo promedio por intervención en tuberías de Bogotá, a precios de 2011.

Diámetro (pulgadas)	Costo de reemplazo (pesos colombianos)
3"	\$1'200.000
4"	\$1'400.000
6"	\$1'800.000
12"	\$2'400.000

Fuente: Contratista del Acueducto de Bogotá (Enero 2001)

Teniendo en cuenta un costo promedio de reemplazo de tuberías en el área urbana de Bogotá de \$2'000.000 (pesos colombianos) y el número esperado de reparaciones, el costo total de reconstrucción de la red de acueducto se muestra

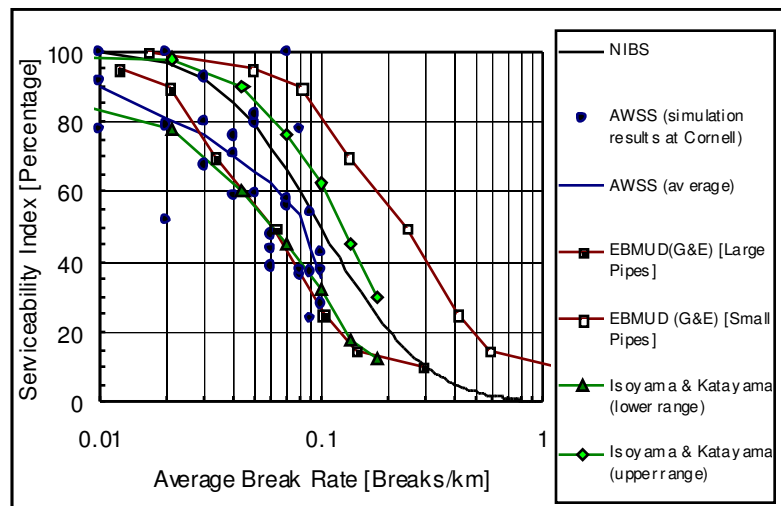
en la siguiente tabla, para todos los escenarios de amenaza y todas las curvas de vulnerabilidad estudiadas.

Tabla 70. Pérdidas directas, impacto económico. Resultados para la ciudad de Bogotá: todos los escenarios, todas las investigaciones de vulnerabilidad

AUTOR	PARÁMETRO	Escenario de Amenaza. Periodo de Retorno (T) en años				
		50	100	200	475	1000
ALA (2001)	# Reparaciones	172.1	239.3	322.2	451.4	588.3
	\$ Reconstrucción	344,189,200	478,563,800	644,455,000	902,735,200	1,176,572,400
O' Rourke & Ayala (1993)	# Reparaciones	162.0	338.2	656.0	1385.6	2492.7
	\$ Reconstrucción	323,937,200	676,465,600	1,311,940,800	2,771,289,800	4,985,436,600
Eidinger & Ávila (1999)	# Reparaciones	178.3	341.2	612.1	1184.3	1989.0
	\$ Reconstrucción	356,608,000	682,428,600	1,224,102,600	2,368,610,600	3,978,087,800
Isoyama (2000)	# Reparaciones	132.7	646.9	1655.1	3676.1	6153.9
	\$ Reconstrucción	265,362,400	1,293,707,200	3,310,119,400	7,352,148,400	12,307,826,400
Japan Wat. Assoc. (1998)	# Reparaciones	87.5	444.0	1178.1	2643.3	4439.0
	\$ Reconstrucción	174,943,000	887,986,800	2,356,283,000	5,286,591,200	8,878,036,200
Eidinger – G & E (2001)	# Reparaciones	293.9	546.4	943.1	1793.8	2863.2
	\$ Reconstrucción	587,751,800	1,092,813,400	1,886,206,200	3,587,587,800	5,726,402,000
JICA (2002)	# Reparaciones	0.5	25.3	114.3	389.6	1110.1
	\$ Reconstrucción	1,062,800	50,597,600	228,670,400	779,184,200	2,220,298,400

7.6 ANÁLISIS DE CONFIABILIDAD DEL SISTEMA

El análisis de confiabilidad del sistema se realizó a partir de la siguiente gráfica de acuerdo con la metodología



Fuente: (Pitilakis et al., 2006 p. 22)

Figura 108. Índice de daño Vs. tasa de roturas por kilómetro para la evaluación post-sismo del rendimiento del sistema

Tabla 71. Índice de servicio del sistema de acueducto de Bogotá, para todos los escenarios de amenaza y todas las curvas de vulnerabilidad utilizadas en la investigación

Autor	Rendimiento post-terremoto		Escenarios de Amenaza. T en años				
			50	100	200	475	1000
AL A (2001)	Roturas/Kilómetro >>>		0.0043	0.0060	0.0081	0.0113	0.0148
	Índice de Servicio >>>	Isoyama & Katayama (límite superior)	99.0%	99.0%	99.0%	99.0%	98.0%
		Isoyama & Katayama (límite inferior)	83.0%	83.0%	83.0%	83.0%	82.0%
		AWSS (promedio)	90.0%	90.0%	90.0%	90.0%	89.0%
		NIBS	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%	99.0%
O' Rourke & Ayala (1993)	Roturas/Kilómetro >>>		0.0041	0.0085	0.0164	0.0347	0.0625
	Índice de Servicio >>>	Isoyama & Katayama (límite superior)	99.0%	99.0%	98.0%	93.0%	80.0%
		Isoyama & Katayama (límite inferior)	83.0%	83.0%	82.0%	67.0%	50.0%
		AWSS (promedio)	90.0%	90.0%	89.0%	71.0%	62.0%
		NIBS	99.5%	99.5%	99.0%	87.0%	73.0%
Eidinger & Avila (1999)	Roturas/Kilómetro >>>		0.0045	0.0086	0.0153	0.0297	0.0499
	Índice de Servicio >>>	Isoyama & Katayama (límite superior)	99.0%	99.0%	98.0%	95.0%	86.0%
		Isoyama & Katayama (límite inferior)	83.0%	83.0%	82.0%	69.0%	54.0%
		AWSS (promedio)	90.0%	90.0%	89.0%	76.0%	67.0%
		NIBS	99.5%	99.5%	99.0%	93.0%	79.0%
Isoyama (2000)	Roturas/Kilómetro >>>		0.0033	0.0162	0.0415	0.0922	0.1543
	Índice de Servicio >>>	Isoyama & Katayama (límite superior)	99.0%	99.0%	91.0%	67.0%	43.0%
		Isoyama & Katayama (límite inferior)	83.0%	81.0%	63.0%	34.0%	17.5%
		AWSS (promedio)	90.0%	85.5%	69.0%	43.5%	--
		NIBS	99.5%	99.0%	87.0%	53.0%	33.0%
Japan Waterworks Association (1998)	Roturas/Kilómetro >>>		0.0022	0.0111	0.0295	0.0663	0.1113
	Índice de Servicio >>>	Isoyama & Katayama (límite superior)	99.0%	99.0%	95.0%	77.5%	63.0%
		Isoyama & Katayama (límite inferior)	83.0%	83.0%	69.0%	47.0%	32.0%
		AWSS (promedio)	90.0%	90.0%	76.0%	59.0%	35.0%
		NIBS	99.5%	99.5%	93.0%	69.0%	50.0%
Eidinger - G & E (2001)	Roturas/Kilómetro >>>		0.0074	0.0137	0.0236	0.0450	0.0718
	Índice de Servicio >>>	Isoyama & Katayama (límite superior)	99.0%	98.5%	98.5%	88.0%	74.5%
		Isoyama & Katayama (límite inferior)	83.0%	82.5%	77.0%	58.0%	44.0%
		AWSS (promedio)	90.0%	89.5%	79.5%	67.0%	54.5%

Autor	Rendimiento post-terremoto	Escenarios de Amenaza. T en años					
		50	100	200	475	1000	
	NIBS	99.5%	99.3%	96.0%	80.5%	67.0%	
	Roturas/Kilómetro >>>	0.0000	0.0006	0.0029	0.0098	0.0278	
JICA (2002)	Índice de Servicio >>>	Isoyama & Katayama (límite superior)	99.0%	99.0%	99.0%	99.0%	95.0%
		Isoyama & Katayama (límite inferior)	83.0%	83.0%	83.0%	83.0%	69.0%
		AWSS (promedio)	90.0%	90.0%	90.0%	90.0%	76.0%
		NIBS	99.5%	99.5%	99.5%	99.5%	93.0%

