

CLASIFICADO



**ALCALDÍA MAYOR
DE BOGOTÁ D.C.**

GOBIERNO SEGURIDAD Y CONVIVENCIA

Fondo de Prevención y Atención de Emergencias



Certificado
GP 137-1



Certificado
SC 6593-1



Certificado
CO-SC 6593-1

ESCENARIOS DE DAÑO POR TERREMOTO PARA BOGOTÁ

INFORME FINAL

ORIGINAL

ÁREA TÉCNICA Y DE GESTIÓN

COORDINACIÓN DE INVESTIGACIÓN Y DESARROLLO

GRUPO DE ESCENARIO DE DAÑOS

DICIEMBRE DE 2011

Nota especial: De acuerdo con el artículo 20 de la ley 23 de 1982, los Derechos de Autor pertenecen al FOPAE. La solicitud de reproducir éste documento parcial o totalmente, se debe dirigir por escrito al Director del FOPAE



Certificado N° GP 137-1
Certificado N° SC 6593-1
Certificado N° CO-SC 6593-1

Gestión y ejecución de políticas en materia de conocimiento, prevención, mitigación y recuperación frente a riesgos públicos de origen natural y antrópico no intencional y la coordinación para la atención de emergencias en la ciudad de Bogotá.

FONDO DE PREVENCIÓN Y ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

GUILLERMO ESCOBAR CASTRO
Director

DARWIN JAVIER ORTIZ
Subdirector Área Técnica y de Gestión

LINDON LOSADA
Coordinación de Investigación y Desarrollo

Coordinación del estudio
FERNANDO JAVIER DÍAZ PARRA
Responsable de Escenarios de Daños

Profesionales participantes

FERNANDO DÍAZ
ANDREI TORRES
GERARDO RODRÍGUEZ
NELSON PERICO

RESUMEN

La Coordinación de Investigación y Desarrollo del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE), tiene a cargo adelantar diferentes actividades para la Gestión Integral del Riesgo, específicamente en la componente de Identificación del Riesgo se realizan estudios técnicos que mejoren nuestro conocimiento frente a las amenazas naturales y antrópicas no intencionales. En esta línea de trabajo, el grupo de escenario de daños ha desarrollado el estudio de actualización y sistematización de escenarios de daño por terremoto para Bogotá, el cual comprendió el desarrollo un enfoque conceptual y metodologías de evaluación de daños por sismo que incluye efectos colaterales, la ingeniería del software SEDAR (Sistema de Evaluación de Daños para Análisis de Riesgo) y la evaluación de los daños, afectaciones y pérdidas para cuatro diferentes tipos de sismos probables.

Este documento resume los antecedentes, aspectos metodológicos y los resultados más importantes, haciendo especial énfasis en los resultados de amenaza, vulnerabilidad, daños, afectaciones y pérdidas para escenarios de daños hipotéticos generados por sismos de la Falla Frontal de Magnitudes de 6.5, 7.0 y 7.3 y un sismo cercano de Magnitud 6.5.

CONTENIDO

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	ESTUDIOS DE ESCENARIOS DE DAÑOS	1
1.2	ENFOQUE CONCEPTUAL DEL PROBLEMA	1
1.3	SISTEMA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS PARA ANÁLISIS DE RIESGO - SEDAR	3
1.4	ALCANCES Y LIMITACIONES	4
1.5	INVENTARIO DE ELEMENTOS EXPUESTOS	4
2	ESCENARIOS DE AMENAZA SÍSMICA.....	5
2.1	SISMOS HISTÓRICOS SENTIDOS EN BOGOTÁ	5
2.2	AMENAZA SÍSMICA REGIONAL	5
2.3	ESCENARIOS EVALUADOS.....	8
2.3.1	Escenario 1. M6.5 a 50km.....	8
2.3.2	Escenario 2. M7.0 a 40km.....	8
2.3.3	Escenario 3. M7.3 a 35km.....	9
2.3.4	Escenario 4. M6.5 a 15km.....	9
3	VULNERABILIDAD	10
3.1	EDIFICACIONES	10
3.2	TUBERÍAS	10
4	ESCENARIO M6.5 A 50KM.....	12
4.1	EFFECTOS REGIONALES	12
4.2	EFFECTOS COLATERALES	12
4.3	DAÑOS FÍSICOS	12
4.3.1	Edificaciones de la base catastral	12
4.3.2	Edificaciones indispensables	15
4.3.3	Acueducto y alcantarillado	15
4.3.4	Gas natural	16
4.3.5	Energía eléctrica	16
4.3.6	Comunicaciones	18
4.3.7	Puentes	18
4.4	AFECTACIONES A LA POBLACIÓN	18
5	ESCENARIO M7.0 A 40 KM.....	20
5.1	EFFECTOS REGIONALES	20
5.2	EFFECTOS COLATERALES	20
5.3	DAÑOS FÍSICOS	21
5.3.1	Edificaciones de la base catastral	21
5.3.2	Edificaciones indispensables	23
5.3.3	Acueducto y alcantarillado	23
5.3.4	Gas natural	24
5.3.5	Energía eléctrica	24
5.3.6	Comunicaciones	26
5.3.7	Puentes	26

5.4	AFECTACIONES A LA POBLACIÓN	26
6	ESCENARIO M7.3 A 35KM.....	28
6.1	EFFECTOS REGIONALES	28
6.2	EFFECTOS COLATERALES	28
6.3	DAÑOS FÍSICOS	29
6.3.1	Edificaciones de la base catastral	29
6.3.2	Edificaciones indispensables	31
6.3.3	Acueducto y alcantarillado	31
6.3.4	Gas natural	32
6.3.5	Energía eléctrica	32
6.3.6	Comunicaciones	34
6.3.7	Puentes	34
6.4	AFECTACIONES A LA POBLACIÓN	34
7	ESCENARIO 6.5 A 15KM.....	36
7.1	EFFECTOS REGIONALES	36
7.2	EFFECTOS COLATERALES	36
7.3	DAÑOS FÍSICOS	36
7.3.1	Edificaciones de la base catastral	36
7.3.2	Edificaciones indispensables	38
7.3.3	Acueducto y alcantarillado	39
7.3.4	Gas natural	40
7.3.5	Energía eléctrica	40
7.3.6	Comunicaciones	42
7.3.7	Puentes	42
7.4	AFECTACIONES A LA POBLACIÓN	42
8	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	44
9	REFERENCIAS	47

ANEXO 1. RESULTADOS DE VULNERABILIDAD

ANEXO 2. RESULTADOS ESCENARIO DE UMBRAL DE DAÑO

ANEXO 3. RESULTADOS ESCENARIO DE SEGURIDAD LIMITADA

ANEXO 4. RESULTADOS ESCENARIO DE DISEÑO

ANEXO 5. RESULTADOS ESCENARIO DE DISEÑO ESPECIAL

ANEXO 6. RESULTADOS GENERALES DE TODOS LOS ESCENARIOS

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Definición del problema (FOPAE, 2009)	2
Figura 2. Cadena de acontecimientos (FOPAE, 2009)	2
Figura 3. Metodología de evaluación de vulnerabilidad y daños por sismo incluyendo efectos colaterales (FOPAE, 2010b) ..	3
Figura 4. Mapa de zonificación sísmica de Colombia (AIS, 2009)	6
Figura 5. Curvas de amenaza para Bogotá (AIS, 2009)	7
Figura 6. Curvas de amenaza para Bogotá (Ingeominas & Unal, 2010)	7
Figura 7. Índice de vulnerabilidad promedio de edificaciones por localidad	10
Figura 8. Factor de vulnerabilidad promedio de tuberías por localidad	11
Figura 9. Número de manzanas con daños fuertes y severos por localidad	13
Figura 10. Número de habitantes afectados por daños fuertes y severos de sus residencias por localidad	14
Figura 11. Pérdidas económicas directas edificaciones	14
Figura 12. Roturas de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas natural	16
Figura 13. Daño de cableados de energía y comunicaciones	17
Figura 14. Daño de torres y postes de energía y comunicaciones	17
Figura 15. Daño de Puentes vehiculares y peatonales	18
Figura 16. Número de heridos por localidad	19
Figura 17. Número de muertes por localidad	19
Figura 18. Número de manzanas con daños fuertes y severos por localidad	21
Figura 19. Número de habitantes afectados por daños fuertes y severos de sus residencias por localidad	22
Figura 20. Pérdidas económicas directas edificaciones	22
Figura 21. Roturas de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas natural	24
Figura 22. Daños de cableados de energía y comunicaciones	25
Figura 23. Daño de torres y postes de energía y comunicaciones	25
Figura 24. Daño de Puentes vehiculares y peatonales	26
Figura 25. Número de heridos por localidad	27
Figura 26. Número de muertes por localidad	27
Figura 27. Número de manzanas con daños fuertes y severos por localidad	29
Figura 28. Número de habitantes afectados por daños fuertes y severos de sus residencias por localidad	30
Figura 29. Pérdidas económicas directas edificaciones	30
Figura 30. Roturas de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas natural	32
Figura 31. Daños de cableados de energía y comunicaciones	33

Figura 32. Daños de torres y postes de energía y comunicaciones.....	33
Figura 33. Daño de Puentes vehiculares y peatonales.....	34
Figura 34. Número de heridos por localidad	35
Figura 35. Número de muertes por localidad	35
Figura 36. Número de manzanas con daños fuertes y severos por localidad.....	37
Figura 37. Número de habitantes afectados por daños fuertes y severos de sus residencias por localidad	37
Figura 38. Pérdidas económicas directas edificaciones	38
Figura 39. Roturas de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas natural	40
Figura 40. Daños de cableados de energía y comunicaciones.....	41
Figura 41. Daños de torres y postes de energía y comunicaciones.....	41
Figura 42. Daño de Puentes vehiculares y peatonales.....	42
Figura 43. Número de heridos por localidad	43
Figura 44. Número de muertes por localidad	43

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Métodos de evaluación de vulnerabilidad, daño y afectaciones implementados	4
Tabla 2. Cantidad de edificaciones, líneas vitales y población de Bogotá	4
Tabla 3. Sismos históricos sentidos en Bogotá (Dimate et al., 2005 y 2006)	5
Tabla 4. Escenarios de amenaza considerados	8
Tabla 5. Consolidado de daños en edificaciones indispensables	15
Tabla 6. Consolidado de daños en edificaciones indispensables	23
Tabla 7. Consolidado de daños en edificaciones indispensables	31
Tabla 8. Consolidado de daños en edificaciones indispensables	39
Tabla 9. Consolidado de daños, afectaciones y pérdidas	45

GLOSARIO

Acelerógrafo: equipo electrónico de recogida de datos en tiempo real, equipado con sensores que miden la aceleración del terreno.

Acelerograma: registro de la variación temporal de las aceleraciones en un punto y en una dirección. Se obtiene de un acelerógrafo.

Algoritmo: secuencia explícita y finita de operaciones que conduce a la solución de un problema.

Amenaza sísmica: valor esperado de futuras acciones sísmicas y se expresa en términos de sus probabilidades de excedencia.

Amenaza: condición latente derivada de la posible ocurrencia de un fenómeno físico de origen natural, socionatural o antrópico no intencional, que puede causar daño a la población y sus bienes, la infraestructura, el ambiente y la economía pública y privada.

Amortiguamiento: capacidad de un sistema o cuerpo para disipar energía.

Aplicación: programa informático, que se ejecuta sin necesidad de otro programa.

Basamento rocoso: espacio donde se encuentran las formaciones de roca, entendiendo como roca al material de velocidad de onda cortante superior a 750 m/s.

Base de datos: conjunto de datos estructurado para permitir su almacenamiento, consulta y actualización en un sistema informático.

Capacidad de respuesta: capacidad de la sociedad, de las instituciones y de la población para reaccionar adecuadamente en los instantes de emergencia y responder al impacto, controlarlo y recuperarse.

Cortical: relativo a la corteza terrestre.

Daño: materialización del riesgo en el tiempo y en el espacio.

Desastre: interacción entre un fenómeno geofísico extremo y una condición vulnerable, traducido en pérdidas económicas y humanas en una escala totalmente por fuera de las capacidades y recursos de la administración local.

Deslizamiento: conjunto de movimientos descendentes, a diferentes velocidades, de un volumen de roca y/o suelo sobre una o varias superficies de ruptura, bajo la acción de la gravedad, que pueden ser activados por la acción del agua, por sismos o modificaciones realizadas por el hombre a las condiciones de las laderas.

Espectro de respuesta: representación gráfica de los valores máximos de aceleración, velocidad o desplazamiento de osciladores de un grado de libertad para diferentes periodos de vibración.

Factores de amplificación: valor en el cual se modifica la demanda sísmica a causa de los suelos o efectos topográficos, para periodos de vibración cortos (Fa) y otro para periodos de vibración largos (Fv).

Falla sismogénica: falla en donde se generan sismos de manera recurrente.

Falla: fractura o zona de fractura en rocas a lo largo de la cual los dos lados se han desplazado, uno con relación a otro.

Función de transferencia: representación de la respuesta sísmica de un depósito de suelo como medida de la amplificación que ocasiona para diferentes frecuencias de vibración.

Licuaación: proceso en el que el suelo se comporta como un fluido denso más que como un sólido húmedo debido al aumento de la presión del agua contenida en el mismo al suceder un evento sísmico, perdiendo así su capacidad portante.

Microtrepidaciones: ensayo geofísico que mide la vibración natural del terreno con sensores tipo acelerógrafos, con este ensayo es posible determinar los periodos de vibración natural de los depósitos.

Microzonificación sísmica: conjunto de actividades necesarias para determinar los niveles de amenaza sísmica y respuesta sísmica de los terrenos de un área de interés.

Periodo fundamental: tiempo que dura un elemento en hacer una oscilación libre, es función de la rigidez y masa.

Prevención: políticas y acciones que buscan evitar la generación de nuevos riesgos.

Relación espectral: representación de la respuesta sísmica de un depósito de suelo como medida de la amplificación que ocasiona para diferentes periodos de vibración.

Resonancia: aumento de la amplificación por la coincidencia de los periodos de vibración del medio incidente o suelo con el periodo de vibración del elemento o edificación.

Riesgo: conjugación de la amenaza, la vulnerabilidad y la capacidad de respuesta de la sociedad. Cuanto mayor sean la amenaza y la vulnerabilidad, y menor sea la capacidad de respuesta, mayor es el riesgo.

Vulnerabilidad: característica propia de un elemento o grupo de elementos expuestos a una amenaza, relacionada con su incapacidad física, económica, política o social de anticipar, resistir y recuperarse del daño sufrido cuando opera dicha amenaza.

Zona de Benioff: zona estrecha definida por los focos de terremotos, de un espesor de unas decenas de kilómetros, que desciende desde la superficie bajo la corteza terrestre.

Zona de subducción: zona larga y angosta en un límite de placas convergentes, donde una placa oceánica desciende insertándose debajo de otra placa; por ejemplo, la subducción de la placa de Nazca debajo de la placa Sudamericana.

Zonificación geotécnica: representación geográfica de áreas de homogéneo comportamiento geotécnico, es decir que guarden similitud de materiales y espesores.

Zonificación respuesta sísmica: representación geográfica de áreas de homogéneo comportamiento ante las ondas sísmicas, es decir que tengan similar amplificación y respuesta espectral.

1 INTRODUCCIÓN

La ciudad de Bogotá de acuerdo con el Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia (AIS, 2009), se localiza en una zona de amenaza sísmica intermedia, con una aceleración máxima probable A_a de 0.15 g para un periodo de retorno de 475 años. Las principales fuentes sismogénicas que dominan la amenaza sísmica en la ciudad según este estudio, en orden son Frontal Cordillera Oriental, Benioff y Salinas. Los datos históricos indican que en la ciudad tres sismos han causado daños (1785, 1827 y 1917) cuyos epicentros han sido localizados en el Páramo de Chingaza (Cundinamarca), Timaná (Huila) y Páramo de Sumapaz (Cundinamarca), respectivamente. Recientemente, los sismos de Tauramena ocurrido el 19 de enero de 1995 y de Quetame el 24 de mayo de 2008 fueron consecuencia del fracturamiento en el sistema Frontal de la Cordillera Oriental, con magnitudes M_l de 6.5 y 5.7, a unas distancias de 130 y 40 km respectivamente, y produjeron en Bogotá fracturas en muros y otros daños menores.

Por otro lado, la ciudad presenta un desarrollo heterogéneo de sus construcciones, debido entre varias razones a que el primer código de construcción sismorresistente fue del año 1984, el cual fue posteriormente actualizado en el año 1998 y recientemente en el año 2010 (AIS, 2010). Además, las condiciones socioeconómicas de la mayoría de los habitantes de la ciudad han llevado a que las viviendas no sean sismorresistentes por los costos de la construcción. Teniendo en cuenta que en la ciudad se encuentra las principales entidades del gobierno nacional, regional y distrital, así como las industrias de producción, bienes y servicios más importantes del país, la posible afectación de estas puede llegar a causar un gran impacto en el desarrollo del país. Con base en este panorama, la ciudad de Bogotá presenta un alto grado de vulnerabilidad sísmica, entendido como una baja capacidad de estos elementos para resistir adecuadamente la amenaza sísmica, que en este caso corresponden a las acciones de un sismo de considerable energía.

Por lo anterior, es necesario plantear escenarios de daño, que consisten básicamente en proponer panoramas hipotéticos de acuerdo con los eventos sísmicos probables, con el fin de identificar las áreas afectadas según las características de las construcciones, edificaciones y líneas vitales, número de afectados (heridos y víctimas) diferenciados si el evento ocurre de día o de noche, pérdidas económicas directas, entre otros. Este tipo de escenarios son un insumo fundamental para enfocar estrategias de reducción del riesgo, como orientar el ordenamiento territorial, mejorar la percepción del riesgo existente, orientar los planes de respuesta por terremoto y soporte de los planes de rehabilitación y reconstrucción.

1.1 ESTUDIOS DE ESCENARIOS DE DAÑOS

Con anterioridad a este proyecto se han realizado estudios que han involucrado temas similares, como lo fue el Estudio de Microzonificación Sísmica de Bogotá (Ingeominas & Uniandes, 1997), el Estudio para la Prevención de Desastres en el Área Metropolitana de Bogotá (JICA, 2002) y el Estudio de Escenarios de Riesgo y Pérdida por Terremoto para Bogotá (Uniandes, 2005).

Desde el año 2009 el grupo escenario de daños de la Coordinación de Investigación y Desarrollo del Fondo de Prevención y Atención de Emergencias (FOPAE) trabaja en la actualización y sistematización de escenarios de daño por terremoto para Bogotá (FOPAE, 2010b). El principal resultado obtenido a finales del año 2010 es el aplicativo SEDAR (Sistema de Evaluación de Daños para Análisis de Riesgo) el cual constituye una herramienta versátil que permite evaluar espacialmente los daños probables en edificaciones y líneas vitales, y las consiguientes afectaciones a la población considerando diferentes escenarios de amenaza sísmica. Durante el año 2011 se han realizado varias evaluaciones de daños y afectaciones con base en la información disponible a la fecha, los resultados que se presentan a continuación corresponden a las evaluaciones realizadas en septiembre y octubre de 2011.

1.2 ENFOQUE CONCEPTUAL DEL PROBLEMA

La ocurrencia de un evento sísmico desencadena una serie de fenómenos que se ilustran de manera esquemática en la **Figura 1**.

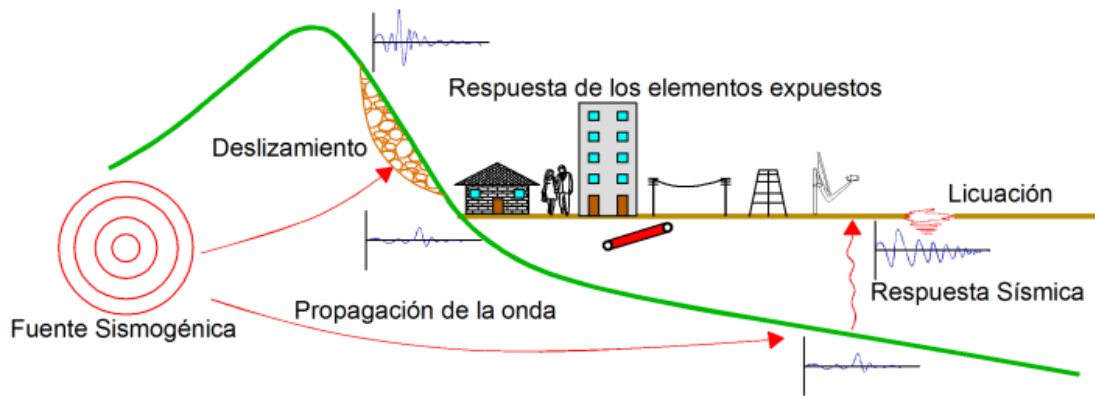


Figura 1. Definición del problema (FOPAE, 2009)

Para ilustrar la situación, imaginémosnos que ocurre un sismo en la falla frontal (sismo), se propaga la onda sísmica por el basamento rocoso (atenuación), por efecto de los suelos y topografía se amplifica (respuesta sísmica), las ondas en superficie mueven los edificios y le ocasionan daños a las estructuras (repuesta de los elementos – daños iniciales), el daño del terreno (licuación o deslizamiento) se convierte en una amenaza potencial para el entorno, si llega a colapsar el terreno afectaría una zona de impacto (propagación) produciendo daños a otros edificios, redes, afectados y víctimas (efectos secundarios), los efectos secundarios se pueden propagar y volver a generar daños, los cual se puede repetir varias veces, esta secuencia de acontecimientos se resumen en la **Figura 2**.

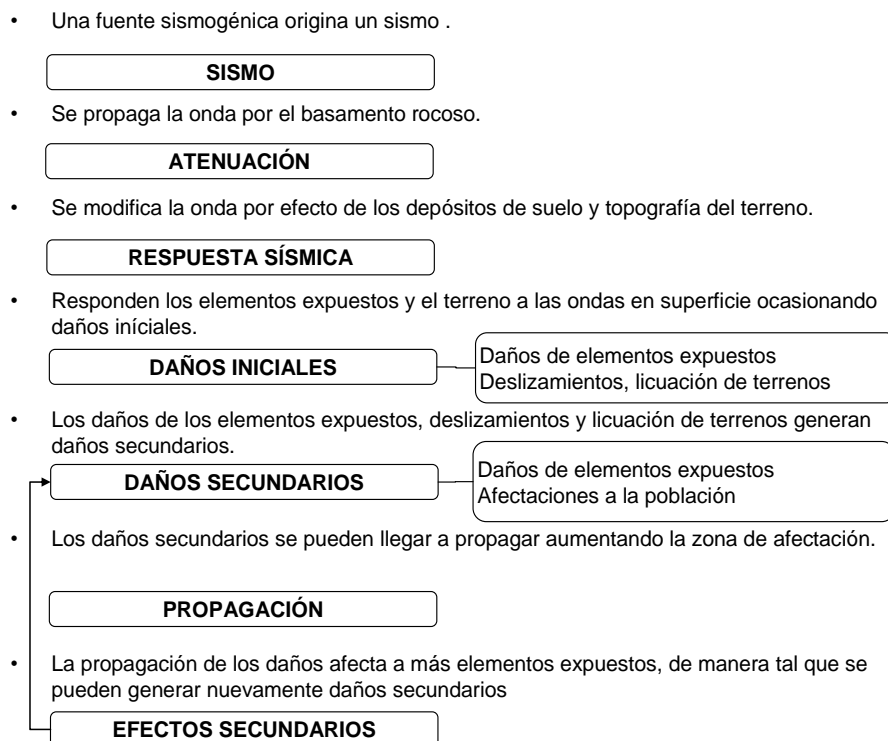


Figura 2. Cadena de acontecimientos (FOPAE, 2009)

La cadena de acontecimientos ilustra los daños y afectaciones directas por la ocurrencia de un sismo, además hay afectaciones indirectas a la sociedad, economía y el desarrollo de la ciudad y del país. Bajo este enfoque el alcance de las evaluaciones que se realizan se concentran en la cuantificación de los daños iniciales y daños secundarios únicamente.

1.3 SISTEMA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS PARA ANÁLISIS DE RIESGO - SEDAR

De acuerdo con el enfoque conceptual del problema y tras la revisión de varias metodologías de evaluación de daños por sismo (Lantada, 2007; Oliveira et al., 2006) se desarrolló SEDAR, el cual realiza la evaluación integral de los daños por sismo considerando tanto los daños directos causados por el movimiento inicial como aquellos daños originados por las fallas inducidas en el terreno o efectos colaterales (licuación y deslizamiento). La metodología general para evaluar los daños y afectaciones que incluye efectos colaterales se puede observar en la **Figura 3**.

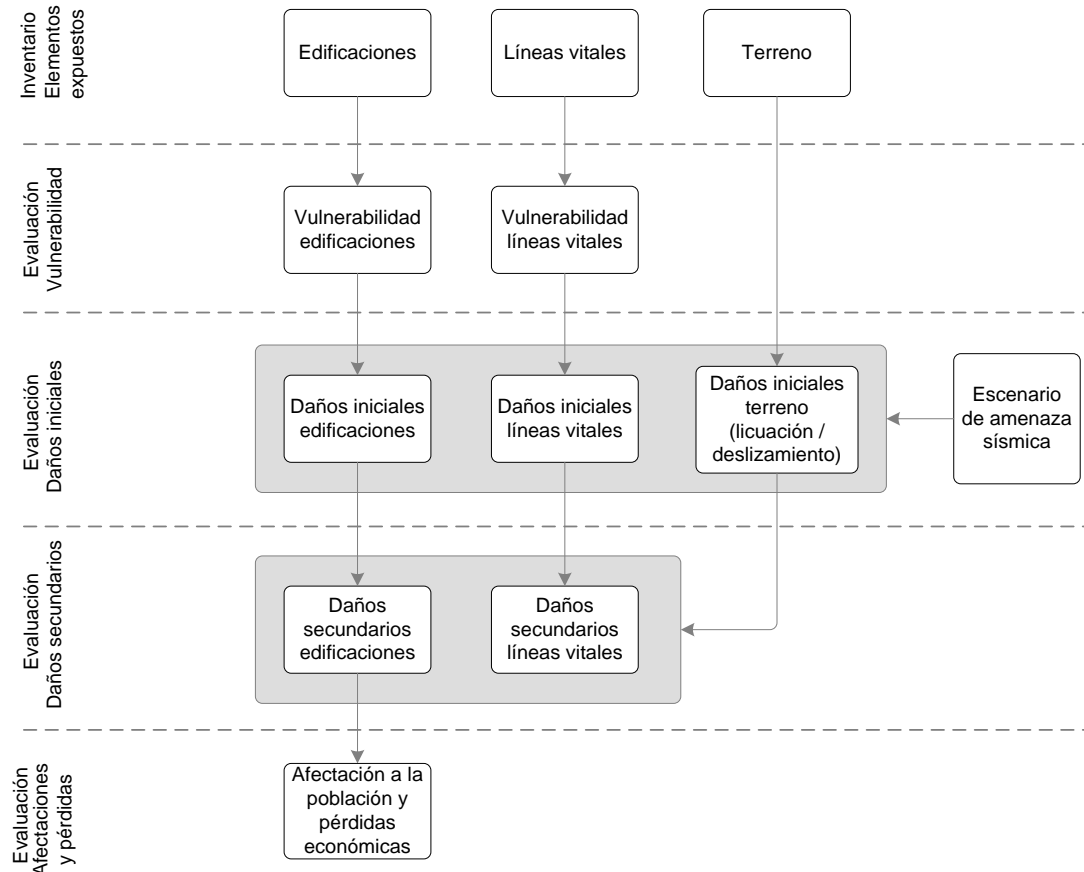


Figura 3. Metodología de evaluación de vulnerabilidad y daños por sismo incluyendo efectos colaterales (FOPAE, 2010b)

La metodología desarrollada para SEDAR dividió el problema en cinco etapas, la primera corresponde al inventario de elementos expuestos, la segunda a la valoración de su vulnerabilidad, la tercera es propiamente la cuantificación de los daños iniciales, la cuarta etapa es la evaluación de daños secundarios por efectos colaterales y la quinta evaluación corresponde a las afectaciones a la población y pérdidas económicas directas de las edificaciones. Para cada etapa se tiene en cuenta tres grandes categorías de elementos: edificaciones, líneas vitales y el terreno, este último considerado como elemento expuesto a sufrir daños como licuación y deslizamiento. Adicionalmente en la etapa de evaluación de daños iniciales se requiere de la definición del escenario de amenaza para el cual se están realizando las evaluaciones.

El flujo de información, evaluaciones y resultados es de la siguiente manera: se identifican y localizan los elementos expuestos, edificaciones, líneas vitales y zonas del terreno potencialmente licuables o susceptibles a deslizamientos; los tipos de elementos que cuentan con métodos de evaluación de vulnerabilidad se evalúan; luego con base en los resultados de vulnerabilidad o directamente a partir de las características del elemento y tomando los niveles de intensidad sísmica del escenario considerado se estiman los daños iniciales de las edificaciones, líneas vitales y del terreno; los resultados de los daños iniciales de las edificaciones y de las líneas vitales se corrigen por los daños del terreno evaluados, licuación y deslizamiento, para obtener los daños secundarios de los cuales se evalúan las afectaciones a la población y pérdidas.

Finalmente, la evaluación de la vulnerabilidad, daños y afectaciones de los elementos expuestos se realiza mediante métodos reconocidos que fueron adaptados e implementados en la aplicación, a la fecha SEDAR cuenta con más de 12 métodos implementados, y gracias al diseño conceptual y al modelos de datos implementado es posible incorporar nuevos métodos de evaluación e información de elementos expuestos al sistema, de manera tal que puede mantenerse actualizada la aplicación y con posibilidades de crecimiento. En la **Tabla 1** se resumen los métodos implementados en el sistema.

Autor	Elemento	Resultado
Benedetti & Petrini (1984)	Edificaciones	Índice de Vulnerabilidad
Japan Waterworks Association (1998)	Tubería	Factor de vulnerabilidad
Benedetti & Petrini (1984)	Edificaciones	Índice de daño
Miranda (1999)	Edificaciones	Índice de daño
Kubo & Katayama (1975)	Tubería	Tasa de roturas
Jica (2002)	Cableado	Porcentaje de daño
ALA (2001)	Tanques	Estado de daño
Risk Management Solutions Inc (1997)	Puentes	Estado de daño
Geo Hazard International (1999), FEMA (2003)	Vías	Porcentaje de daño
Iwasaki et al. (1978)	Terreno	Estado de daño licuación
Jibson et al. (1998)	Terreno	Estado de daño deslizamiento
FOPAE (2010b)	Edificaciones Líneas vitales	Daños por efectos colaterales
Corbun y Spence (1992)	Población	Heridos, víctimas
FOPAE (2010b)	Edificaciones	Pérdidas económica

Tabla 1. Métodos de evaluación de vulnerabilidad, daño y afectaciones implementados

1.4 ALCANCES Y LIMITACIONES

El alcance de las modelaciones realizadas con SEDAR está relacionado directamente con la información recopilada, además el nivel de detalle que se logre dependerá de varios aspectos como la cantidad y calidad de los datos, la escala de trabajo, las unidades de análisis definidas (lote, manzana, sector, etc.), las limitaciones propias de los modelos empleados, entre otros.

Los resultados de SEDAR siempre se deben tomar como indicativos o estimaciones que servirán para identificar sectores con mayores daños y afectaciones, no reemplazan los análisis de vulnerabilidad sísmica ni estudios detallados para evaluar el riesgo sísmico de estructuras indispensables o líneas vitales.

1.5 INVENTARIO DE ELEMENTOS EXPUESTOS

Se recopiló información actualizada de los años 2009 y 2010 del Departamento Nacional de Estadística, Catastro Distrital, Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá, Empresa de Energía de Bogotá, Empresa de Gas Natural, Empresa de Teléfonos de Bogotá, el Instituto de Desarrollo Urbano, entre otros. Adicionalmente se recopiló información de la región del sistema de transporte, suministro de agua, gas y energía. El número de elementos expuestos recopilados se resumen en la **Tabla 2**.

Elemento	Cantidad	Elemento	Cantidad
Número de predios	2'086,111	Kilómetros red alcantarillado	7,748
Número de lotes	887,534	Kilómetros red gas natural	1,898
Número de manzanas	43,225	Kilómetros red energía	4,759
Número de ed. indispensables	200	Kilómetros red comunicaciones	5,060
Número de habitantes	7'350,582	Número de puentes vehiculares	165
Número de tanques almacenamiento	78	Número de puentes peatonales	148
Kilómetros red acueducto	7,982	Kilómetros red vial	15,063

Tabla 2. Cantidad de edificaciones, líneas vitales y población de Bogotá

CAPÍTULO 2

2 ESCENARIOS DE AMENAZA SÍSMICA

En el presente capítulo se resumen los resultados de los análisis de amenaza que condujeron a la definición de los escenarios de trabajo con sus respectivos mapas de intensidades a nivel regional y mapas de respuesta sísmica a nivel local para la ciudad de Bogotá.

2.1 SISMOS HISTÓRICOS SENTIDOS EN BOGOTÁ

La ciudad de Bogotá ha sido afectada históricamente por la actividad sísmica de la región, registros del siglo XVII a la fecha ratifican que se han sentido en Bogotá por lo menos nueve sismos con intensidad entre VI y VIII en la escala de Mercalli Modificada (desde daños leves a daños moderados). En la **Tabla 3** se resumen las intensidades percibidas y afectaciones reportadas por los principales sismos históricos.

Los sismos que han afectado a la ciudad provienen principalmente del sistema de falla Frontal de la cordillera oriental. Las intensidades sísmicas reportadas se deben analizar con cuidado ya que corresponden a interpretaciones realizadas con base en los reportes de daños en periódicos o libros de la época, limitándose a un valor de intensidad general para la zona urbana de esa época de la ciudad.

2.2 AMENAZA SÍSMICA REGIONAL

De acuerdo con los estudios más recientes de amenaza sísmica de Colombia (AIS, 2009 e Ingeominas & Unal, 2010) la ciudad de Bogotá (zona urbana) se encuentra en Amenaza Sísmica Intermedia en la zonificación sísmica de Colombia (Ver **Figura 4**).

Año	Epicentro	Mag	Dist. Btá (Km)*	MMI Btá	Afectaciones en Bogotá
1616	Cajicá (Cund)	?	40	?	
1644	Chipaque (Cund)	~6	15	VI	Posible licuación en las márgenes del río Tunjuelo
1646	Sogamoso (Boyacá)	?	180	?	
1724	Chita (Boyacá)	~6¾	250	?	
1743	Páramo de Chingaza (Cund)	~6½	35	VII	Afectó la ermita de Guadalupe, relatos de daños "gravísimos" a iglesias y conventos
1755?	Gámeza (Boyacá)	?	200	?	
1785	Páramo de Chingaza (Cund)?	~6¾ - 7¼	60?	VIII	Afectó la ermita de Guadalupe, relatos de la severidad del evento y de los daños
1805	Honda (Tolima)	~6¾	100	?	
1826	Sopo (Cund)	~6¼	30	VII	
1827	Timaná (Huila)	~7¾	350	VIII	Afectó la ermita de Guadalupe
1917	Páramo Sumapaz (Cund)	~7.1	45	VIII	6 muertos, 12 heridos, 400 casas afectadas y 50 colapsadas, daños a la ermita de Guadalupe y de Chapinero
1923	Gachalá (Cund)	~6¾	70	VII	
1928	Chinavita (Boyacá)	~5¾	100	?	
1967	Los Cauchos (Huila)	7.0	200	VI	13 muertos, 100 heridos, 30 inmuebles afectados, daños a la ermita de Guadalupe
1979	El Cairo (Valle)	7.2	180	VI	
1994	Páez (Cauca)	6.8	290	IV	
1995	Tauramera (Casanare)	6.5	130	V	
1999	Córdoba (Quindío)	6.1	180	III	
2008	Quetame (Cund)	5.7	35	V	Causó daños menores en el edificio de la Lotería de Bogotá.

*Distancia a la Plaza de Bolívar, MMI Intensidad de Mercalli Modificada

Tabla 3. Sismos históricos sentidos en Bogotá (Dimate et al., 2005 y 2006)

El estudio de AIS (2009) para el país identificó un total de 35 fuentes sísmicas que contribuyen a la amenaza, de esas 35 fuentes se identificaron 5 fuentes que se constituyen como las de mayor contribución a la amenaza total en Bogotá; Frontal de la Cordillera Oriental Centro, Benioff Intermedia II, Salinas, Benioff Profunda y Subducción Centro. Las curvas de amenaza para Bogotá se muestran en la **Figura 5**, donde se puede observar que la amenaza en Bogotá está prácticamente controlada por la actividad de la Falla Frontal.