7.7 ESCENARIOS DE RIESGO

La valoración global del riesgo sísmico, teniendo en cuenta los factores sociales y económicos de la ciudad de Bogotá, se basó en las propuestas de (Cardona, 2001) y (Carreño et al., 2005) de acuerdo con lo establecido en el marco metodológico. Todos los indicadores recopilados a partir de las diferentes fuentes de información descritas en la metodología, se presentan en el “Anexo No 2: Indicadores sociales y económicos de Bogotá, utilizados para la valoración global del riesgo”

Sin embargo la mayoría de los componentes, indicadores y descriptores, así como las funciones de transformación fueron cambiadas o reevaluadas. Los estudios originales están destinados a realizar una **valoración global del riesgo sísmico en un área urbana**, por lo que allí utilizan información de riesgo en construcciones y estructuras indispensables. El trabajo realizado para la tesis se limitó a sus objetivos, es decir la **valoración global del riesgo sísmico en líneas vitales de un área urbana**. Otros motivos para realizar cambios fueron los siguientes:

- No estuvo disponible para la ciudad de Bogotá, la información de los componentes e indicadores originales propuestos por los autores y que aplicaban para valorar el riesgo en líneas vitales.
- Se gestionó información (de la ciudad de Bogotá) más representativa para redefinir los componentes, indicadores y descriptores propuestos originalmente por los autores, pero adaptados a los objetivos de la tesis.
- Los descriptores propuestos para definir el riesgo físico se restringieron para representar el riesgo físico de líneas vitales, pero además teniendo en cuenta que no se contó con toda la información de líneas vitales de la ciudad.
- Las funciones de transformación propuestas originalmente por los autores, no estaban calibradas para usarse con diferentes periodos de retomo. Las

funciones existentes funcionaban bien para un solo escenario de amenaza, pero al aplicarlas a escenarios diferentes, no se hacía evidente la diferencia en los valores de los índices relativos finales. Las funciones propuestas para la tesis, sirven para escenarios de amenaza con periodos de retomo bajos, intermedios y altos.

La matriz de evaluación global del riesgo se redefinió y propuso para el estudio con base en los estudios originales de (Cardona, 2001) y (Carreño et al., 2005). Se muestra en la Figura 109.

7.7.1 Matriz de evaluación

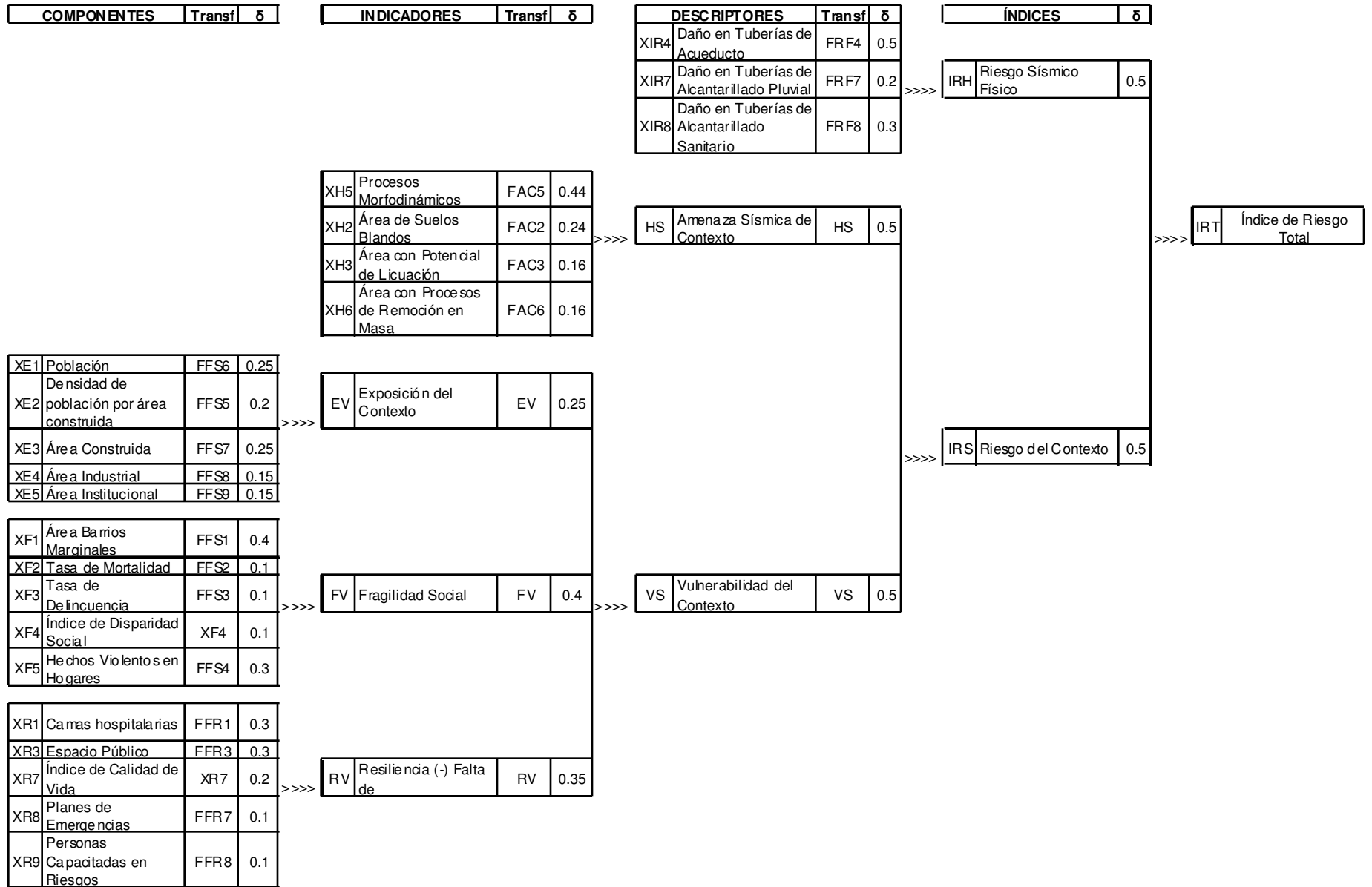
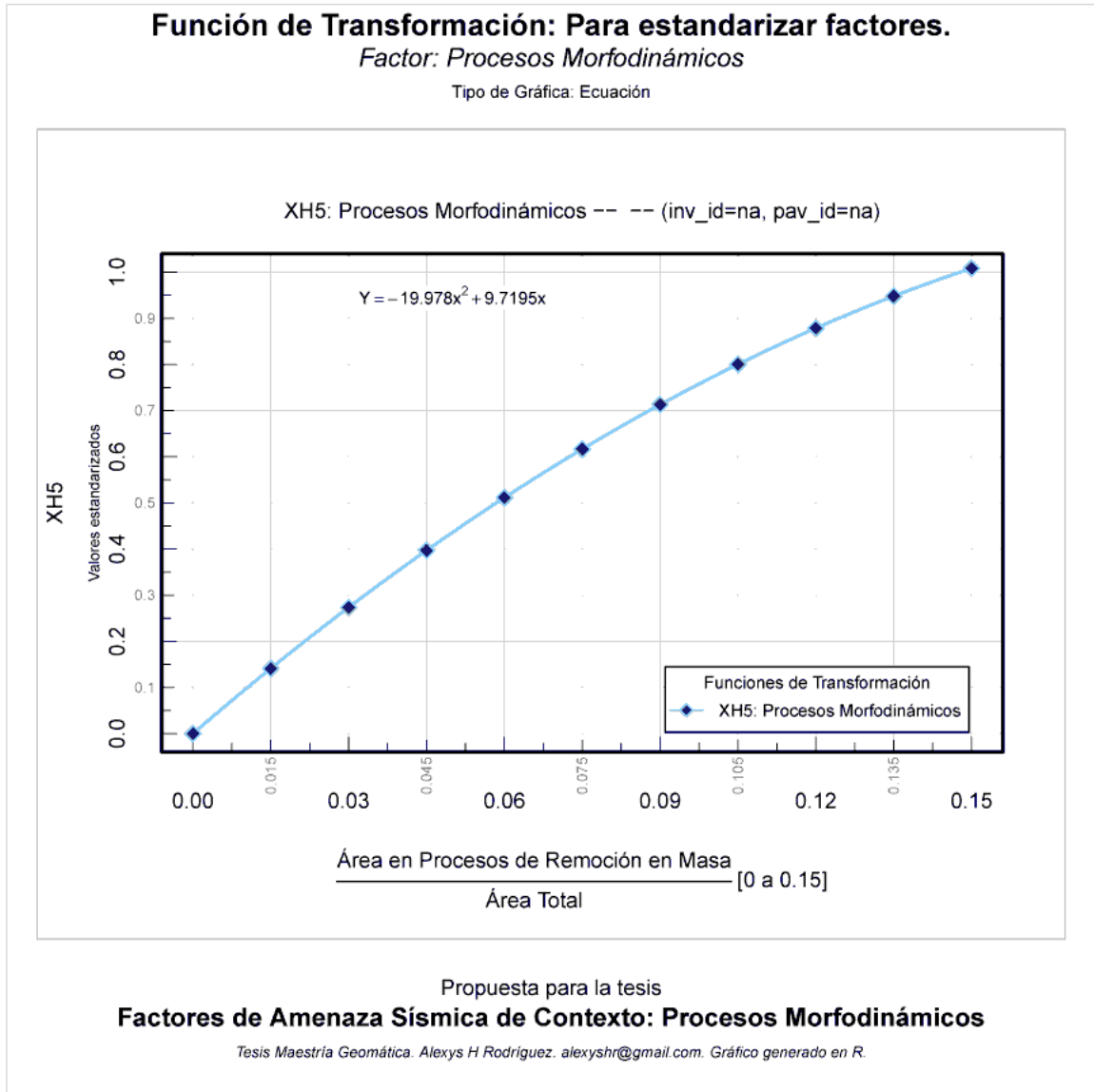