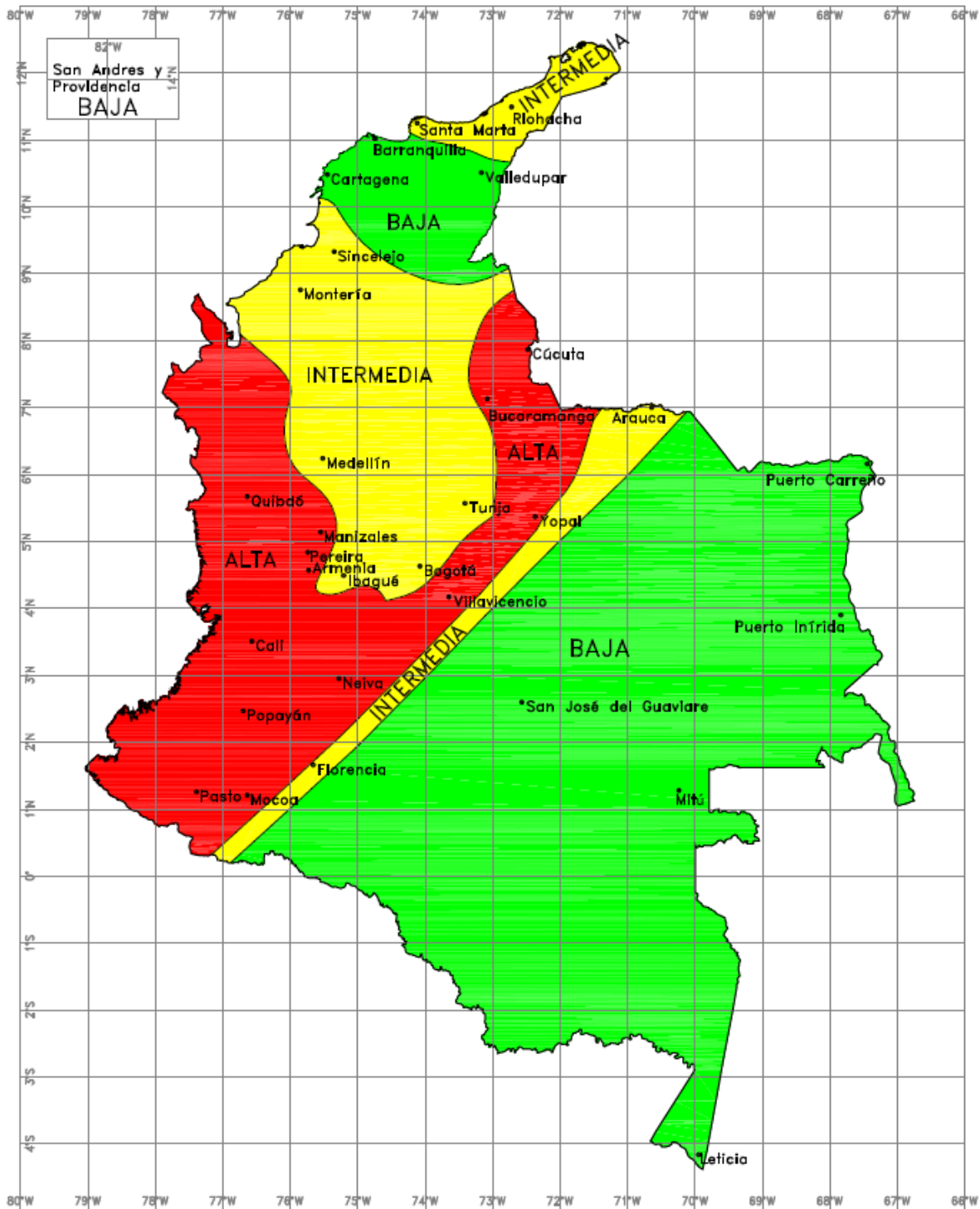


Figura 4. Mapa de zonificación sísmica de Colombia (AIS, 2009)

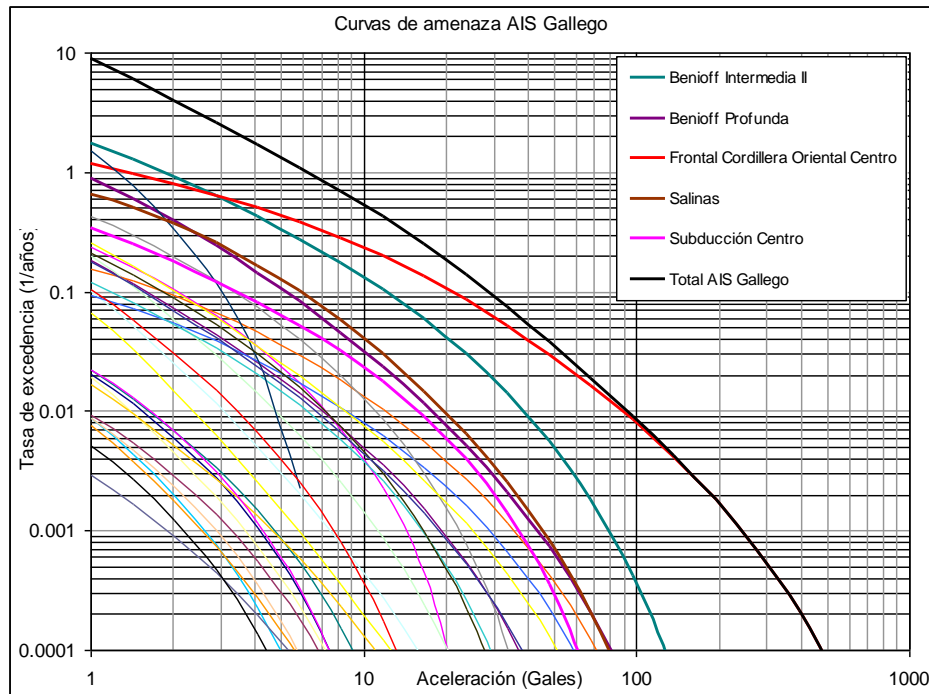


Figura 5. Curvas de amenaza para Bogotá (AIS, 2009)

El estudio de Ingeominas-Unal para el país identificó un total de 48 fuentes sísmicas que contribuyen a la amenaza, 39 de ellas son de tipo cortical, 3 son de tipo subducción, 4 son profundas y se consideraron 2 fuentes de tipo área. De esas 48 fuentes se identificaron 5 fuentes que se constituyen en mayor medida a la amenaza en la ciudad de Bogotá, que corresponden a: Guaicaramo Servitá, Quetame Santa María Soápaga, Honda Suarez, Algeciras Altamira y Benioff, de las cuales la amenaza está prácticamente controlada por la actividad de Quetame Santa María Soápaga. En la **Figura 6**, se observan las curvas de amenaza correspondientes a cada una de estas fuentes y la amenaza total.

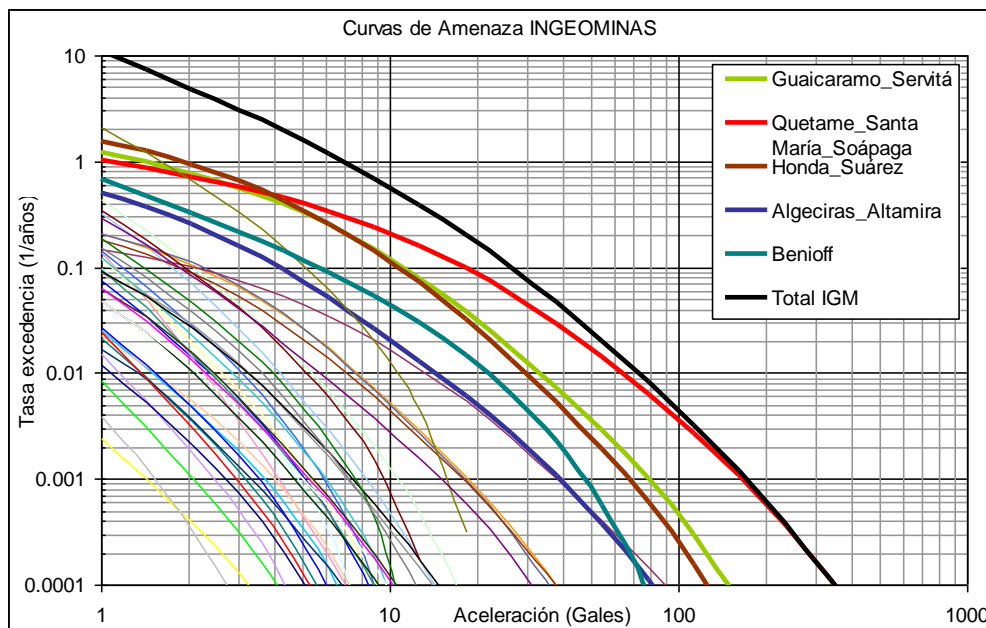


Figura 6. Curvas de amenaza para Bogotá (Ingeominas & Unal, 2010)

2.3 ESCENARIOS EVALUADOS

Un punto muy importante en el proceso de evaluar los daños, afectaciones y pérdidas es la correcta definición de escenarios de amenaza sísmica, los cuales deben representar lo mejor posible los sismos que se generen y lleguen a afectar a la ciudad. Para definir los escenarios es necesario contar con la desagregación de la amenaza sísmica, de este modo se pueden caracterizar los sismos probables y la distancia de la ciudad al lugar en que ocurren, los estudios de amenaza “AIS, 2009” e “INGEOMINAS, 2010” han trabajado con tres fuentes sismogénicas; una cercana a menos de 20 km de la ciudad, una regional dominada por la falla Frontal entre 40 y 60 km y una lejana correspondiente a la zona de subducción a más de 200 km aproximadamente.

La definición precisa de los escenarios de amenaza sísmica se realizó teniendo en cuenta los resultados de la actualización del Mapa Nacional de Amenaza Sísmica de Colombia “AIS, 2009” e “INGEOMINAS, 2010”, los sismos históricos que han afectado a la ciudad y el reglamento NSR-10 para edificaciones. Los resultados se presentan en la **Tabla 4**.

Escenario	Fuente	Magnitud MI	Distancia (km)	Periodo de retorno (años)
Umbral de daño M6.5 a 50 km	Regional	6.5	50	30
Seguridad limitada M7.0 a 40 km	Regional	7.0	40	225
Diseño M7.3 a 35 km	Regional	7.3	35	475
Diseños especiales M6.5 a 15 km	Cercana	6.5	15	1000

Tabla 4. Escenarios de amenaza considerados

Es importante mencionar que estos son los escenarios propuestos después de analizar varias opciones, sin que esto quiera decir que no se puedan modelar más escenarios, ya que el sistema permite registrar más de estos y hacer todas las evaluaciones para las condiciones que se definan de amenaza sísmica.

Se trabajó a nivel regional la zona del departamento de Cundinamarca, para el cual se establecieron las posibles intensidades en suelo firme con base en los estudios de amenaza sísmica del país (AIS, 2009 e INGEOMINAS, 2010). A nivel local se trabajó con la zonificación de respuesta sísmica de Bogotá (FOPAE, 2010) que define las zonas de la ciudad respecto a su comportamiento sísmico.

2.3.1 Escenario 1. M6.5 a 50 km

El escenario de umbral de daño considera un sismo generado por una fuente regional con una magnitud de 6.5 en la escala de Richter, a una distancia promedio de 50 kilómetros y una profundidad de 25 kilómetros, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 30 años.

El escenario de umbral de daño presenta intensidades regionales entre IV y V lo cual corresponde a PGA entre 0.014 g y 0.092 g, gran parte de Cundinamarca se encuentra entre intensidad V y tan solo la zona del distrito capital y la parte norte del departamento se encuentra en intensidad IV y por tal razón, en términos generales los daños probables esperados para este escenario son mínimos en todos los elementos expuestos.

A nivel local los terrenos presentarían PGA entre 0.05 g a 0.15 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.25 g a 0.40 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.15 g a 0.25 g.

2.3.2 Escenario 2. M7.0 a 40 km

El escenario de seguridad limitada considera un sismo generado por una fuente regional con una magnitud de 7.0 en la escala de Richter a una distancia promedio de 40 km y una profundidad de 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 225 años.

El escenario de seguridad limitada presenta intensidades regionales entre VI y VII lo cual corresponde a PGA entre 0.092 g y 0.34 g, en este escenario la mayor parte del departamento de Cundinamarca presenta intensidad de VI; sin embargo, existe una franja hacia el suroccidente que presenta intensidad de VII en donde probablemente se encontrarán los mayores daños.

A nivel local los terrenos presentarían PGA entre 0.07 g a 0.22 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.35 g a 0.60 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.30 g a 0.45 g.

2.3.3 Escenario 3. M7.3 a 35 km

El escenario de diseño considera un sismo generado por una fuente regional con una magnitud de 7.3 en la escala de Richter a una distancia promedio de 35 km y una profundidad de 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 475 años.

El escenario de diseño presenta intensidades regionales de VI, VII y VIII. Estas intensidades corresponden a PGA entre 0.092 g y 0.65 g, los sectores con mayores intensidades VII y VIII se encuentran en el suroccidente de la zona de análisis. Al igual que en el escenario anterior, es probable que los mayores daños se presenten en estos sectores.

A nivel local los terrenos presentarían PGA entre 0.12 g a 0.27 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.4 g a 0.7 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.4 g a 0.5 g. Se destacan aceleraciones espectrales de 0.4 g en periodos largos en la zona lacustre.

2.3.4 Escenario 4. M6.5 a 15 km

El escenario de diseño especial planteado considera un sismo generado por una fuente cercana¹ con una magnitud de 6.5 en la escala de Richter a una distancia promedio de 15 km y una profundidad de 15 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 1000 años.

El escenario de diseño especial presenta intensidades regionales entre VII y VIII, donde las mayores intensidades serían en la zona epicentral, probablemente en el suroriente de la ciudad.

A nivel local los terrenos presentarían PGA entre 0.15 g a 0.35 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.5 g a 0.85 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.5 g a 0.6 g. Se destacan picos de aceleraciones espectrales de 0.6 g en la zona lacustre en periodos largos (1.0 s – 2.0 s).

¹ Las fuentes cercanas a la ciudad no se les ha comprobado su actividad sísmica, se considera esta fuente ya que ha sido tenida en cuenta en los anteriores estudios de escenarios de daño.

3 VULNERABILIDAD

Algunas de las metodologías para la evaluación de daños en edificaciones y líneas vitales consideran establecer la vulnerabilidad sísmica de estos elementos como etapa previa para la evaluación de los daños en cada escenario de amenaza. Este numeral presenta los resultados de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de aquellos elementos para los que la metodología de evaluación de daños así lo considera.

3.1 EDIFICACIONES

A partir de la base de datos catastral actualizada a diciembre de 2010 se estimaron los índices de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de la ciudad. En términos generales los índices de vulnerabilidad son medios a altos (ver **Figura 7**), las localidades Candelaria, Tunjuelo y Santa Fe son las que presentan mayores índices de vulnerabilidad sísmica promedios entre 45% y 50%; las localidades de Bosa y Kennedy tienen índices promedios menores con valores entre el 25% y 30%.

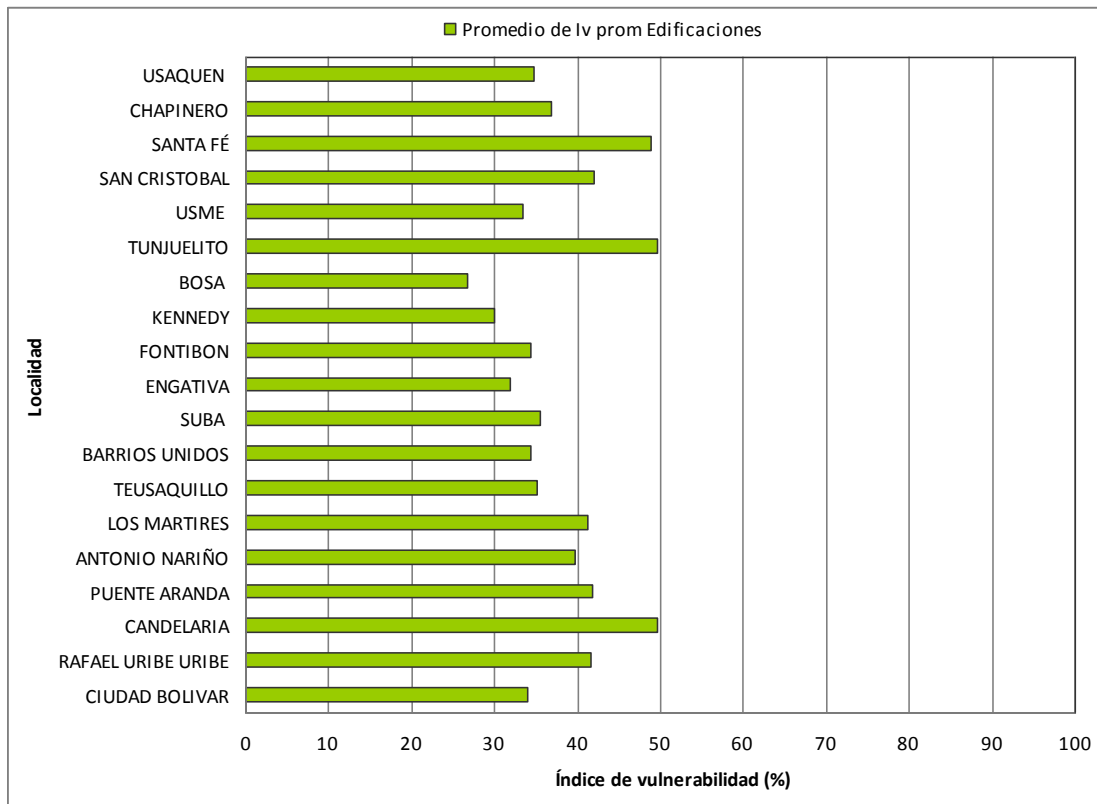


Figura 7. Índice de vulnerabilidad promedio de edificaciones por localidad

3.2 TUBERÍAS

Con base en la información de la EAAB y Gas Natural se evaluó el factor de vulnerabilidad de las tuberías. En general los valores más altos se encuentran en las zonas de terrenos inestables y blandos, siendo por materiales y diámetros la red de alcantarillado la más vulnerable, seguida de la red de acueducto y la menos vulnerable la red de gas natural. Los resultados por localidad del factor de vulnerabilidad se muestran en la **Figura 8**.

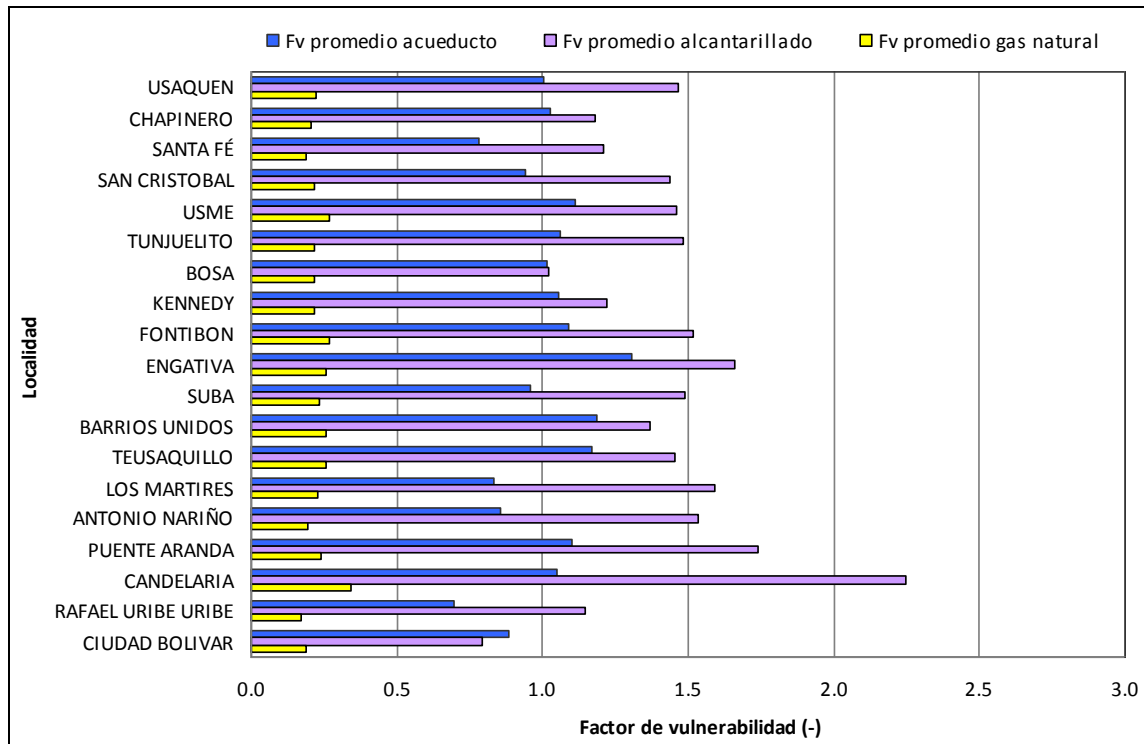


Figura 8. Factor de vulnerabilidad promedio de tuberías por localidad

4 ESCENARIO M6.5 A 50 KM

El escenario de amenaza considerado trata de un sismo generado en la Falla Frontal de una magnitud de 6.5 en la escala de Richter a una distancia promedio de 50 km y una profundidad de 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 30 años.

Este escenario presenta intensidades regionales, sin incluir efectos locales, entre IV y V, en este escenario la mayor parte del departamento de Cundinamarca presenta intensidad de IV, sin embargo existe una franja hacia el suroccidente que presenta intensidad de V en donde probablemente se encontrarán los mayores daños (Ver Anexo 2).

A nivel local los terrenos de Bogotá experimentarían aceleraciones pico entre 0.05 g a 0.15 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.25 g a 0.40 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.15 g a 0.25 g (Ver Anexo 2).

4.1 EFECTOS REGIONALES

El escenario de umbral de daño presenta intensidades entre IV y V lo cual corresponde a PGA entre 0.014 g y 0.092 g sin incluir efectos de sitio, gran parte de Cundinamarca se encuentra en intensidad V y tan solo la zona del distrito capital y la parte norte del departamento se encuentra en intensidad IV. Por tal razón, en términos generales los daños probables esperados para este escenario son mínimos en todos los elementos expuestos excepto en la zona epicentral.

El porcentaje máximo de daño es de 5% para el caso de los citigates en la red de gas natural y las estaciones y subestaciones en la red de electricidad; estos daños se refieren básicamente a las estructuras que componen estos sistemas.

A pesar de que el porcentaje de daño en la malla vial y férrea es nulo, es posible esperar caída de rocas sueltas y pequeños deslizamientos de material térreo suelto, especialmente después de períodos de lluvia, en los corredores viales del oriente y el occidente ya que parte de estas vías atraviesan la zona de intensidad V. En cuanto a la red de acueducto, el sistema más vulnerable es el sistema Wiesner que está ubicado hacia el oriente del distrito capital y por tanto más cercano a las fuentes sismogénicas que presentan mayor amenaza a la ciudad. Por su parte la red gas natural y la red de energía también podrían presentar daños menores debido a que parte de su trazado atraviesa la zona de intensidad V.

4.2 EFECTOS COLATERALES

Con base en la zonificación geotécnica de Bogotá (FOPAE 2010a), en la ciudad se detectaron cuatro zonas con potencial de licuación: Aluvial, Cauces, Llanura A y Llanura B), de estas zonas las que presentan mayor susceptibilidad ante licuación se encuentran en las cercanías del río Tunjuelito (Ver Anexo 2).

Por otro lado, a partir de la geología de cerros homologada para ingeniería (FOPAE, 2010a), las zonas con potencial de deslizamiento se concentran en el suroriente, especialmente en las unidades con depósitos de ladera, rocas arcillosas y cauces antiguos o activos que presentaron los menores valores de aceleración crítica y por ende son más susceptibles a producir deslizamientos (Ver Anexo 2).

4.3 DAÑOS FÍSICOS

Con base en el escenario de amenaza de Magnitud 6.5 de la Falla Frontal y la información disponible de los elementos expuestos se evaluaron los daños físicos por medio de SEDAR, los resultados detallados a nivel de UPZ y localidad y los mapas se encuentran en el Anexo 2. A continuación se presenta un breve análisis de los resultados de este escenario.

4.3.1 Edificaciones de la base catastral

A partir de la base de datos catastral actualizada a diciembre de 2010 se estimaron y clasificaron los daños de las edificaciones de la ciudad a partir del índice de daño y la escala de daño de Mena (2002). Los resultados indican que los

sectores más afectados corresponden a la parte oriental y suroriental de la ciudad, principalmente las localidades de Rafael Uribe Uribe, Ciudad Bolívar, Usme, San Cristóbal, Usaquén, Chapinero y Santa Fe (ver **Figura 9** y **Figura 10**).

El número total de Manzanas con daños fuertes (comprometen su estabilidad estructural y requieren inspección) es del orden de 1,500 donde residen 206,000 personas. El número total de manzanas con daños severos (alta probabilidad de colapso) es del orden de 580 donde habitan 85,000 personas que deberán ser evacuadas.

Las pérdidas económicas directas por el daño de las edificaciones se calcularon con base en el avalúo catastral de la edificación, no se tuvieron en cuenta los contenidos ni otros bienes. A pesar de esta limitación este estimativo sirve para dar una idea de las pérdidas directas. Especialmente, los mayores valores de pérdidas económicas se concentran en las localidades de Chapinero, Usaquén y Suba (ver **Figura 11**).

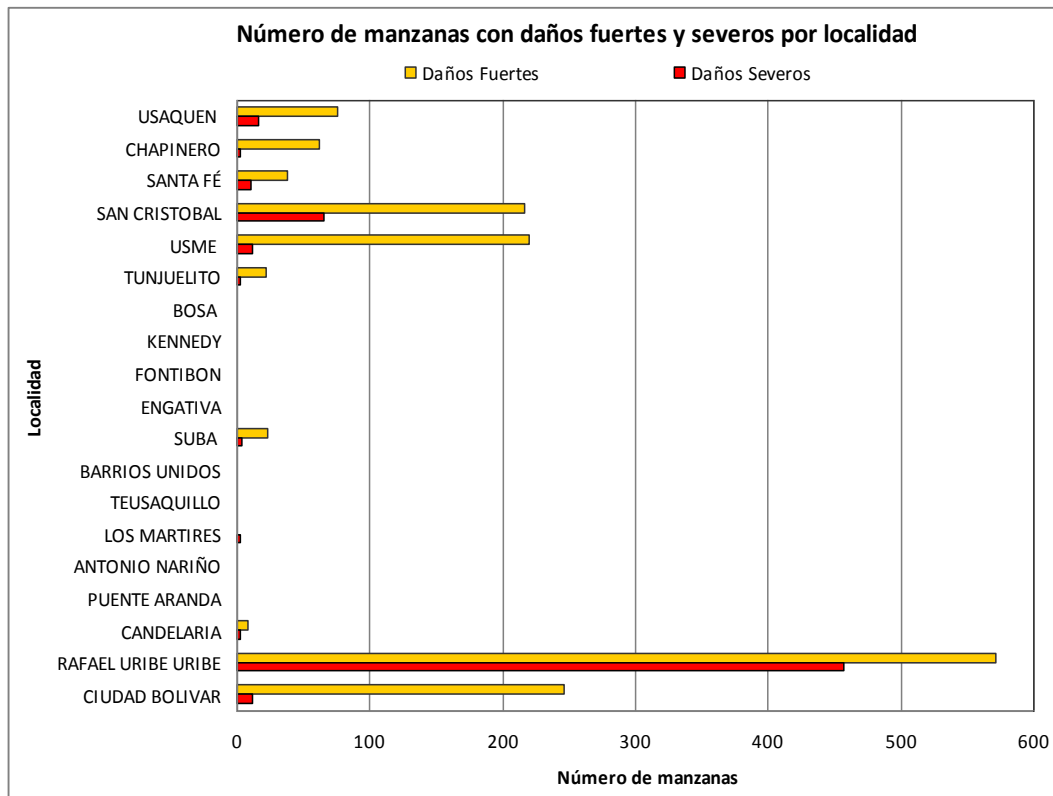


Figura 9. Número de manzanas con daños fuertes y severos por localidad

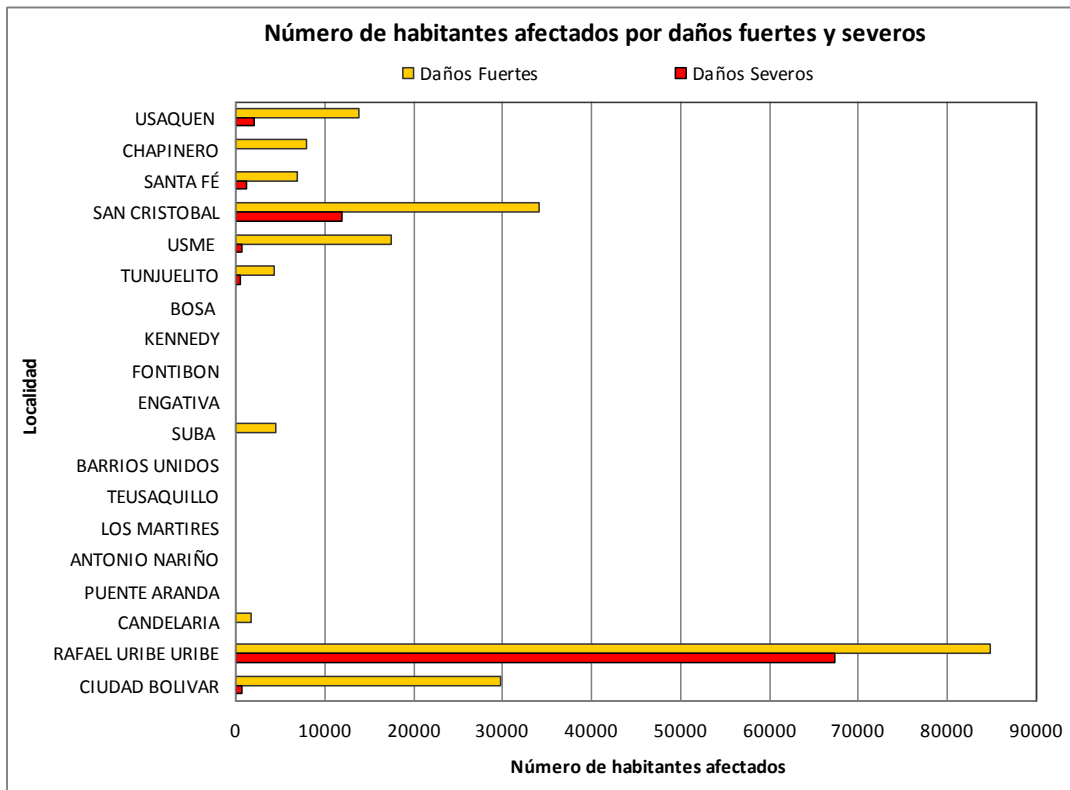


Figura 10. Número de habitantes afectados por daños fuertes y severos de sus residencias por localidad

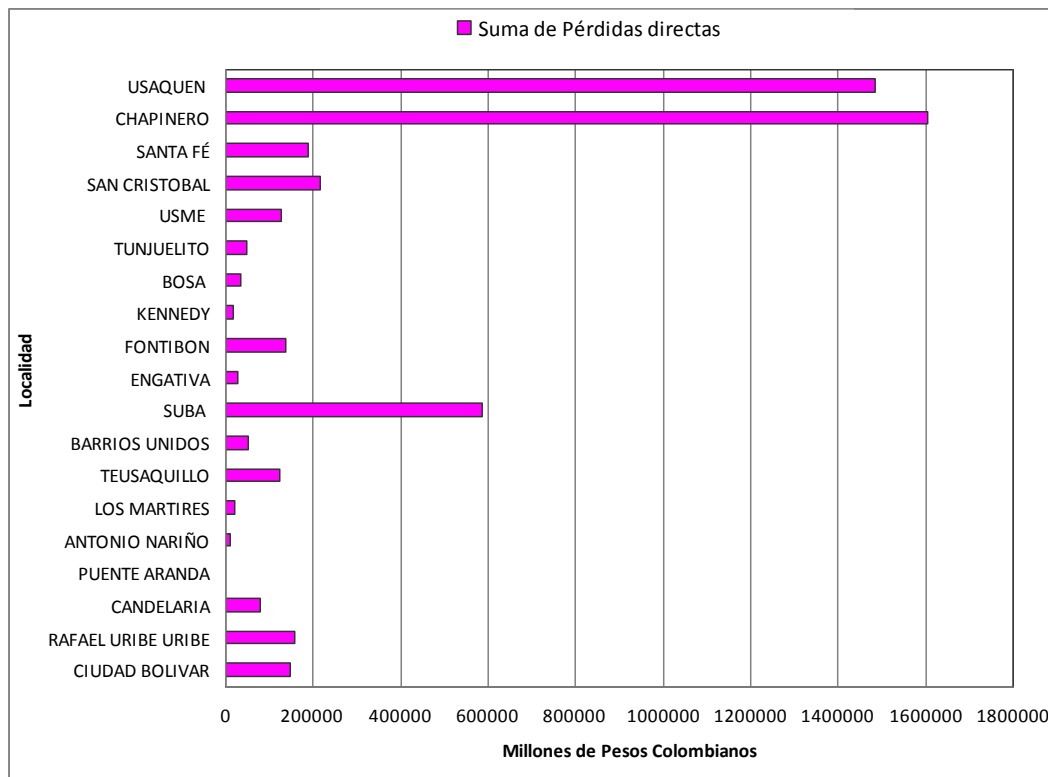


Figura 11. Pérdidas económicas directas edificaciones

4.3.2 Edificaciones indispensables

Se realizó la evaluación de daños para la recopilación de información de 125 edificaciones indispensables y de atención a la comunidad. En términos generales las edificaciones indispensables presentan un buen comportamiento ante el sismo planteado, sin embargo se detectan varias edificaciones con índices considerables que corresponden a la secretaría de salud y a la policía nacional, seguidas de algunas edificaciones con índices moderados que pertenecen a la empresa de teléfonos ETB, la empresa de energía EEB y al cuerpo oficial de Bomberos; y para el resto de las edificaciones los daños son nulos a bajos (ver **Tabla 5**).

ENTIDAD	No Edi.	ID PROM
Fondo de Prevención y Atención de Emergencias	2	3.9
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0.5
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	0.5
Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá	18	1.1
Cruz Roja Colombiana	1	2.7
Defensa civil	2	2.0
Secretaría de Salud	22	3.4
Policía Nacional	41	3.5
Ejército Nacional	1	3.2
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	0.9
Empresa de Energía de Bogotá S.A. E.S.P.	1	7.6
CODENSA	1	2.4
Empresa de Teléfonos de Bogotá	27	2.3
Terminal de Transporte	2	3.6
Total General	125	2.7

Tabla 5. Consolidado de daños en edificaciones indispensables

4.3.3 Acueducto y alcantarillado

A partir de los datos de las redes de acueducto y alcantarillado suministrados por la EAAB se tiene que los daños se presentarían principalmente en las zonas de terrenos blandos e inestables.

La red de acueducto presentaría un total de 251 roturas. De este total 9 corresponden a la red primaria y 242 a la red secundaria. En la **Figura 12** se observa que las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (40), Engativá (39) y Usaquén (26). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Santa Fe (3), Antonio Nariño (4) y Candelaria (1).

La red de alcantarillado presentaría un total de 365 roturas. De este total 13 corresponden a la red primaria, 98 a la red secundaria y 244 a la red menor. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (70), Engativá (58) y Usaquén (48). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (5) Santa Fe (3) y Candelaria (1).

Los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 (48 tanques) y 2 (3 tanques), donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0% y el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%.

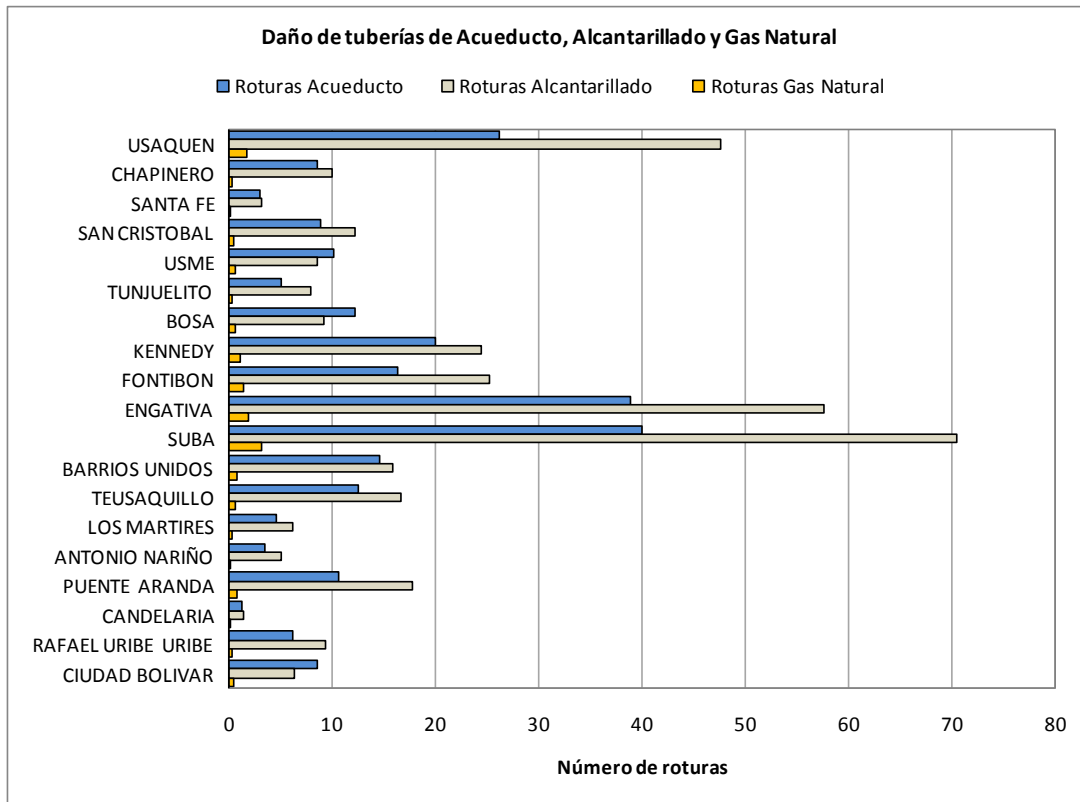


Figura 12. Roturas de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas natural

4.3.4 Gas natural

Con base en la información suministrada por la empresa de gas natural se tendría un número reducido de roturas, debido a que esta red es reciente y sus materiales de alta calidad. Los resultados indican que se presentaría un total de 15 roturas. De este total 4 corresponden a la red primaria y 11 a la red secundaria. En la Figura 12 se observa que las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (3), Engativá (2) y Usaquén (2). Las localidades que presentan muy pocas roturas son Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Tunjuelito, los Mártires, Antonio Nariño, Candelaria y Rafael Uribe Uribe.