Figura 109. Matriz de evaluación global del riesgo propuesta para el estudio. Basada en (Cardona, 2001) y (Carreño et al., 2005)

Las funciones de transformación (20) redefinidas hacen parte del Anexo No 11.1, se muestran mas adelante dos funciones como referencia (una modificada y otra propuesta)



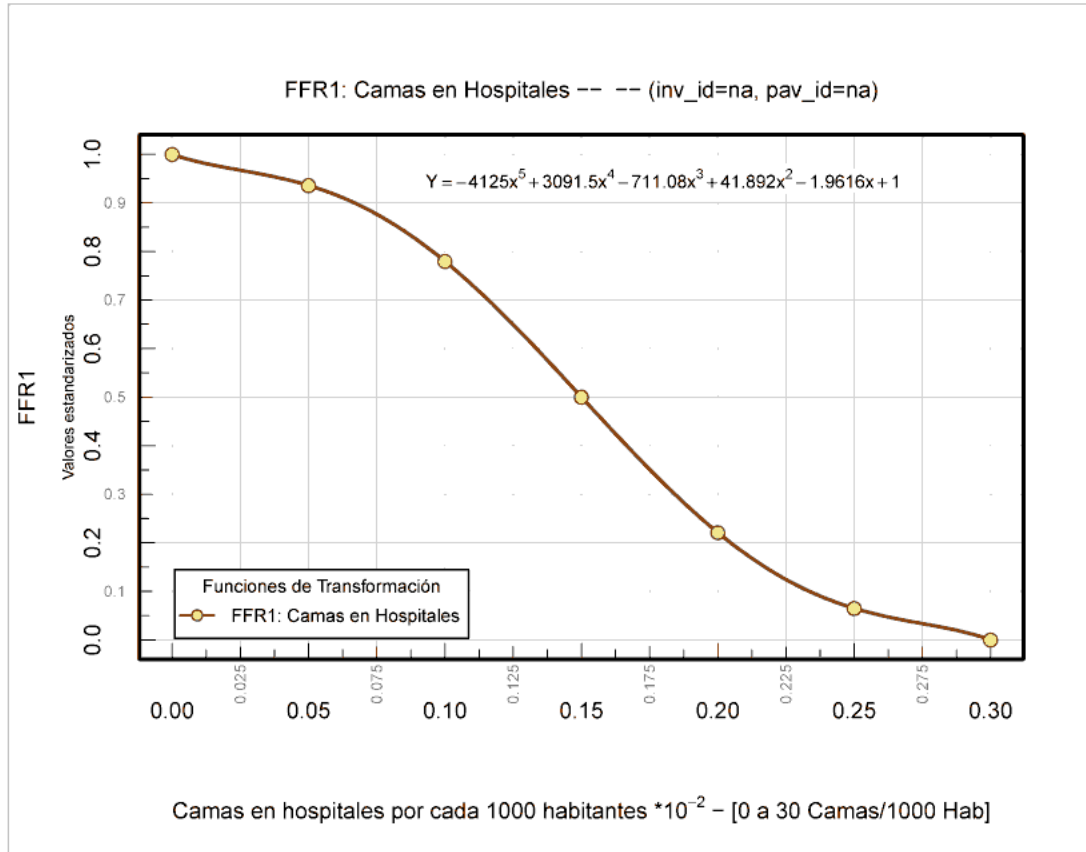
Fuente: Anexo No 11.1. Funciones de transformación. Página 19

Figura 110. Función de transformación propuesta para la tesis. Factores de amenaza sísmica de contexto: Procesos morfodinámicos.

Función de Transformación: Para estandarizar factores.

Factor: Camas en Hospitales

Tipo de Gráfica: Ecuación



(Carreño, Cardona et al. 2005. p. 2), modificada para la tesis.

Factores de Falta de Resiliencia: Camas

Tesis Maestría Geomática. Alexys H Rodríguez. alexyshr@gmail.com. Gráfico generado en R.

Fuente: Anexo No 11.1. Funciones de transformación. Página 1

Figura 111. Función de transformación modificada para la tesis. Factores de falta de resiliencia: Camas en hospitales