4.3.5 Energía eléctrica

Las empresas de energía eléctrica suministraron la información necesaria para las evaluaciones, los resultados indican que se presentaría un total de 3.74 km de cableado afectado. De este total 0.38 km corresponden a la red alta tensión, 0.82 a la red de mediana tensión y 2.46 a la red de baja tensión, por otro lado 2.58 km corresponden a la red aérea y 1.17 a la red canalizada. En la **Figura 13** se puede ver que las localidades que presentan mayor longitud de cableado afectado son Suba (0.46), Usaquén (0.44) y Chapinero (0.35). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Tunjuelito (0.09), Los Mártires (0.09), Antonio Nariño (0.07) y Candelaria (0.06).

Las torres de la red de energía eléctrica presentan estados de daño en nivel cero (1617 torres) y nivel tres (dos torres), donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo (ver **Figura 14**).

De los 785,150 postes, 463 presentan estado de daño 1 (bajo), 48 estado 2 (moderado) y 717 estado 3 (severo).

Tanto las torres como los postes afectados con niveles 2 y 3 se encuentran en las zonas donde ocurren efectos colaterales de licuación o deslizamiento.

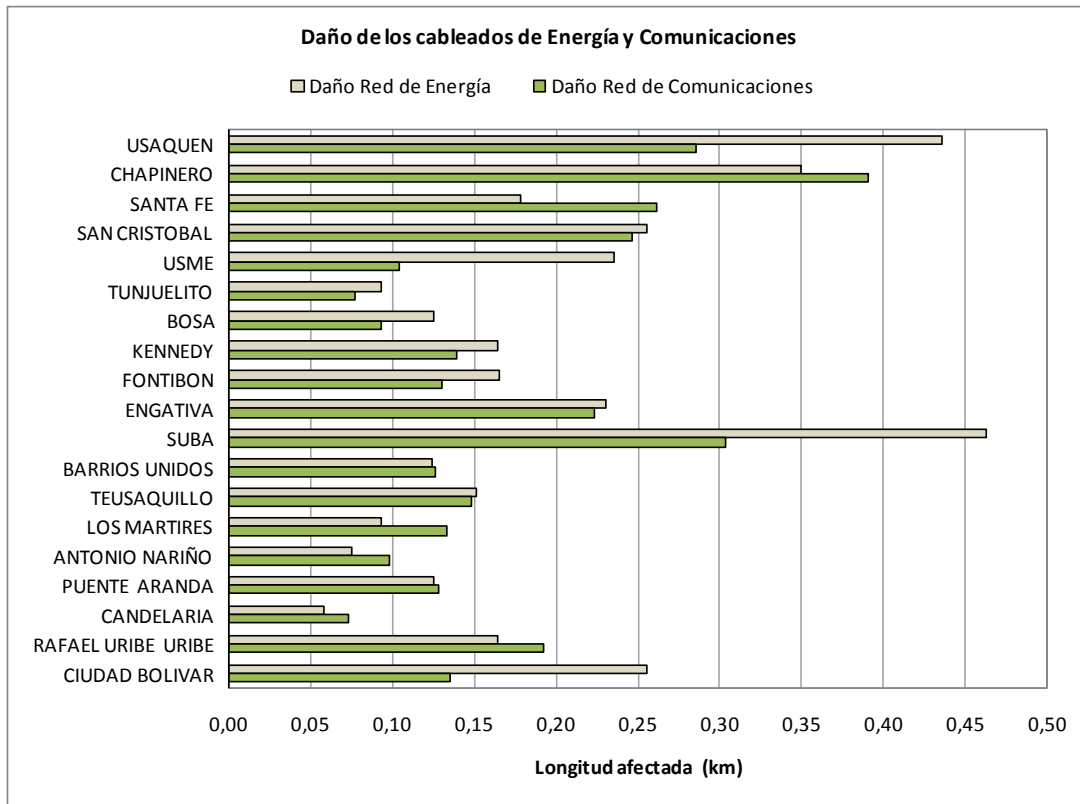


Figura 13. Daño de cableados de energía y comunicaciones

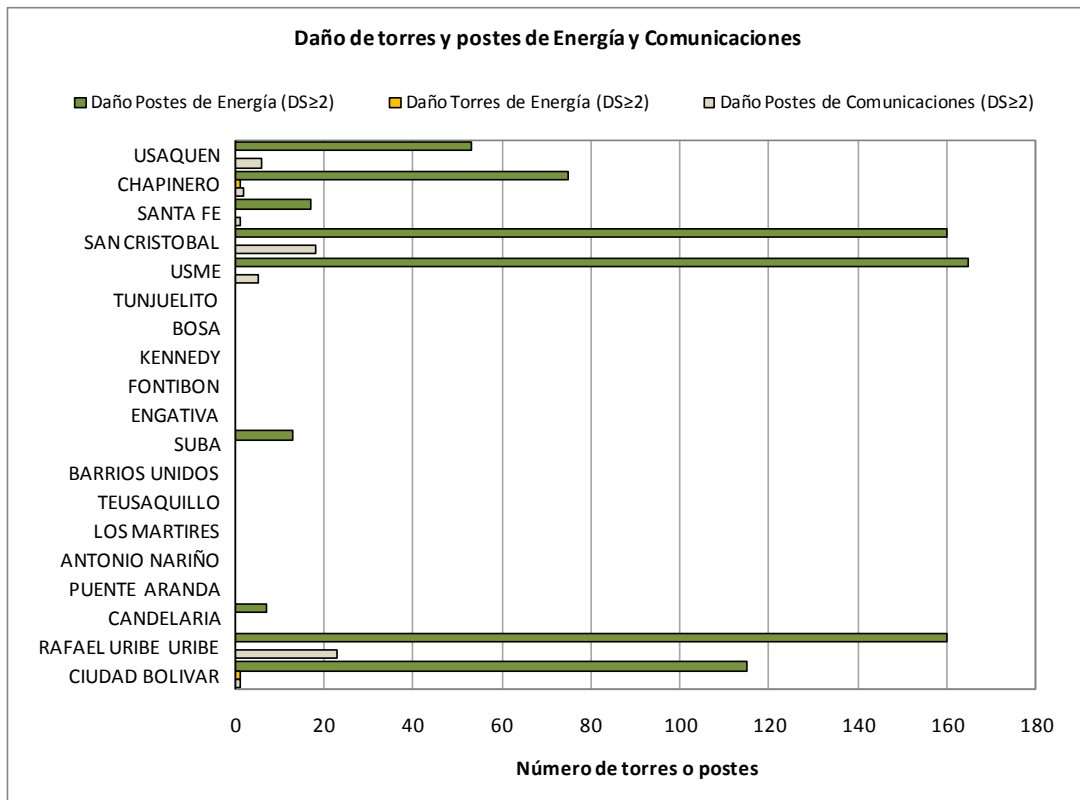


Figura 14. Daño de torres y postes de energía y comunicaciones

4.3.6 Comunicaciones

La red de comunicaciones evaluada corresponde a la información suministrada por la Empresa de Teléfonos de Bogotá y de Telefónica, los resultados indican que se presentaría un total de 3.29 km de cableado afectados. De este total 1.04 km corresponden a la red aérea y 2.25 a la red canalizada. En la Figura 13 se puede ver que las localidades que presentan mayor longitud afectada son Chapinero (0.39), Suba (0.3) y Usaquén (0.29). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Tunjuelito (0.08), Bosa (0.09) y Candelaria (0.07).

4.3.7 Puentes

Los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel 1 hasta el nivel 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1 y 2 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total). De 165 puentes vehiculares, 61 presentan estado de daño 2, 2 presentan estado de daño 3 y 1 presenta estado de daño 5. De 147 puentes peatonales, 24 presentan estado de daño 2, 1 presenta estado de daño 3 y 1 presenta estado de daño 5 (ver **Figura 15**).

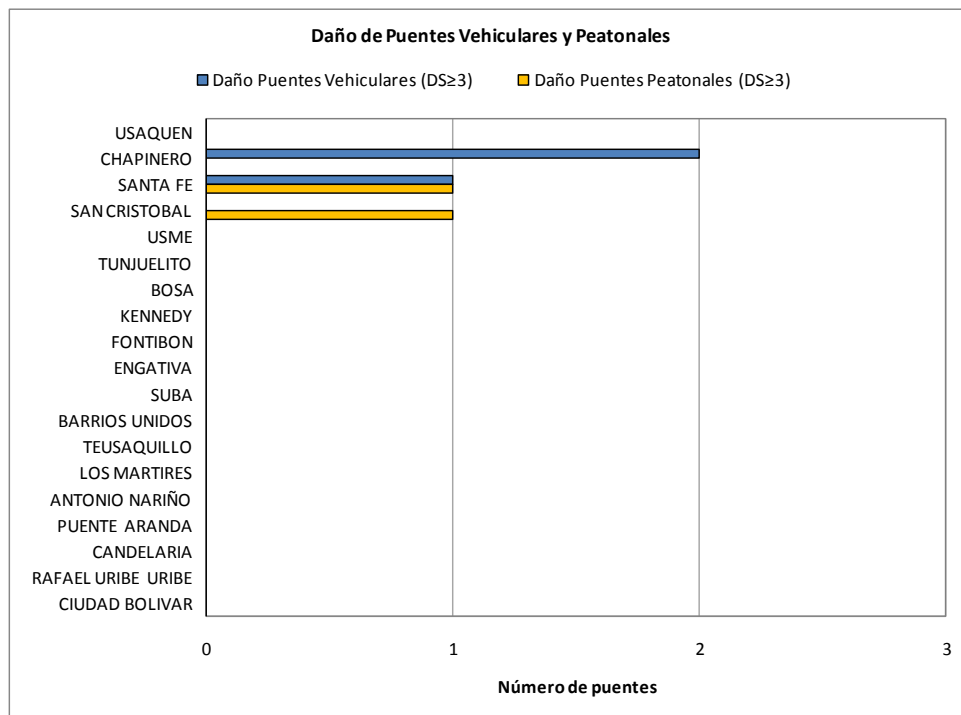


Figura 15. Daño de Puentes vehiculares y peatonales

4.4 AFECTACIONES A LA POBLACIÓN

Con base en los datos de población de Bogotá del Departamento Nacional de Estadística se realizó la proyección de la población para el año 2010 y la distribución estimada de las personas en cuanto a la hora del día (se concentra la población en los sitios de trabajo en el día y se concentra la población en las zonas residenciales en horas de la noche) se obtuvo un estimativo de heridos y muertos (las personas atrapadas se pueden estimar sumando las personas heridas y muertas).

Los resultados se ilustran en la **Figura 16** y la **Figura 17** (Ver detalles en el anexo 2). Las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades Rafael Uribe, Chapinero, Usme, San Cristóbal, Usaquén y Ciudad Bolívar. De noche se encuentra que las localidades más afectadas serían San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe, Usme, Chapinero y Usaquén.

En total se estiman entre 11,000 a 20,000 heridos y entre 2,000 a 4,000 muertos. La distribución espacial de las afectaciones se puede ver en el Anexo 2, donde se destaca que se concentran los afectados en las zonas de cerros y piedemonte en las cuales las edificaciones carecen de buenas condiciones de sismorresistencia, ya sea por su antigüedad o por que fueron construidas sin seguir las normas de sismorresistencia.

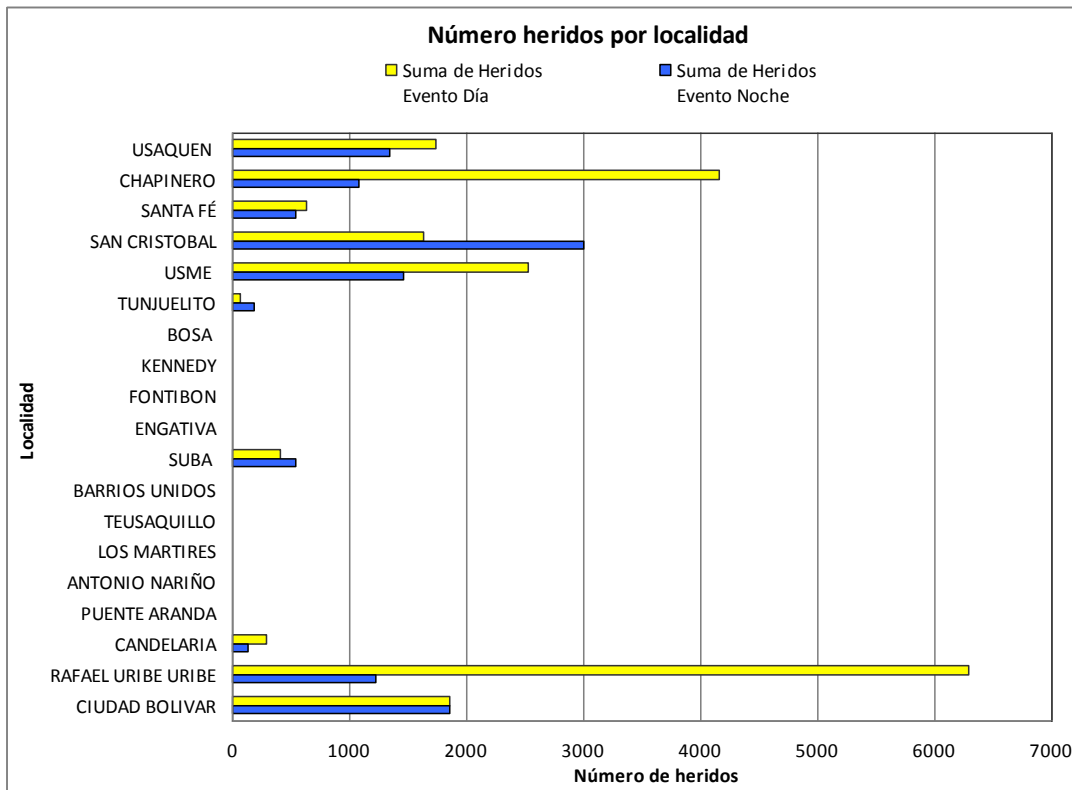


Figura 16. Número de heridos por localidad

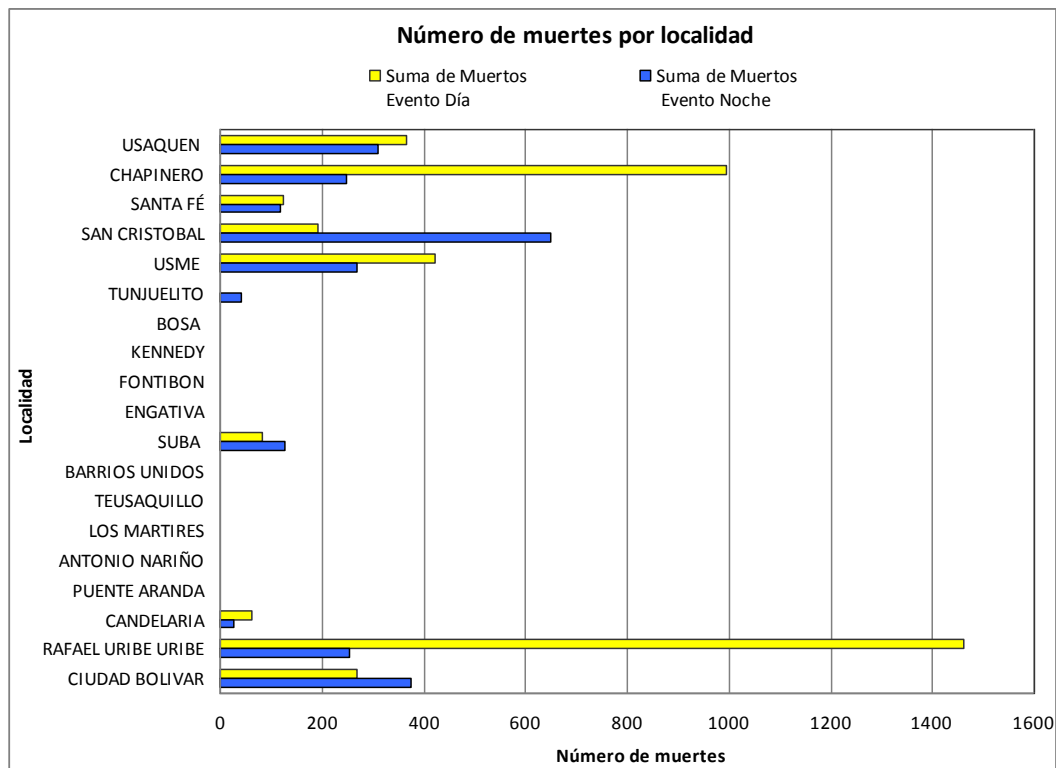


Figura 17. Número de muertes por localidad

5 ESCENARIO M7.0 A 40 KM

El escenario de amenaza considerado trata de un sismo generado en la Falla Frontal de una magnitud de 7.0 en la escala de Richter a una distancia promedio de 40 km y una profundidad de 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 225 años.

Este escenario presenta intensidades regionales, sin incluir efectos locales, entre VI y VII, en este escenario la mayor parte del departamento de Cundinamarca presenta intensidad de VI, sin embargo existe una franja hacia el suroccidente que presenta intensidad de VII en donde probablemente se encontrarán los mayores daños (Ver Anexo 3).

A nivel local los terrenos de Bogotá experimentarían aceleraciones pico entre 0.07 g a 0.22 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.35 g a 0.60 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.30 g a 0.45 g (Ver Anexo 3).

5.1 EFECTOS REGIONALES

En el Anexo 3 puede verse el mapa de intensidades sísmicas para el escenario junto con la localización de la infraestructura estratégica de la región.

La malla vial municipal de Cundinamarca se encuentra en la zona de intensidad VI en donde se podrán encontrar daños tales como caída de rocas y deslizamientos pequeños, sin embargo parte de la vía a Villavicencio se encuentra en la zona de intensidad VII. En este caso, los daños probables que podrían afectar el corredor vial son caída de rocas, deslizamientos moderados y flujo de tierras; para el caso de puentes se pueden presentar fisuras y en cuanto a los túneles los daños pueden ser fisuras y descascaramientos. En el caso de las líneas Férreas, se encuentran en la zona de intensidad VI y por tanto los daños esperados son caída de rocas y pequeños deslizamientos.

Los sistemas de suministro de agua se encuentran en la zona de intensidad VI, en donde es posible esperar daños estructurales leves en las plantas de tratamiento, plantas de bombeo y presas. Sin embargo, el sistema Weisner puede presentar daños mayores dado que una parte de este se encuentra en zona de intensidad VII en donde los daños pueden presentarse en los túneles, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo. En cuanto a la red de suministro de electricidad, tanto el sistema Muña y el Sistema Canoas se encuentran en las zonas VI y VII por tanto los daños en ambos sistemas podrían ser muy similares. Los daños probables son afectaciones estructurales de las estaciones y subestaciones, desplazamientos diferenciales y fallas en la fundación de las torres de transmisión. En la red de gas natural los mayores daños se podrían presentar en los citigates, en cuanto a la red se podrían presentar desplazamientos diferenciales.

En términos generales los elementos expuestos más vulnerables son la vía a Villavicencio, el sistema Weisner de la red de suministro de agua, los tramos de la red de suministro de electricidad y gas natural que se encuentran en la zona de intensidad VII (Sur oriente de Cundinamarca) y particularmente los citigates, estaciones y subestaciones de estos sistemas.

5.2 EFECTOS COLATERALES

Con base en la zonificación geotécnica de Bogotá (FOPAE 2010a), en la ciudad se detectaron cuatro zonas con potencial de licuación: Aluvial, Cauces, Llanura A y Llanura B), de estas zonas las que presentan mayor susceptibilidad ante licuación se encuentran en las cercanías del río Tunjuelito (Ver Anexo 3).

Por otro lado, a partir de la geología de cerros homologada para ingeniería (FOPAE, 2010a), las zonas con potencial de deslizamiento se concentran en el suroriente, especialmente en las unidades con depósitos de ladera, rocas arcillosas y cauces antiguos o activos que presentaron los menores valores de aceleración crítica y por ende son más susceptibles a producir deslizamientos (Ver Anexo 3).

5.3 DAÑOS FÍSICOS

Con base en el escenario de amenaza de Magnitud 7.0 de la Falla Frontal y la información disponible de los elementos expuestos se evaluaron los daños físicos por medio de SEDAR, los resultados detallados a nivel de UPZ y localidad y los mapas se encuentran en el Anexo 3. A continuación se presenta un breve análisis de los resultados de este escenario.

5.3.1 Edificaciones de la base catastral

A partir de la base de datos catastral actualizada a diciembre de 2010 se estimaron y clasificaron los daños de las edificaciones de la ciudad a partir del índice de daño y la escala de daño de Mena (2002). Los resultados indican que los sectores más afectados corresponden a la parte oriental y suroriental de la ciudad, principalmente las localidades de Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Bosa, Usme, Santa Fe, Usaquén, Chapinero, Suba y Tunjuelito (ver **Figura 18** y **Figura 19**).

El número total de Manzanas con daños fuertes (comprometen su estabilidad estructural y requieren inspección) es del orden de 4,500 donde residen 810,000 personas. El número total de manzanas con daños severos (alta probabilidad de colapso) es del orden de 1,100 donde habitan 164,000 personas que deberán ser evacuadas.

Las pérdidas económicas directas por el daño de las edificaciones se calcularon con base en el avalúo catastral de la edificación, no se tuvieron en cuenta los contenidos ni otros bienes. A pesar de esta limitación este estimativo sirve para dar una idea de las pérdidas directas. Especialmente, los mayores valores de pérdidas económicas se concentran en las localidades de Chapinero, Usaquén, Suba y Santa Fe (ver **Figura 20**).

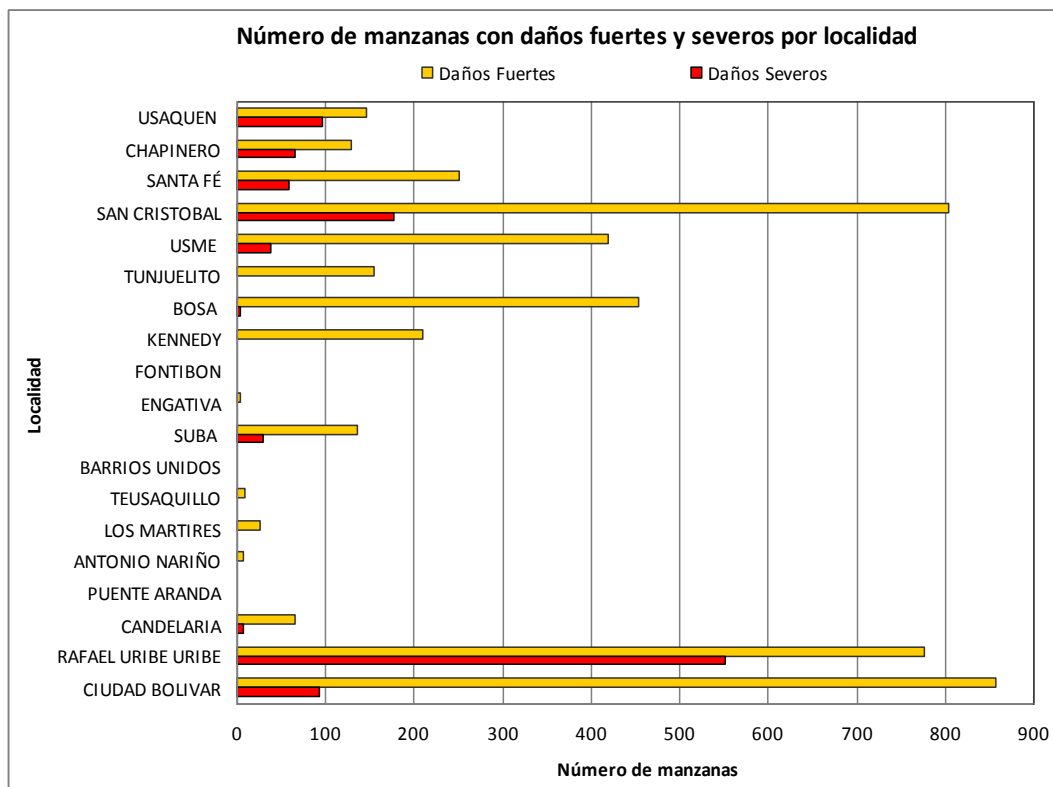


Figura 18. Número de manzanas con daños fuertes y severos por localidad

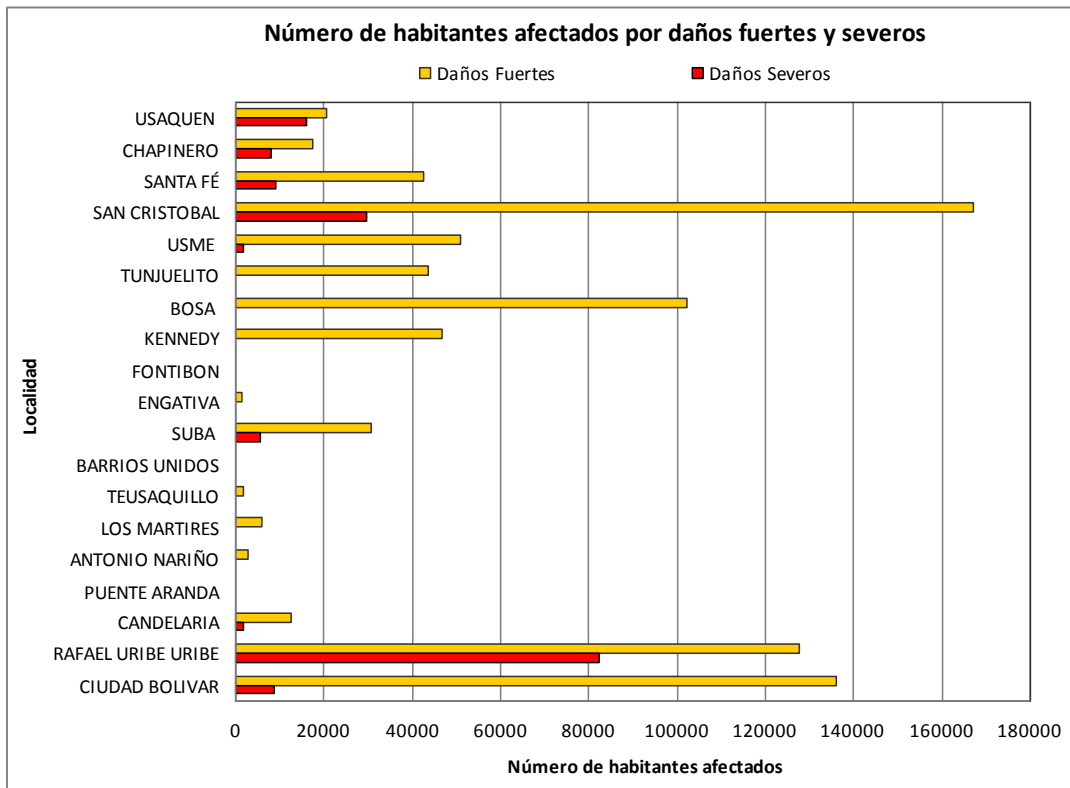


Figura 19. Número de habitantes afectados por daños fuertes y severos de sus residencias por localidad

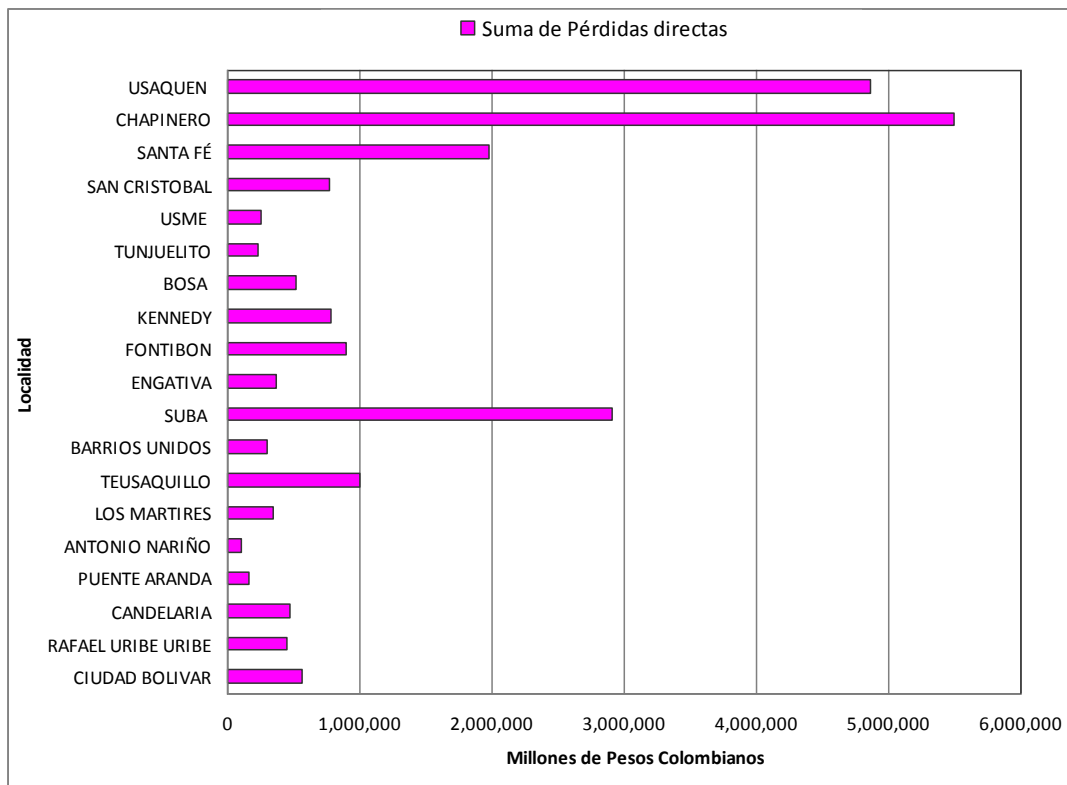


Figura 20. Pérdidas económicas directas edificaciones

5.3.2 Edificaciones indispensables

Se realizó la evaluación de daños para la recopilación de información de 125 edificaciones indispensables y de atención a la comunidad. En términos generales las edificaciones indispensables presentan un buen comportamiento ante el sismo planteado, sin embargo se detectan varias edificaciones con índices fuertes y hasta severos que corresponden a la policía nacional y a la secretaría de salud, seguidas de algunas edificaciones con índices moderados a considerables que pertenecen al cuerpo oficial de bomberos, FOPAE, cruz roja colombiana, ejército nacional, empresa de energía de Bogotá, empresa de teléfonos de Bogotá y terminal de transporte; y para el resto de las edificaciones los daños son nulos a bajos (ver **Tabla 6**).

ENTIDAD	No Edi.	ID PROM
Fondo de Prevención y Atención de Emergencias	2	16.1
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	0.8
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	2.7
Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá	18	5.8
Cruz Roja Colombiana	1	7.9
Defensa civil	2	4.6
Secretaría de Salud	22	12.6
Policía Nacional	41	11.2
Ejército Nacional	1	8.5
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	1.9
Empresa de Energía de Bogotá S.A. E.S.P.	1	24.7
CODENSA	1	7.4
Empresa de Teléfonos de Bogotá	27	7.2
Terminal de Transporte	2	14.1
Total General	125	9.3

Tabla 6. Consolidado de daños en edificaciones indispensables

5.3.3 Acueducto y alcantarillado

A partir de los datos de las redes de acueducto y alcantarillado suministrados por la EAAB se tiene que los daños se presentarían principalmente en las zonas de terrenos blandos e inestables.

La red de acueducto presentaría un total de 1.342 roturas. De este total 50 corresponden a la red primaria y 1.292 a la red secundaria. En la **Figura 21** se observa que las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (215), Engativá (215) y Usaquén (139). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Santa Fe (19), Antonio Nariño (17) y Candelaria (8).

La red de alcantarillado presentaría un total de 1.878 roturas. De este total 70 corresponden a la red primaria, 513 a la red secundaria y 1295 a la red menor. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (374), Engativá (316) y Usaquén (253). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (25) Santa Fe (20) y Candelaria (8).

Los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 y 2, siendo más frecuente el estado de daño 2 (donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0% y el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%).

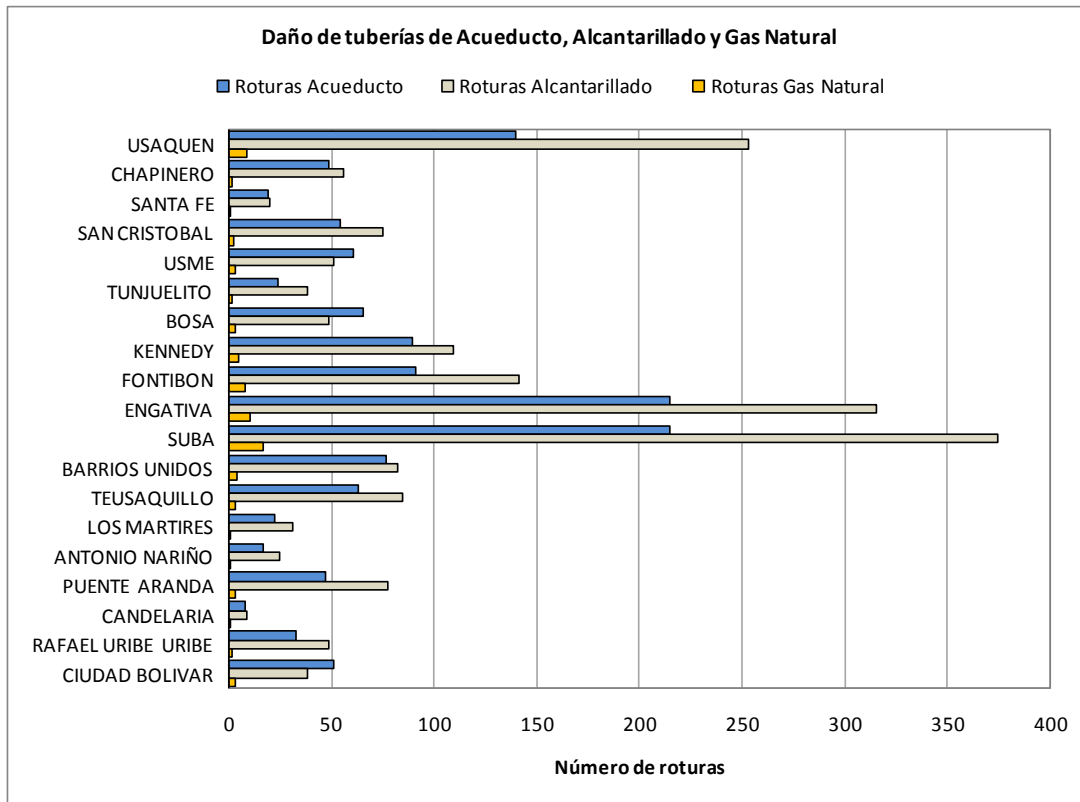


Figura 21. Roturas de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas natural

5.3.4 Gas natural

Con base en la información suministrada por la empresa de gas natural se tendría un número reducido de roturas, debido a que esta red es reciente y sus materiales de alta calidad. Los resultados indican que se presentaría un total de 80 roturas. De este total 22 corresponden a la red primaria y 58 a la red secundaria. En la Figura 21 se observa que las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (17), Engativá (10), Usaquén (9) y Fontibón (8). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Tunjuelito (1), Mártires (1), Antonio Nariño (1), Santa Fe (1) y Candelaria (1).

5.3.5 Energía eléctrica

Las empresas de energía eléctrica suministraron la información necesaria para las evaluaciones, los resultados indican que se presentaría un total de 26.26 km de cableado afectado. De este total 2.75 km corresponden a la red alta tensión, 6.04 a la red de mediana tensión y 16.91 a la red de baja tensión. 18.76 km corresponden a la red aérea y 7.50 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud de cableado afectado son Usaquén (3.02), Suba (2.99), Ciudad Bolívar (2.69) y Chapinero (2.50). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Barrios Unidos (0.54), Antonio Nariño (0.53) y Candelaria (0.46) (ver **Figura 22**).

Las torres de la red de energía eléctrica presentan estados de daño desde el nivel cero hasta el nivel tres (donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo), siendo más frecuente el estado de daño 0 (ver **Figura 23**).

De los 785,150 postes, 35,565 presentan estado de daño 1 (bajo), 88 estado 2 (moderado) y 841 estado 3 (severo).

Tanto las torres como los postes afectados con niveles 2 y 3 se encuentran en las zonas donde ocurren efectos colaterales de licuación o deslizamiento.