7.7.2 Índice de riesgo de contexto – IRS

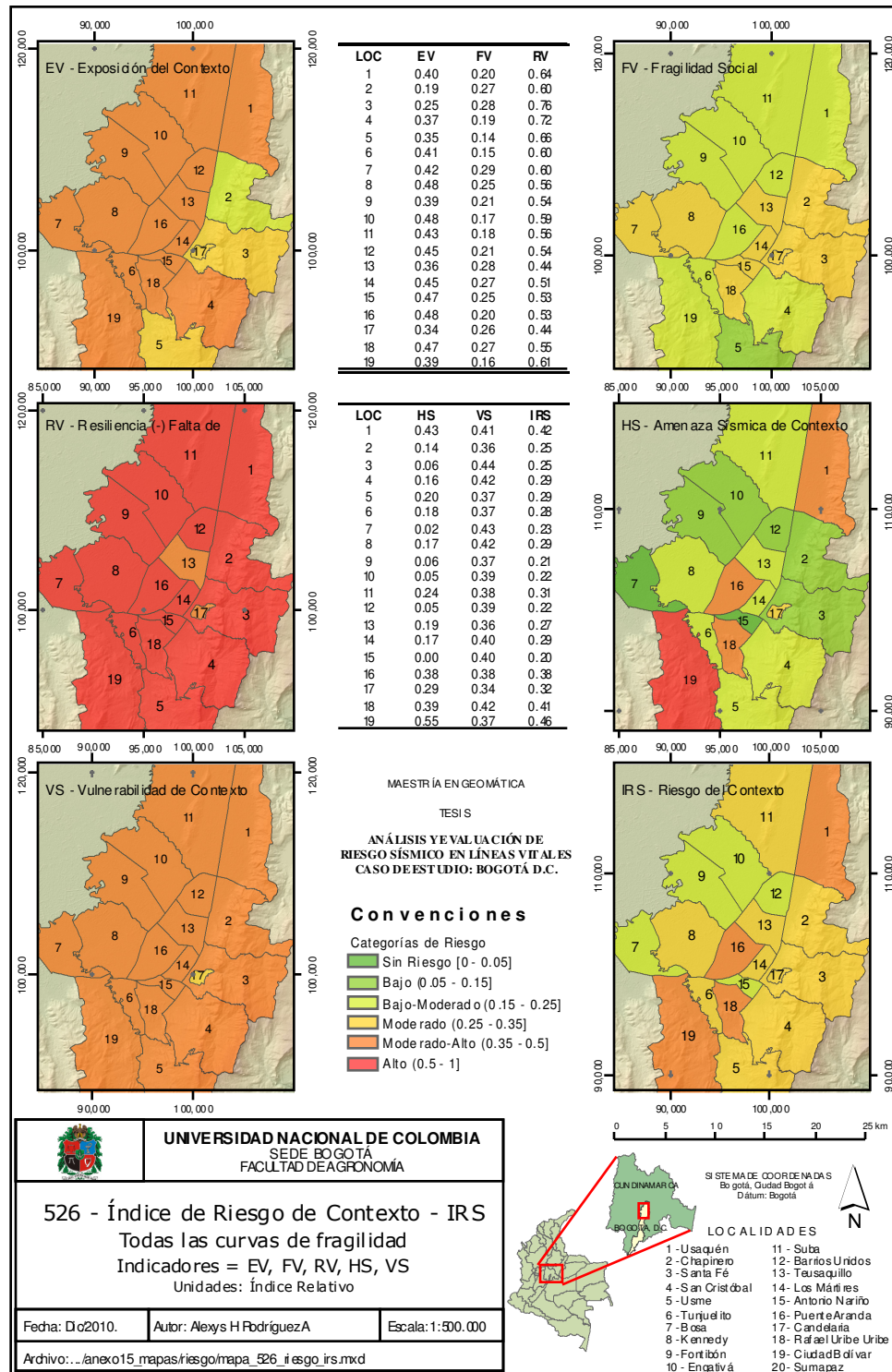


Figura 112. Índice de riesgo de contexto - IRS

7.7.3 Índice de riesgo físico – IRH

7.7.3.1 O'Rourke & Ayala (1993)

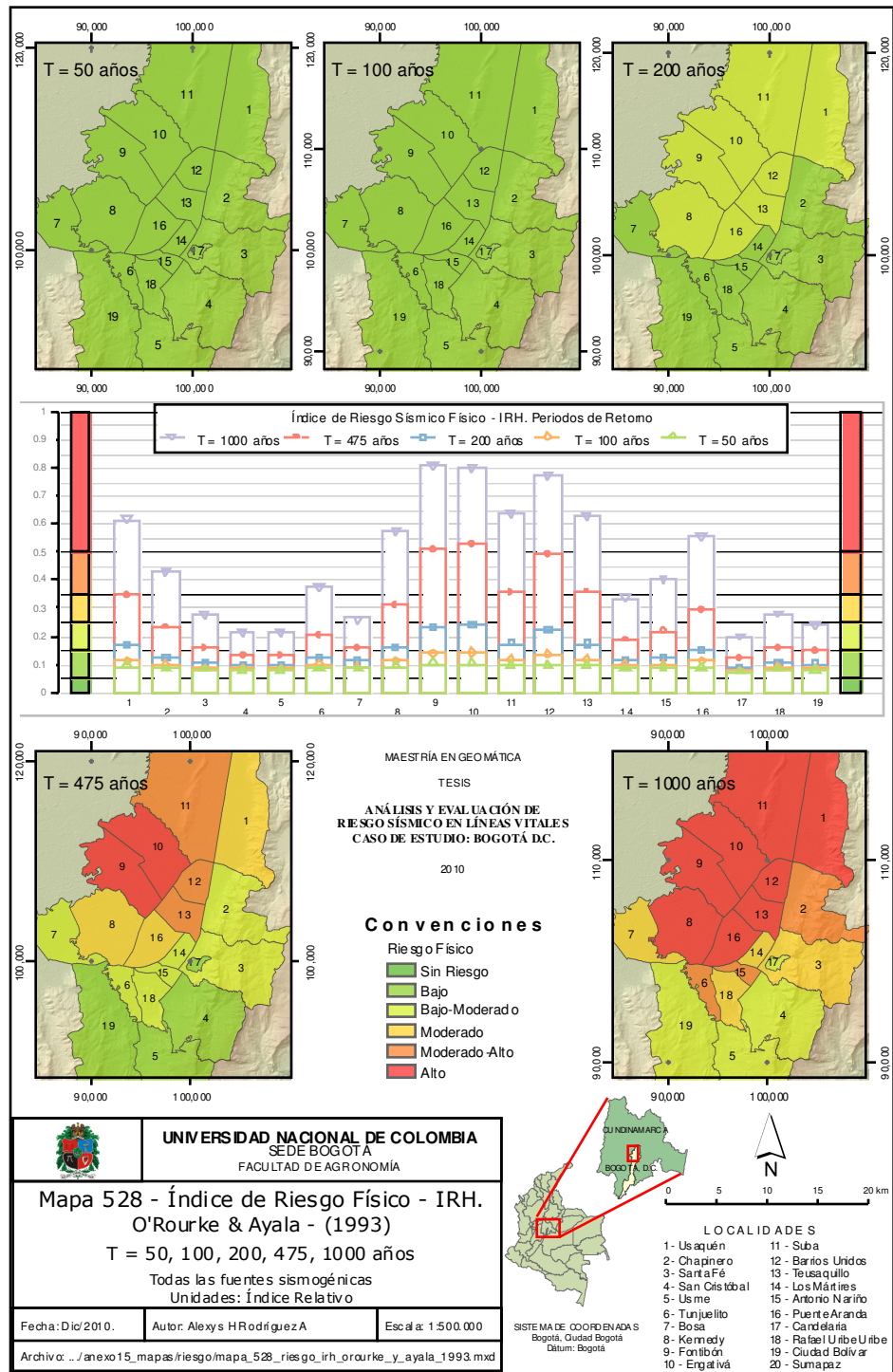


Figura 113. Índice de riesgo físico – IRH. O'Rourke & Ayala (1993)

7.7.4 Índice de riesgo global

7.7.4.1 O'Rourke & Ayala (1993)

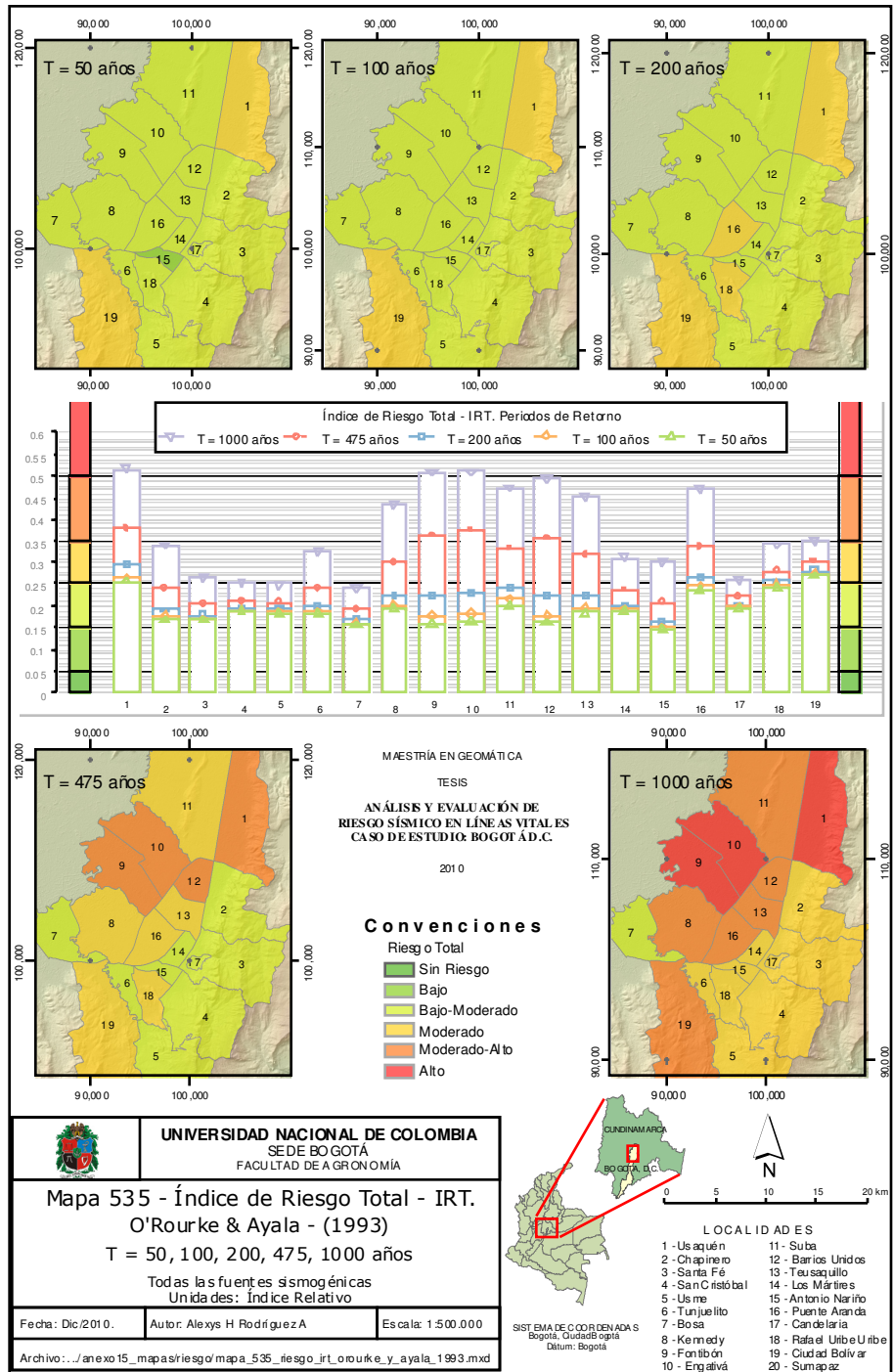


Figura 114. Índice de riesgo total – IRT. O'Rourke & Ayala (1993)

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Existen muchas técnicas y métodos documentados para el estudio del riesgo en líneas vitales, la selección y aplicación adecuada a las condiciones locales depende fundamentalmente de las tipologías y del inventario de información que define la base de datos. Los métodos propuestos utilizan la información más relevante y básica de las redes y se consideran generales para la valoración no detallada. La utilización de otros métodos más detallados y precisos, como algunos que se pueden observar en el ítem de revisión y documentación de metodologías del capítulo de procesos detallados y resultados, requiere de la gestión exitosa de otros tipos de información relacionada.