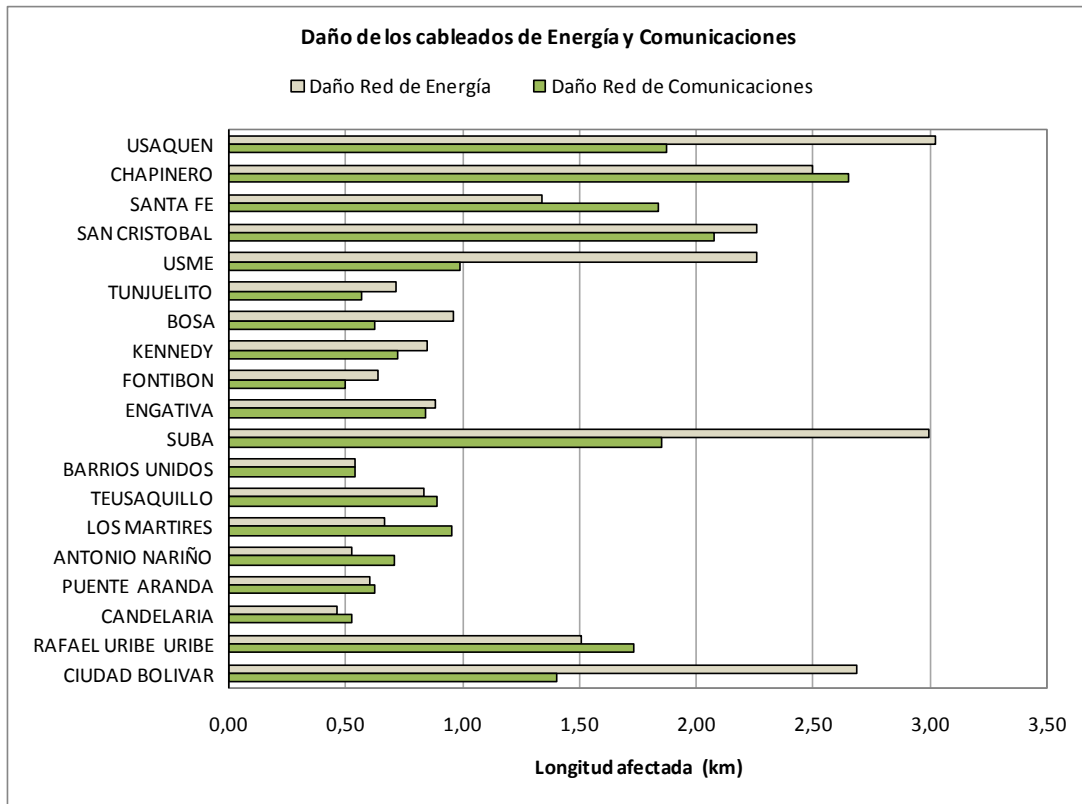


Figura 22. Daños de cableados de energía y comunicaciones

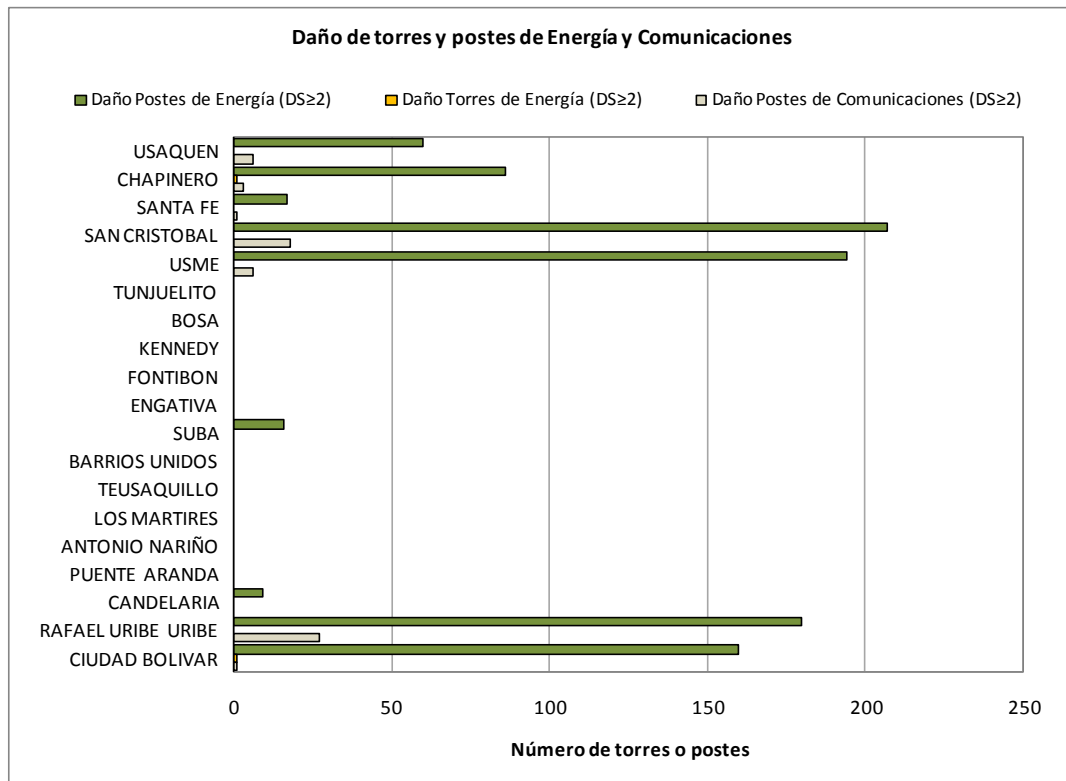


Figura 23. Daño de torres y postes de energía y comunicaciones

5.3.6 Comunicaciones

La red de comunicaciones evaluada corresponde a la información suministrada por la Empresa de Teléfonos de Bogotá y de Telefónica, los resultados indican que se presentaría un total de 21.91 km de cableado afectados. De este total 7.41 km corresponden a la red aérea y 14.50 a la red canalizada. Las localidades que presentan mayor longitud afectada son Chapinero (2.65), San Cristóbal (2.07) y Usaquén (1.87). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son y Barrios Unidos (0.54), Candelaria (0.53) y Fontibón (0.50) (ver Figura 22 y Figura 23).

5.3.7 Puentes

Los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel 1 hasta el nivel 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total). Los puentes vehiculares presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuentes el estado de daño 2. Los puentes peatonales presentan estados de daño de 1 a 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3. Las localidades más afectadas se pueden ver en la **Figura 24**.

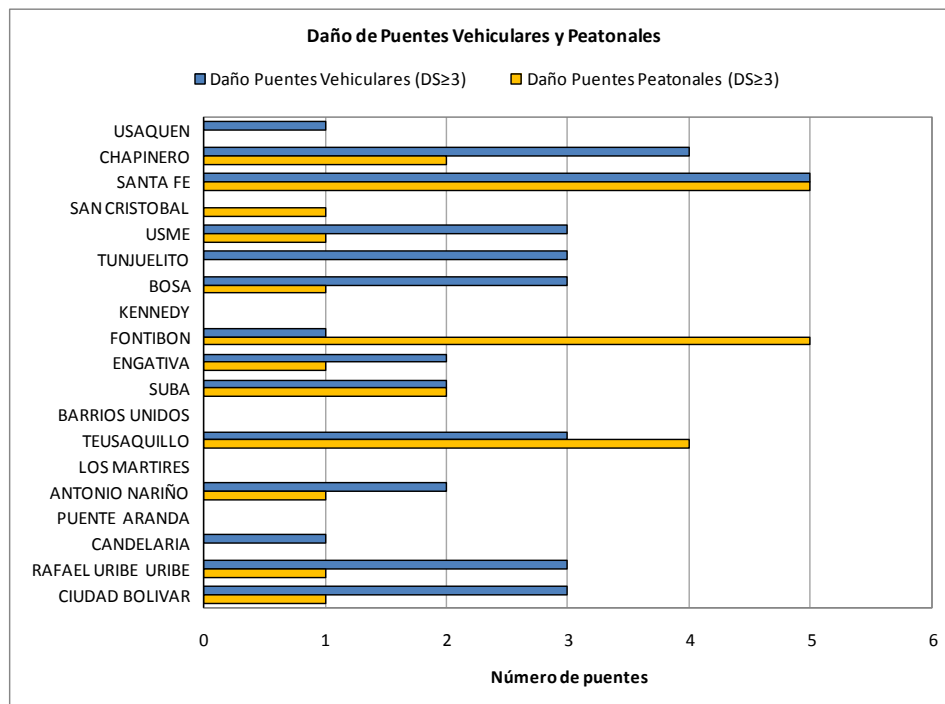


Figura 24. Daño de Puentes vehiculares y peatonales

5.4 AFECTACIONES A LA POBLACIÓN

Con base en los datos de población de Bogotá del Departamento Nacional de Estadística se realizó la proyección de la población para el año 2010 y la distribución estimada de las personas en cuanto a la hora del día (se concentra la población en los sitios de trabajo en el día y se concentra la población en las zonas residenciales en horas de la noche) se obtuvo un estimativo de heridos y muertos (las personas atrapadas se pueden estimar sumando las personas heridas y muertas).

Los resultados se ilustran en la **Figura 25** y **Figura 26** (Ver detalles en el anexo 3). Las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades Rafael Uribe, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Bosa, Chapinero, Santa Fe, Usme, Usaquén y Suba. De noche se encuentra que las localidades más afectadas serían San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe, Bosa y Usme.

En total se estiman entre 50,000 a 60,000 heridos y entre 10,000 a 12,000 muertos. La distribución espacial de las afectaciones se puede ver en el Anexo 3, donde se destaca que se concentran los afectados en las zonas de cerros y piedemonte en las cuales las edificaciones carecen de buenas condiciones de sismorresistencia, ya sea por su antigüedad o por que fueron construidas sin seguir las normas de sismorresistencia.

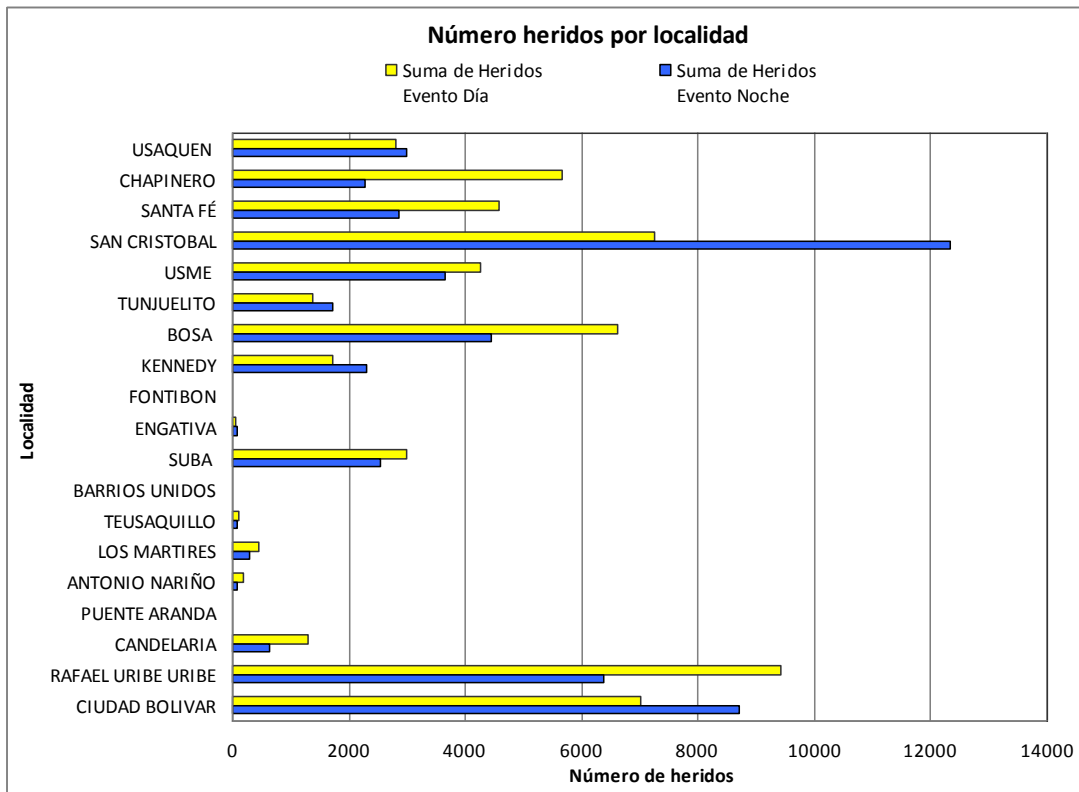


Figura 25. Número de heridos por localidad

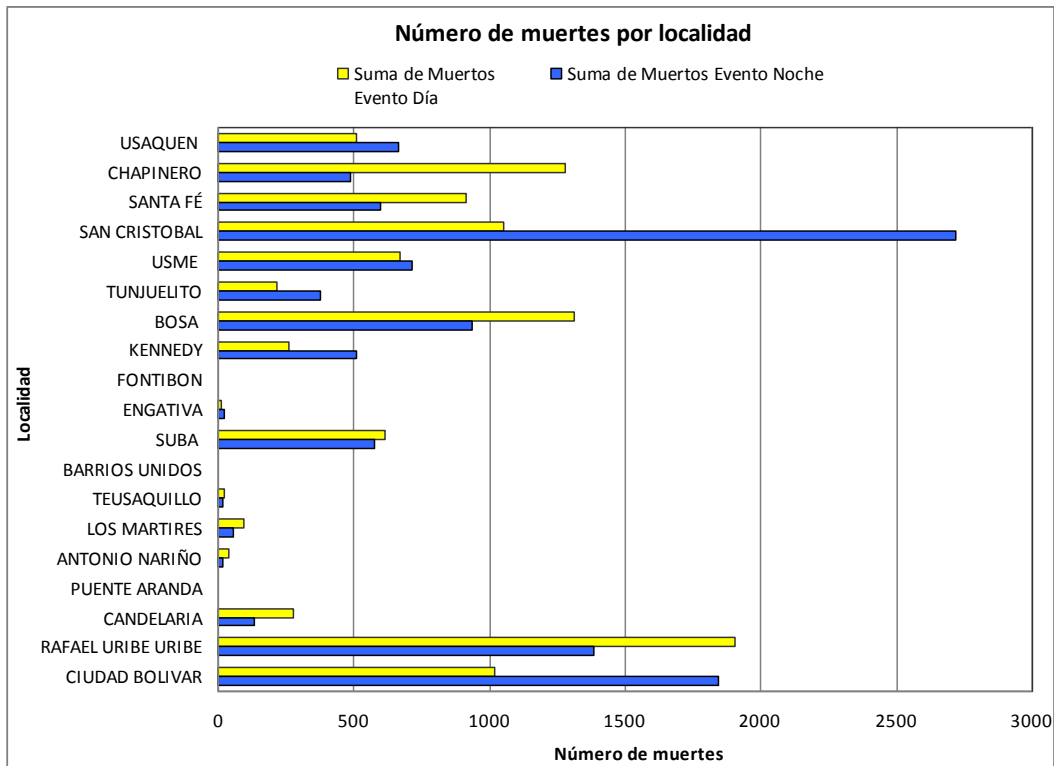


Figura 26. Número de muertes por localidad

6 ESCENARIO M7.3 A 35 KM

El escenario de amenaza considerado trata de un sismo generado en la fuente cercana de una magnitud de 6.5 en la escala de Richter a una distancia promedio de 15 km y una profundidad de 15 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 1000 años.

El escenario de diseño especial presenta intensidades regionales entre VII y VIII, donde las mayores intensidades serían en la zona epicentral, probablemente en el suroriente de la ciudad (Ver Anexo 4).

Los terrenos de Bogotá experimentarían aceleraciones pico entre 0.15 g a 0.35 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.5 g a 0.85 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.50 g a 0.60 g. Se destacan picos de aceleraciones espectrales de 0.6 g en la zona lacustre en periodos largos (1.0 s – 2.0 s) (Ver Anexo 4).

6.1 EFECTOS REGIONALES

El escenario de Diseño presenta intensidades entre VI, VII y VIII. Estas intensidades corresponden a PGA entre 0.092 g y 0.65 g sin incluir efectos de sitio, la zona VII como la zona VIII se encuentran en el sur occidente de la zona de análisis. Al igual que en el escenario anterior, es probable que los mayores daños se presentaran en estas dos zonas.

En la malla vía municipal, los mayores daños se encontrarán en la vía a Villavicencio, la cual se encuentra ubicada en las tres diferentes intensidades. Los daños más probables en la vía son caída de rocas, deslizamientos y flujos de tierra. En cuanto a los puentes ubicados en esta vía, es posible encontrar fisuramientos en la estructura y daños en la cimentación y en los túneles se pueden presentar daños tales como fisuramientos, daños en el portal de entrada y salida y filtraciones de agua. En el caso de la red férrea, ninguno de ambos trazados tendrá daños considerables, sin embargo es posible esperar deslizamientos y caída de rocas.

Para el caso de la red de suministro de agua, el sistema más vulnerable es el sistema Weisner ya que parte de sus instalaciones se encuentra en la zona de intensidad VIII y donde cada uno de sus subelementos podría verse afectado. En los túneles se pueden presentar fisuramientos y descascaramientos que eventualmente pueden generar represamientos dentro de los mismos, las plantas de tratamiento y bombeo pueden presentar daños en sus estructuras, las líneas de transmisión pueden presentar desplazamientos diferenciales, las presas pueden presentar fisuramientos y los tanques elevados pueden estar sometidos a grandes esfuerzos que ocasionen daños en las estructuras. Una parte de la red de suministro de electricidad y gas natural se encuentran sobre la zona de intensidad VIII y en esta zona se presentaran daños tales como desplazamientos diferenciales de las líneas de transmisión, colapso parcial o total de la torres de transmisión y daños serios en la estructuras de las subestaciones, estaciones y citigates.

Al igual que en el escenario de Seguridad Limitada los elementos con mayor vulnerabilidad son aquellos que se encuentran al sur occidente del distrito capital ya que en esta zona se presentan las fuentes sismogénicas de amenaza probable para el distrito capital. Los elementos más comprometidos para este escenario son la vía a Villavicencio, el sistema de suministro de agua Weisner y la parte de las redes de suministro de electricidad y gas natural que se encuentran en la zona de intensidad VIII.

6.2 EFECTOS COLATERALES

Con base en la zonificación geotécnica de Bogotá (FOPAE 2010a), en la ciudad se detectaron cuatro zonas con potencial de licuación: Aluvial, Cauces, Llanura A y Llanura B), de estas zonas las que presentan mayor susceptibilidad ante licuación se encuentran en las cercanías del río Tunjuelito (Ver Anexo 4).

Por otro lado, a partir de la geología de cerros homologada para ingeniería (FOPAE, 2010a), las zonas con potencial de deslizamiento se concentran en el suroriente, especialmente en las unidades con depósitos de ladera, rocas arcillosas y cauces antiguos o activos que presentaron los menores valores de aceleración crítica y por ende son más susceptibles a producir deslizamientos (Ver Anexo 4).

6.3 DAÑOS FÍSICOS

Con base en el escenario de amenaza de Magnitud 7.3 de la Falla Frontal y la información disponible de los elementos expuestos se evaluaron los daños físicos por medio de SEDAR, los resultados detallados a nivel de UPZ y localidad y los mapas se encuentran en el Anexo 4. A continuación se presenta un breve análisis de los resultados de este escenario.