El sistema de información diseñado e implementado con los datos de amenaza, vulnerabilidad, riesgo sísmico y líneas vitales de la ciudad de Bogotá, se constituye en una herramienta útil para entidades e investigadores dedicados a la prevención y atención de emergencias, principalmente para ciudades de países no desarrollados. El principal aporte de la tesis en el tema de riesgo sísmico de líneas vitales es el “análisis paramétrico de vulnerabilidad” el cual sirve como referente para estudios relacionados que no cuenten con historia propia de daño en líneas vitales por sismo.

Los aportes mas importantes en el tema de geomática son: a) la base de datos geográfica para soportar estudios de riesgo sísmico en líneas vitales, b) el software “RSLV – Riesgo Sísmico en Líneas Vitales” basado en la utilización de modelos de geoprocésamiento utilizados dinámicamente a partir de una interfaz de comandos desarrollada en Java.

Los aportes mas importantes del estudio, para la ciudad de Bogotá, son: a) el avance en el desarrollo metodológico en comparación con los resultados de estudios anteriores (uso de curvas de vulnerabilidad, análisis de confiabilidad), y b) los resultados detallados del análisis paramétrico de vulnerabilidad y los escenarios de daño de las redes de acueducto especificando por diámetros, materiales, diferentes zonas geográficas, diferentes curvas de fragilidad y diferentes escenarios de amenaza. Con estos datos se pueden sacar múltiples conclusiones adicionales sobre el comportamiento sísmico o parámetros de vulnerabilidad de elementos específicos.

En el tema de valoración de daños en líneas vitales juega un papel preponderante la selección de la curva de fragilidad en el momento de calcular los daños para cada tipo de elemento en las redes, teniendo en cuenta que no existen curvas generadas con datos históricos de información sísmica colombiana, se hizo indispensable la adopción de estas por validación, ajustes y aplicación de factores de corrección adecuados dependiendo de un análisis paramétrico previo. Para las

recomendaciones y conclusiones detalladas del análisis paramétrico remitirse a la sección 7.4.3 Análisis paramétrico de vulnerabilidad física en líneas vitales

Generalmente los fenómenos que causan daño a las líneas vitales, por efectos de un movimiento sísmico, son clasificados en tres categorías: el daño por el movimiento temporal del terreno (por propagación de la onda), el que se genera por la deformación permanente (falla del terreno), o una combinación de los dos anteriores. Cualquier estudio completo sobre riesgo en líneas vitales debería incluir los tres tópicos, sin embargo esto depende principalmente de la información de amenaza sísmica disponible. Para el caso de este estudio, solo se procesó información relacionada con el movimiento temporal del terreno como consecuencia del paso de la onda sísmica. Las curvas de vulnerabilidad disponibles abordan siempre uno u otro fenómeno, pero no los dos. Para analizar la deformación permanente del terreno se necesita información principalmente de licuefacción (desprendimientos laterales y asentamientos) y deslizamientos (daños colaterales)

Los requerimientos básicos para estimar pérdidas y proponer estrategias y políticas para mitigación post terremoto en líneas vitales son:

- Inventario (localización, clasificación de importancia y tipología)
- Amenaza sísmica y escenarios sísmicos (valorar pérdidas directas)
- Modelos de fragilidad (valorar pérdidas directas)
- Modelos de restauración (con base en pérdidas directas). Las curvas de restauración definen la fracción de la capacidad inicial de la línea vital (restaurada o remanente) como una función del tiempo desde el terremoto. Se asume que los recursos necesarios para la reconstrucción están disponibles.
- El uso de modelos de red espaciales (hidráulicos y de transporte) para valorar y describir las pérdidas indirectas producidas por un sismo en las líneas vitales

De acuerdo con (Alexoudi et al., 2005): “El nivel del evento sísmico de diseño para construcciones ordinarias tal y como se especifica en todos los códigos sísmicos es un periodo de retorno medio de 475 años. Sin embargo las líneas vitales no son construcciones ordinarias. Especialmente para agua tres escenarios sísmicos diferentes pueden asignarse de acuerdo a la importancia de las tuberías. 1000 para las tuberías principales de transmisión y 475 para las tuberías principales de distribución dentro de la ciudad y para instalaciones esenciales”, lo anterior debe tenerse en cuenta especialmente para mejorar las políticas definidas en la DPAE en Bogotá en donde trabajan un solo escenario sísmico para los escenarios de daño de la ciudad: El periodo de retorno de 475 años (o menor) no siempre es una buena elección para simular escenarios de daños, lo mas recomendado es un análisis multiescenario.

La distribución propuesta en (NIBS, 1997, 1999 & 2002) para definir los estados de daño por sismo en líneas vitales a causa de la propagación de la onda (sacudida del terreno) del 80% como fugas y el 20% como roturas, no es la mas adecuada. Al utilizar esta propuesta, tubos con los mismos valores de amenaza presentan roturas para unos escenarios y para otros simplemente se generan fugas; adicionalmente independiente del escenario de amenaza en estudio, las roturas se presentan siempre en el mismo lugar.

Las curvas de vulnerabilidad existentes en el tema de riesgo sísmico en líneas vitales son una herramienta fundamental para análisis como el realizado en esta investigación, sin embargo es necesario usarlas correctamente, curvas tipo normales y lognormales fueron usadas erradamente en estudios previos como (DPAE, 2008-2009)

Los resultados de esta investigación son el principal referente para investigaciones de este tipo en países en vía de desarrollo. Los entes públicos y la comunidad académica cuenta con bases procedimentales, modelos y software que les facilitará abordar estas temáticas.

Las técnicas propuestas por y (Carreño et al., 2005) son un referente fundamental para la estimación global utilizando variables sociales y económicas para la estimación del riesgo, sin embargo tanto las matrices propuestas como las funciones de transformación deben ser ajustadas dependiendo de la información disponible y de los tipos de escenarios de amenaza.

Se requieren datos de alta calidad sobre terremotos y movimientos del terreno, junto con datos comprensivos sobre el rendimiento de las líneas vitales y la infraestructura e inventarios. Combinando esos modelos es posible entender el riesgo, y minimizar la probabilidad de pérdidas catastróficas mejorando el diseño de las estructuras e ideando alternativas de mitigación y prevención.

Existen vacíos de conocimiento y de la información que se requiere para analizar y evaluar el riesgo sísmico de las líneas vitales en Colombia. Particularmente se requiere adelantar investigación en los temas de modelos fuente de terremotos, modelos de movimientos del terreno, y vulnerabilidad. Los diferentes niveles del gobierno, así como la industria y la academia tienen todos importantes roles que jugar.

Es necesario iniciar procesos de investigación para la elaboración de curvas de fragilidad de los diferentes elementos expuestos a partir de datos históricos de daños en las ciudades colombianas. Teniendo en cuenta las dificultades que esto implica, principalmente por las carencias de información, se deben promover procesos técnicos de adopción, corrección y adaptación de las curvas de fragilidad existentes a las condiciones locales a partir de un correcto análisis paramétrico como el que se realizó en esta investigación.

Teniendo en cuenta que no disponemos en Colombia de datos suficientes de daño histórico en líneas vitales por la acción de los sismos, para hacer análisis de vulnerabilidad se requiere análisis paramétrico que permita utilizar de manera óptima los factores de corrección y las curvas de vulnerabilidad, e inclusive proponer nuevas curvas y nuevos factores.

Las curvas de fragilidad disponibles en el mundo, aplican para tipologías particulares, es necesario investigar detalladamente la correspondencia de las tipologías del estudio con aquellas para las cuales la curva es aplicable.

En el estudio realizado en la tesis y en {JICA, 2002 #102} y {UNIANDES, 2005 #103} no se incluyeron los efectos en las líneas vitales de la falla del terreno a causa del sismo, esto implica que los daños cuantificados no están completos porque se trabajó solamente el efecto del movimiento temporal del terreno por el paso de la onda sísmica.

Se debe hacer una correcta utilización e interpretación de las curvas de fragilidad normales y lognormales. Tener en cuenta que entregan probabilidad de excedencia de un estado de daño, por lo que se debe utilizar la función de distribución. Tener en cuenta que para utilizar las curvas de probabilidad lognormales, se debe hacer una transformación a normal estándar. En DPAE 2008, 2009 se utilizaron mal estas curvas.

Se recomienda que el análisis de confiabilidad del sistema dañado se haga a la medida con un análisis hidráulico del sistema, incluyendo en todos sus nodos las pérdidas por roturas y fugas.

La matriz para valoración global del riesgo debería incluir en el componente de riesgo físico, datos de daño de otras líneas vitales

Se recomienda mejorar el análisis de los costos directos, teniendo en cuenta un análisis de precios unitarios mas preciso.

Las funciones de transformación propuestas en (Cardona, 2001) y (Carreño et al., 2005) no son óptimas para análisis multiescenario de amenaza sísmica. Para la tesis se adaptaron las existentes y se propusieron nuevas óptimas para sismos de diferentes magnitudes.

Los diferentes actores involucrados, con sus diferentes criterios (valores vs juicios) pueden ahora retomar los múltiples resultados de la tesis para hacer una evaluación completa del riesgo. Los elementos de gestión de riesgo que no estuvieron en el alcance de la tesis, se pueden afrontar ahora en otros procesos y en otras instancias

Toda ciudad grande en Colombia, debería tener un estudio de estas características con miras a definir políticas y estrategias de capacitación, mitigación, preparación y prevención del riesgo sísmico

Es necesario que las universidades colombianas inicien investigaciones tendientes a obtener curvas de vulnerabilidad generadas por experimentación (laboratorio)

Colombia debe contar con un plan de levantamiento de datos de daño a causa de sismos. Debe tenerse en cuenta la tipología de los elementos (material, diámetros, etc.), las características del entorno (suelos, topografía, licuefacción), algunos factores agravantes (edad), los valores de la amenaza sísmica, la localización, el tipo de daño generado (rotura, fuga)

BIBLIOGRAFÍA

- Acton, M. R., P. J. Baldwin, T. R. Baldwin and E. E. R. Jager (1998). The Development of the PIPESAFE Risk Assessment Package for Gas Transmission Pipelines. Proceedings of the International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada, American Society of Mechanical Engineers.
- AIS, INGEOMINAS and UNIANDES (1996). "Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia."
- ALA (2001a). Seismic Fragility Formulations for Water Systems. Part 1 – Guideline, American Lifelines Alliance (ALA): 104 p.
- ALA (2001b). Seismic Fragility Formulations for Water Systems. Part 2 – Appendices, American Lifelines Alliance (ALA): 239 p.
- ALA (2002). Development of Guidelines to Define Natural Hazards Performance Objectives for Water Systems, American Lifelines Alliance (ALA). Vol. I.
- ALA (2004a). Wastewater System Performance Assessment Guideline. Part 1 - Guideline (DRAFT), American Lifelines Alliance (ALA): 44 p.
- ALA (2004b). Wastewater System Performance Assessment Guideline. Part 2 - Commentary (DRAFT), American Lifelines Alliance (ALA): 152 p.
- ALA (2005a). Guideline for Assessing the Performance of Electric Power Systems in Natural Hazard and Human Threat Events. Part 1 - Guideline, American Lifelines Alliance (ALA): 54 p.
- ALA (2005b). Guideline for Assessing the Performance of Electric Power Systems in Natural Hazard and Human Threat Events. Part 2 - Commentary, American Lifelines Alliance (ALA): 127 p.
- ALA (2005c). Guideline for Assessing the Performance of Oil and Natural Gas Pipeline Systems in Natural Hazard and Human Threat Events. Part 1 - Guideline (DRAFT), American Lifelines Alliance (ALA): 55 p.
- ALA (2005d). Guideline for Assessing the Performance of Oil and Natural Gas Pipeline Systems in Natural Hazard and Human Threat Events. Part 2 - Commentary (DRAFT), American Lifelines Alliance (ALA): 114 p.
- ALA (2005e). Guidelines for Implementing Performance Assessments of Water Systems Volume I. Part 1 - Guideline, American Lifelines Alliance (ALA): 57 p.
- ALA (2005f). Guidelines for Implementing Performance Assessments of Water Systems Volume I. Part 2 - Commentary, American Lifelines Alliance (ALA): 259 p.
- Alexoudi, M. (2004). Seismic vulnerability assessment of utility systems. Civil Engineering Department. Greece, Aristotle University of Thessaloniki.
- Alexoudi, M. N., T. N. Hatzigogos and K. D. Pitilakis (2005). A holistic methodology for mitigation strategy of water system. The case of Thessaloniki (Greece). Proceedings of 1st International Conference on Urban Disaster Reduction (1ICDR). Kobe, Yapan.

- Álvarez-Castañeda, H. A. (2009a). Evaluación de vulnerabilidad sísmica para estructuras especiales (tanques y puentes). Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá. Bogotá, Dirección de prevención y atención de emergencias de Bogotá - DPAE. Coordinación de investigación y desarrollo. Grupo escenario de daños: 28.
- Allen, C. R. (1995). Earthquake Hazard Assessment: Has Our Approach Been Modified in the Light of Recent Earthquakes?
- AS/NZS-4360 (2004). Risk Management AS/NZS 4360:2004. Sydney and Wellington, Standards Australia/Standards New Zealand.
- ASCE/TCLEE (1991). Seismic loss estimation for a hypothetical water system.
- ATC (1985). Earthquake damage evaluation data for California, ATC-13. Redwood City, CA, Applied Technology Council: 492 p.
- ATC (1991). Seismic Vulnerability and Impact of Disruption of Lifelines in the Conterminous United States - ATC-25. Redwood City, CA, Applied Technology Council. 3: 440 p.
- Ballantyne, D. B. (2003). Water and Wastewater Systems, CRC Press.
- Ballantyne, D. B., E. Berg, J. Kennedy, R. Reneau and D. Wu (1990). Earthquake loss estimation modelling for the Seattle water system: report to US Geological Survey under Grant 14-08-0001-G1526. WA, Kennedy/Jenks/Chilton, Federal Way.
- Barenberg, M. E. (1988). "Correlation of pipeline damage with ground motions." Journal of Geotechnical Engineering, ASCE: 706-711.
- Basoz, N. and A. S. Kiremidjian (1998). Evaluation of Bridge Damage Data from the Loma Prieta and Northridge, California Earthquake. Buffalo, State University of New York.
- Bernreuter, D. L. (1981). Seismic Hazard Analysis: Application of Methodology, Results and Sensitivity Studies, prepared by Lawrence Livermore National Laboratory for the U.S. Nuclear Regulatory Commission. vols 1-5.
- Bernreuter, D. L. and D. H. Chung (1979). Development of Seismic Input for Use in the Seismic Safety Margins Research Program. 5th International Conference on Structural Mechanics in Reactor Technology.
- Bernreuter, D. L., J. B. Savy, R. W. Mensing and J. Chen (1989). Seismic Hazard Characterization of 69 Nuclear Plants Sites East of the Rocky Mountains, prepared by Lawrence Livermore National Laboratory for the U.S. Nuclear Regulatory Commission. vols 1-8.
- C-FER (2000). A Model for Sizing High Consequence Areas Associated with Natural Gas Pipelines. Edmonton, Alberta, Canada, Gas Research Institute.
- Cardona, O. D. (2000b). Modelación numérica para la estimación holística del riesgo sísmico urbano, considerando variables técnicas, sociales y económicas. I Congreso Internacional de Métodos Numéricos en Ciencias Sociales. Barcelona, España.
- Cardona, O. D. (2001). Estimación holística del riesgo sísmico utilizando sistemas dinámicos complejos. Barcelona, Spain, Universidad Politécnica de Cataluña. PhD thesis.

- Carreño, M. L., O. D. Cardona and A. H. Barbat (2005). Seismic risk evaluation for an urban centre.
- Clark, J. A., C. H. Lee and W. U. Savage (1991). Seismic geologic risks as factors in prioritising gas pipeline system replacement. 3rd US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Los Angeles, California.
- Cluff, L. (1978). Geologic Considerations for Seismic Microzonation. Proceedings, 2nd International Conference on Microzonation.
- Cornell, C. A. (1968). Engineering seismic risk analysis, Bull. Seism. Soc. Am: 1583-1906.
- Cruden, D. and R. Fell (1997). Landslide Risk Assessment : Proceedings of the Workshop Landslide Risk Assessment, Honolulu, Hawaii, USA, Taylor & Francis; 1 edition.
- CSA (1991). Risk Analysis Requirements and Guidelines. Toronto, Canada, Canadian Standards Association: 42 p.
- Chapman, M. (1995). A probabilistic approach to ground-motion selection for engineering design, Bull. Seism. Soc. Am. 85(3): 937–942.
- Chen, W. and C. Scawthorn (2002). Earthquake Engineering Handbook, ICBO.
- DPAE (2008-2009). Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá. Bogotá, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá.
- Eguchi, R. T. (1983). Seismic vulnerability models for underground pipes. Proceedings of Earthquake Behavior and Safety of Oil and Gas Storage Facilities, Buried Pipelines and Equipment, New York, ASME.
- Eguchi, R. T. (1991). Seismic hazard input for lifeline systems, Structural Safety. 10: 193-198.
- Eidinger, J. (1993). Fire Conflagration and Post-Earthquake Response of Power and Water Lifelines. 4th DOE of Energy Natural Phenomena Hazards Mitigation Conference, Atlanta, GA.
- Eidinger, J. (1998). Lifelines, Water Distribution System in the Loma Prieta, California, Earthquake of October 17, 1989, Performance of the Build Environment-Lifelines. A. Schiff, US Geological Survey Professional Paper 1552-A: A63-A80.
- Eidinger, J. and E. Ávila (1999). Guidelines for the Seismic Upgrade of Water Transmission Facilities, TCLEE/ASCE.
- Eidinger, J., B. Maison, D. Lee and B. Lau (1995). East Bay Municipal District water distribution damage in 1989 Loma Prieta earthquake. Proceedings of the Fourth US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, ASCE, TCLEE, Monograph No. 6.
- EMA (1998). Australian Emergency Management Glossary. Canberra, Emergency Management Australia.
- EPRI (1989). Probabilistic Seismic Hazard Evaluation at Nuclear Power Plant Sites in the Central and Eastern United States: Resolution of the Charleston Earthquake Issue, Electric Power Research Institute - EPRI.
- Esteva, L. M. (1968). Bases para la Fomulación de Decisiones de Diseño Sísmico. México, Instituto de Ingeniería, UNAM.

- FEMA (1994). Assessment of the State-of-the-Art Earthquake Loss Estimation Methodologies. Washington, Federal Emergency Management Agency (FEMA).
- Frankel, A. (1995). Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States, *Seismic. Res. Letts.* 66: 8-21.
- Gumbel, E. J. (1958). Statistics of Extremes. New York, Columbia University Press.
- Hamada, M. (1991). Estimation of earthquake damage to lifeline systems in Japan. Proceedings of the Third Japan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures for Soil Liquefaction, San Francisco, CA.
- Hamsen, S., D. Perkins and A. Frankel (1999). Deaggregation of probabilistic ground motions in the Central and Eastern United States, *Bull. Seism. Soc. Am.* 89: 1-13.
- Honegger, D. G. and R. T. Eguchi (1992). Determination of the Relative Vulnerabilities to Seismic Damage for Dan Diego Country Water Authority (SDCWA). Water Transmission Pipelines.
- Hoshiya, M. and H. Ohno (1985). A system dynamic model in seismic performance assessment of electric power and water supply networks. Workshop on Lifeline Earthquake Engineering, Taipei, Taiwan.
- Hungr, O., R. Fell, B. C. Vancouver Geotechnical Society (Vancouver, B. C. Joint Technical Committee on Landslides and Engineered Slopes (Vancouver, R. Couture and E. Eberhardt (2005). Landslide Risk Management : proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management. Vancouver, Canada, Taylor & Francis.
- Hwang, H. and H. Lin (1997). GIS-based evaluation of seismic performance of water delivery systems. Memphis, TN: 110pp.
- IASPEI (1993). The Practice of Earthquake Hazard Assessment, International Association of Seismology and Physics of the Earth's Interior.
- ICOLD (2003). Bulletin on Risk Assessment in Dam Safety Management, International Commission on Large Dams.
- INGEOMINAS, UPES and UNIANDES (1997). "Microzonificación sísmica de Santa Fe de Bogotá, D.C."
- Ishikawa, Y. and H. Kameda (1988). Hazard-Consistent Magnitude and Distance for Extended Seismic Risk Analysis. 9th World Conference on Earthquake Engineering. Tokyo. II: 95-100.
- Isoyama, R., E. Ishida, K. Yune and T. Shirozu (1998). Seismic damage estimation procedure for water supply pipelines. Water and Earthquake '98 Tokyo, IWSA International Workshop, Anti-Seismic Measures on Water Supply, Tokyo, Japan, International Water Services Association Japan Water Works Association.
- Isoyama, R., E. Ishida, K. Yune and T. Shirozu (2000). Seismic damage estimation procedure for water supply pipelines. Proceedings of the Twelfth World Conference on Earthquake Engineering.

- Isoyama, R. and T. Katayama (1982). Reliability evaluation of water supply systems during earthquakes, University of Tokyo.
- IUGS (1997). Quantitative risk assessment for slopes and landslides - The state of the art. Proceedings of the Landslide Risk Workshop, Honolulu, IUGS Working Group on Landslides.
- Japan-Waterworks-Association (1998a). Seismic Damage Estimation Procedure for Water Pipes.
- Japan-Waterworks-Association (1998b). Damage estimation of water supply pipeline due to earthquake.
- Jernigan, J. B., S. D. Werner and H. H. M. Hwang (1996). Inventory of Bridges Using GIS for Seismic Risk Assessment of Highway Systems. Memphis TN, University of Memphis.
- JICA and DPAE (2002). Estudio para la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá, en la República de Colombia. Bogotá, Colombia, Agencia de Cooperación Internacional del Japón.
- Jones, B. G. and S. Chang (1993). Indirect methods for estimating the build physical environment for risk and damage assessment and relief, recovery and reconstruction planning. National Earthquake Conference, Memphis, Tennessee.
- Katayama, T. and K. Kubo (1975a). Damage estimation of underground water supply pipeline.
- Katayama, T., K. Kubo and N. Sato (1975b). Earthquake damage to water and gas distribution systems. Proceedings US. National Conference on Earthquake Engineering, EERI, Oakland, CA.
- KAWAKAMI, E. (1996). Relation between shape of road traffic system and establishment of connection.
- Keilis-Borok, T. L. Kronrod and G. M. Molchan (1974). Algorithm for Estimation of Seismic Risk.Computation Seismology. Moscow, Nauka Publishing.
- Khater, M., C. Scawthorn and J. J. Johnson (2003). Loss estimation. In earthquake engineering handbook.
- Kiefner, A. and A. M. J. Harden. (2004). "PipeView." from www.mjharden.com/pipeline/products/pipeviewrisk.html.
- Kitaura, M. and M. Miyajima (1996). Damage to water supply pipelines. Japan, Japanese Geotechnical Society.
- Lee, H. K., H. Kanamori, P. C. Jennings and C. Kisslinger (2003). International Handbook of Earthquake and Engineering Seismology, Elsevier.
- Mander, J. and N. Basoz (1999). Seismic fragility curve theory for highway bridges. In: M. Elliot and P. McDonough (Editors). Proceedings, 5th US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, TCLEE/ASCE.
- Masure, P. (1996). Preventive planning, condition for the sustainable development of cities. Methodological bases of the GEMITIS programs, DHA News. N° 18.
- Matsuda, E. N., W. U. Savage, K. K. Williams and G. C. Laguens (1991). Earthquake evaluation of a substation network. 3rd US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Los Angeles, California.

- McGuire, R. K. (1995). Probabilistic Seismic Hazard Analysis and Design Earthquakes: Closing the Loop, Bull. Seism. Soc. Am. 85: 1275-1284.
- McGuire, R. K. (2004). Seismic Hazard and Risk Analysis, EERI, MNO-10.
- Middelmann(Editor), M. H. (2007). Natural Hazards in Australia. Identifying Risk Analysis Requirements. Canberra, Geoscience Australia. Australian Government.
- Monge, O., M. Alexoudi and S. Argyroudis (2003). An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. Vulnerability assessment of lifelines and essential facilities (WP06): basic methodological handbook: 71 p.
- Mouroux, Pierre, Brun and Beno (2006). "Presentation of RISK-UE Project." Bulletin of Earthquake Engineering 4: 323-339.
- Mouroux, P., E. Bertrand, M. Bour, B. Le Brun, S. Depinois and P. Masure (2004). The European RISK-UE project: an advanced approach to earthquake risk scenarios. Vancouver, BC, Canada, 13th World Conference on Earthquake Engineering. Paper 3329 (CD-Rom).
- Muhlbauer, W. K. (1996). Pipeline Risk Management Manual. Houston, Tex.
- Nadim, F., H. Einsten and W. Roberds (2005). Probabilistic Stability Analysis for Individual Slopes in Soil and Rock. State-of-the-Art Paper 3 : proceedings of the International Conference on Landslide Risk Management. Vancouver, Canada.
- NIBS (1997, 1999 & 2002). Earthquake loss estimation methodology, HAZUS. Washington, National Institute of Building Science. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Vol. 1, 2, 3. Technical manuals.
- NIBS (1999). Direct physical damage to lifelines-transportation systems-utility systems. In: Earthquake loss estimation methodology, HAZUS. Washington, National Institute of Building Science. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Technical manuals.
- Nojima, N. and H. Kameda (1991). Cross impact analysis for lifeline interactions. 3rd US Conference on Lifeline Earthquake Engineering, Los Angeles, California.
- NRC (2004). Transmission pipelines and land use : a risk-informed approach. Washington, D.C., Transportation Research Board.
- O'Rourke, M. J. and G. Ayala (1993). "Pipeline damage due to wave propagation." Journal of Geotechnical Engineering. ASCE 119. No 9.
- O'Rourke, M. J. and K. E. Hmadi (1998). Analysis of continuous buried pipelines for seismic wave effects.
- O'Rourke, T. D. (1989). Compute assisted system engineering for water supply. Technical Report NCEER-89-0023. Buffalo, State University of New York.
- O'Rourke, T. D., H. E. Stewart, T. E. Gowdy and J. W. Pease (1991). Lifeline and geotechnical aspects of the 1989 Loma Prieta earthquake. Proceedings of the Second International Conference on Recent Advances in Geotechnical Earthquake Engineering and Soil Dynamics, St Louis, MO.
- O'Rourke, M. J. (2003). Buried Pipelines. In Earthquake Engineering Handbook, CRC Press.

- O'Rourke, M. J. and G. Ayala (1993). "Pipeline damage due to wave propagation." Journal of Geotechnical Engineering. ASCE 119. No 9.
- O'Rourke, T. D., F. H. Erdogan, W. U. Savage, L. V. Lund and A. T. Manager (2000). Water, gas, electric power, and telecommunications performance Earthquake Spectra, Suppl. A to Vol.16, 1999 Kocaeli, Turkey, Earthq. Reconnaissance Rep.
- Oliveira, C. S. (1974). Seismic Risk Analysis. Report EERC 74-1. Berkeley, University of California.
- Oliveira, C. S., A. Roca and X. Goula (2006). Assessing and managing earthquake risk : geo-scientific and engineering knowledge for earthquake risk mitigation : developments, tools, techniques. Dordrecht, Springer.
- Panoussis, G. (1974). Seismic Reliability of Lifeline Networks. Report no. R74-57. Massachusetts, MIT. Institute of Technology.
- Pitilakis, K., M. Alexoudi, S. Argyroudis, O. Monge and C. Martin (2006). "Earthquake risk assessment of lifelines." Bulletin of Earthquake Engineering 4: 365-390.
- R, D. C. T. (2010). R: A language and environment for statistical computing. Vienna, Austria, R Foundation for Statistical Computing.
- RADIUS (1999). Risk Assessment Tools for Diagnosis of Urban Areas Against Seismic Disasters, United Nations Initiative towards Earthquake Safe Cities.
- Rodríguez-Avellaneda, A. H. (2009a). Marco metodológico para la evaluación de riesgo sísmico en líneas vitales. Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá. Bogotá, Dirección de prevención y atención de emergencias de Bogotá - DPAE. Coordinación de investigación y desarrollo. Grupo escenario de daños: 53.
- Rodríguez-Avellaneda, A. H. (2009b). Informe final marco metodológico líneas vitales y sus requisitos funcionales. Actualización y Sistematización de los Escenarios de Daño por Terremoto para Bogotá. Bogotá, Dirección de prevención y atención de emergencias de Bogotá - DPAE. Coordinación de investigación y desarrollo. Grupo escenario de daños: 28.
- Saaty, T. L. (1980). The Analytic Hierarchy process. N.Y.
- Saaty, T. L. (2001). Decision making for leaders the analytic hierarchy process for decisions in a complex world. Pittsburgh RWS, USA.
- SCARM (2000). Floodplain Management in Australia - Best Practice Principles and Guidelines. Collingwood, Victoria, Agriculture and Resource Management Council of Australia and New Zealand. Standing Committee on Agriculture and Resource Management.
- Scawthorn, C. (1992). Lifeline interaction and post- earthquake functionality. 5th U.S- Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, Japan.
- Schiff, A. J. (2003). Electrical Power Systems. In: W.Chen and C. Scawthorn (Editors), Earthquake Engineering Handbook.
- Schwartz, D. and K. Coppersmith (1984). "Fault Behaviour and Characteristic Earthquakes: Examples from the Wasatch and San Andrea Faults." Journal of Geophysics Research 89: 5681-5698.

- Shinozuka, M., M. Q. Feng, H.-k. Kim, T. Uzawa and T. Ueda (2003). Statistical Analysis of Fragility Curves. Buffalo, State University of New York.
- Shinozuka, M., H. Hwang and S. Tanaka (1993). GIS - Based assessment of the seismic performance of water delivery system. 5th US-Japan Workshop on Earthquake Disaster Prevention for Lifeline Systems, Tsukuba, Japan, PWRI 3198, Public Works Research Institute.
- Shinozuka, M. and S. Tanaka (1996). Effects of lifeline interaction under seismic conditions. 11th World Conference on Earthquake Engineering.
- Shirozu, T., S. Yune, R. Isoyama and T. Iwamoto (1996). Report on damage to water distribution pipes caused by the 1995 Hyogoken-Nanbu (Kobe) earthquake. Proceedings from the 6th Japan-US Workshop on Earthquake Resistant Design of Lifeline Facilities and Countermeasures Against Soil Liquefaction.
- Shome, N., C. A. Cornell, P. Bazzurro and J. E. Carballo (1998). Earthquakes, records, and nonlinear responses Earthquake Spectra. 14(3): 469-500.
- Smith, D. I., J. W. Handmer, J. M. McKay, M. A. D. Switzer and B. J. Williams (1995). Non-Structural Measures for Flood Mitigation. Current Adoption in Urban Areas. Canberra, Australian National University. Centre for Resource and Environmental Studies. 1.
- Teleb-Agha, A. and R. V. Whitman (1975). Seismic Risk Analysis of Discrete Systems. Report no. 23, MITCE-R75-48, Order 523. Massachusetts, Massachusetts Institute of Technology.
- Tiedemann, H. (1992). Earthquakes and Volcanoes: a Handbook for Risk Assessment, Swiss Reinsurance Company. Zurich, Switzerland.
- Toprak, S. (1998b). Earthquake Effects on Buried Lifeline Systems, Cornell University.
- Tromans, I. (2004). Behaviour of buried water supply pipelines in earthquake zones. Department of Civil and Environmental Engineering. London, University of London. Doctor of Philosophy and for the Diploma of the Imperial College of Science, Technology and Medicine 348.
- UNDRO (1980). Natural disasters and vulnerability analysis : report of Expert Group Meeting (9-12 July 1979). Geneva: vi, 49 p.
- UNIANDES and DPAE (2005). Estudio de Escenarios de Riesgo y Pérdida por Terremoto para Bogotá Bogotá, Universidad de los Andes, Dirección de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá.
- Werner, S. D., C. E. Taylor, J. E. Moore, J. S. Walton and S. Cho (2000). A risk-based methodology for assessing the seismic performance of highway systems. Buffalo, State University of New York.
- Yamazaki, F., T. Hamada, H. Motoyama and H. Yamauchi (1999). Earthquake damage assessment of expressway bridges in Japan. In: W. Elliott and P. McDonough (Editors), Proceedings, 6th US Conference on Lifeline Earthquake Engineering. TCLEE/ASCE.
- Zimmerman, T., M. Nessim, M. McLamb, B. Rothwell, J. Zhou and A. Glover (2002). Target Reliability Levels for Onshore Gas Pipelines. Proceedings of the International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, Canada.