6.3.1 Edificaciones de la base catastral

A partir de la base de datos catastral actualizada a diciembre de 2010 se estimaron y clasificaron los daños de las edificaciones de la ciudad a partir del índice de daño y la escala de daño de Mena (2002). Los resultados indican que los sectores más afectados corresponden a la parte oriental y suroriental de la ciudad, principalmente las localidades de Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Bosa, Usme, Usaquén, Chapinero, Santa Fe, Tunjuelito y Suba (ver **Figura 27** y **Figura 28**).

El número total de Manzanas con daños fuertes (comprometen su estabilidad estructural y requieren inspección) es del orden de 5,400 donde residen 100,000 personas. El número total de manzanas con daños severos (alta probabilidad de colapso) es del orden de 1,700 donde habitan 260,000 personas que deberán ser evacuadas.

Las pérdidas económicas directas por el daño de las edificaciones se calcularon con base en el avalúo catastral de la edificación, no se tuvieron en cuenta los contenidos ni otros bienes. A pesar de esta limitación este estimativo sirve para dar una idea de las pérdidas directas. Especialmente, los mayores valores de pérdidas económicas se concentran en las localidades de Chapinero, Usaquén, Suba y Santa Fe (ver Figura 11).

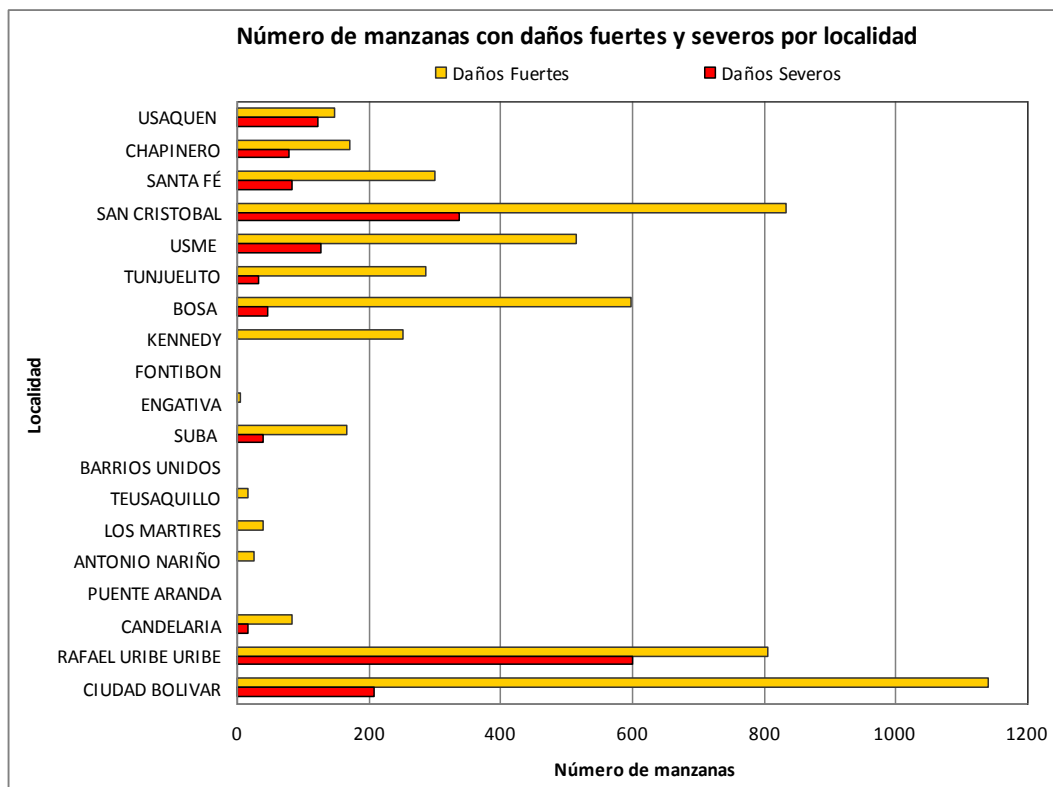


Figura 27. Número de manzanas con daños fuertes y severos por localidad

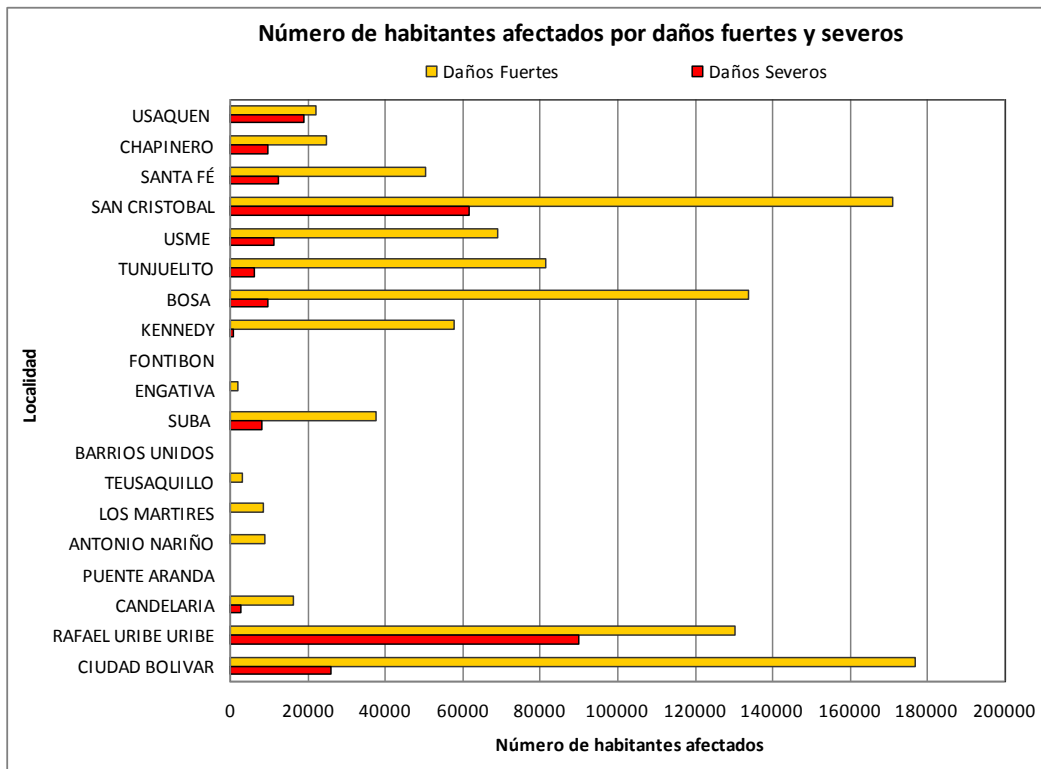


Figura 28. Número de habitantes afectados por daños fuertes y severos de sus residencias por localidad

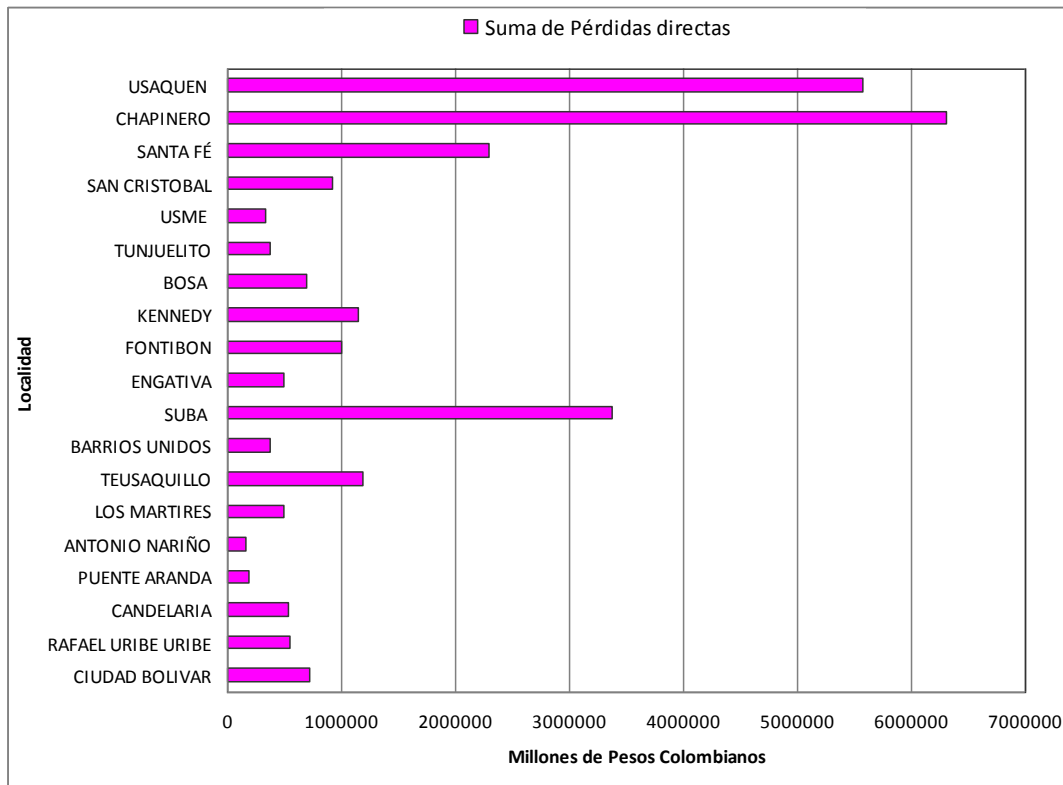


Figura 29. Pérdidas económicas directas edificaciones

6.3.2 Edificaciones indispensables

Se realizó la evaluación de daños para la recopilación de información de 125 edificaciones indispensables y de atención a la comunidad. En términos generales las edificaciones indispensables presentan un buen comportamiento ante el sismo planteado, sin embargo se detectan varias edificaciones con índices fuertes y hasta severos que corresponden a la policía nacional y a la secretaría de salud, seguidas de algunas edificaciones con índices moderados a considerables que pertenecen al cuerpo oficial de bomberos, FOPAE, cruz roja colombiana, ejército nacional, empresa de energía de Bogotá, empresa de teléfonos de Bogotá y terminal de transporte; y para el resto de las edificaciones los daños son nulos a bajos (ver **Tabla 7**).

ENTIDAD	No Edi.	ID PROM
Fondo de Prevención y Atención de Emergencias	2	18.9
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	2.1
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	3.3
Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá	18	6.4
Cruz Roja Colombiana	1	9.1
Defensa civil	2	4.8
Secretaría de Salud	22	14.6
Policía Nacional	41	13.2
Ejército Nacional	1	10.3
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	3.1
Empresa de Energía de Bogotá S.A. E.S.P.	1	27.5
CODENSA	1	8.4
Empresa de Teléfonos de Bogotá	27	8.6
Terminal de Transporte	2	17.1
Total General	125	10.9

Tabla 7. Consolidado de daños en edificaciones indispensables

6.3.3 Acueducto y alcantarillado

A partir de los datos de las redes de acueducto y alcantarillado suministrados por la EAAB se tiene que los daños se presentarían principalmente en las zonas de terrenos blandos e inestables.

La red de acueducto presentaría un total de 1,624 roturas. De este total 61 corresponden a la red primaria y 1,563 a la red secundaria. En la **Figura 30** se observa que las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (259), Engativá (258), Usaquén (169), Fontibón (108), Kennedy (107) y Barrios Unidos (93). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Santa Fe (23), Antonio Nariño (21) y Candelaria (10).

La red de alcantarillado presentaría un total de 2,270 roturas. De este total 85 corresponden a la red primaria, 619 a la red secundaria y 1566 a la red menor. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (452), Engativá (379), Usaquén (307) y Fontibón (167). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (30) Santa Fe (24) y Candelaria (10).

Los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 1 (16 tanques) y 2 (35 tanques), donde el estado 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0% y el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%.

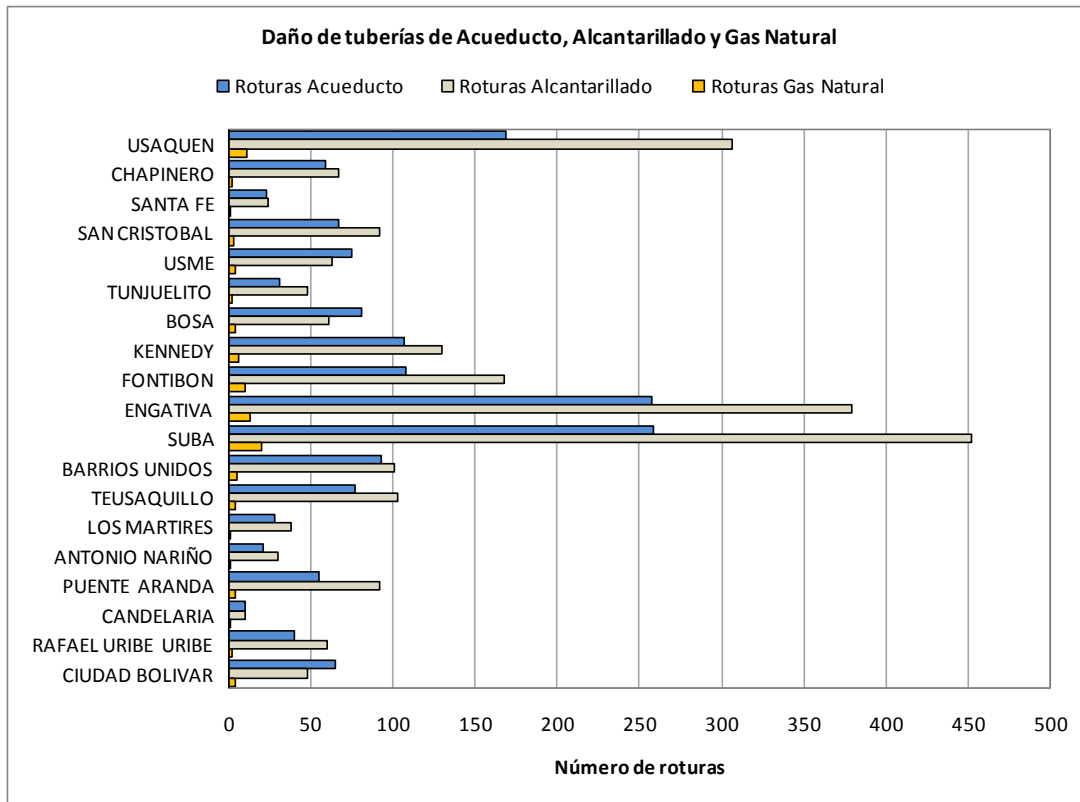


Figura 30. Roturas de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas natural

6.3.4 Gas natural

Con base en la información suministrada por la empresa de gas natural se tendría un número reducido de roturas, debido a que esta red es reciente y sus materiales de alta calidad. Los resultados indican que se presentaría un total de 97 roturas. De este total 27 corresponden a la red primaria y 70 a la red secundaria. En la Figura 30 se observa que las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (20), Engativá (13), Usaquén (11) y Fontibón (10). Las localidades que presentan pocas roturas son Chapinero (2), Santa Fe (1), Tunjuelito (2), los Mártires (1), Antonio Nariño (1), Candelaria (1) y Rafael Uribe Uribe (2).

6.3.5 Energía eléctrica

Las empresas de energía eléctrica suministraron la información necesaria para las evaluaciones, los resultados indican que se presentaría un total de 36.79 km de cableado afectado. De este total 3.9 km corresponden a la red alta tensión, 8.42 a la red de mediana tensión y 23.69 a la red de baja tensión, por otro lado 26.35 km corresponden a la red aérea y 10.44 a la red canalizada. En la **Figura 31** se puede ver que las localidades que presentan mayor longitud de cableado afectado son Usaquén (4.19), Suba (4.16), Ciudad Bolívar (3.80) y Chapinero (3.48). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Fontibón (0.09), Los Mártires (0.9), Barrios Unidos (0.75), Antonio Nariño (0.71) y Candelaria (0.65).

Las torres de la red de energía eléctrica presentan estados de daño en nivel 1 (93 torres), nivel 2 (9 torres) y nivel 3(2 torres), donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo (ver **Figura 32**).

De los 785,150 postes, 45,568 presentan estado de daño 1 (bajo), 2,571 estado 2 (moderado) y 855 estado 3 (severo).

Tanto las torres como los postes afectados con niveles 2 y 3 se encuentran en las zonas donde ocurren efectos colaterales de licuación o deslizamiento.

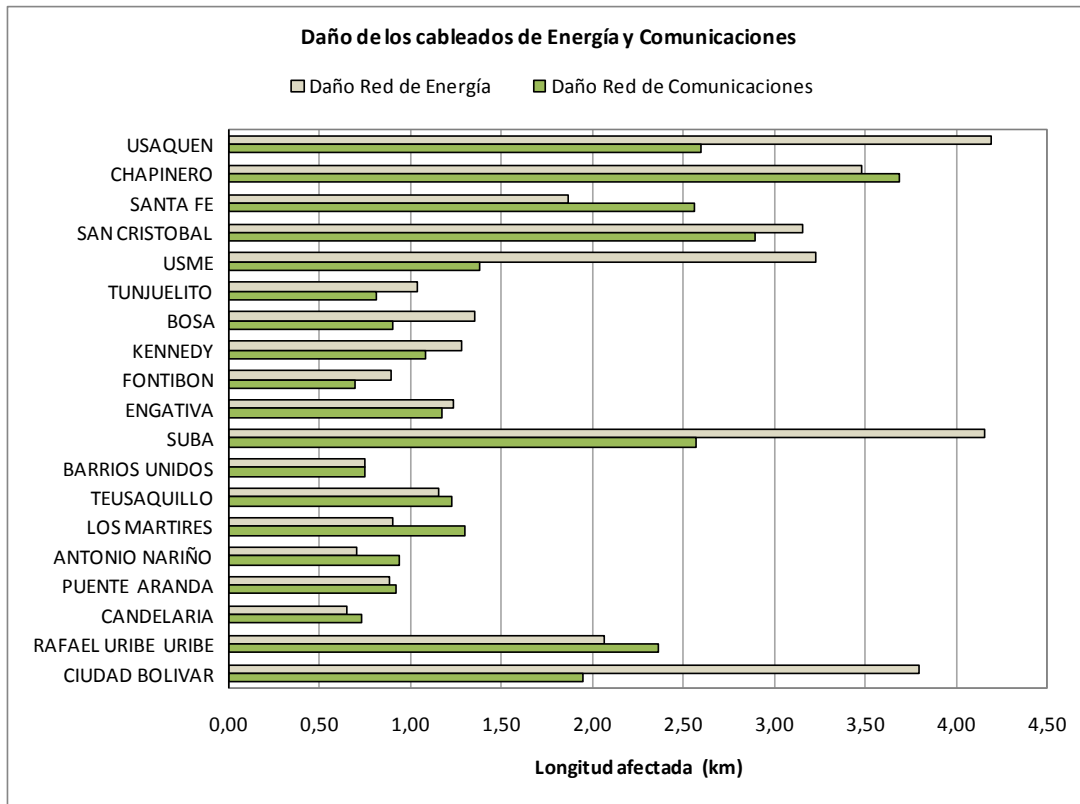


Figura 31. Daños de cableados de energía y comunicaciones

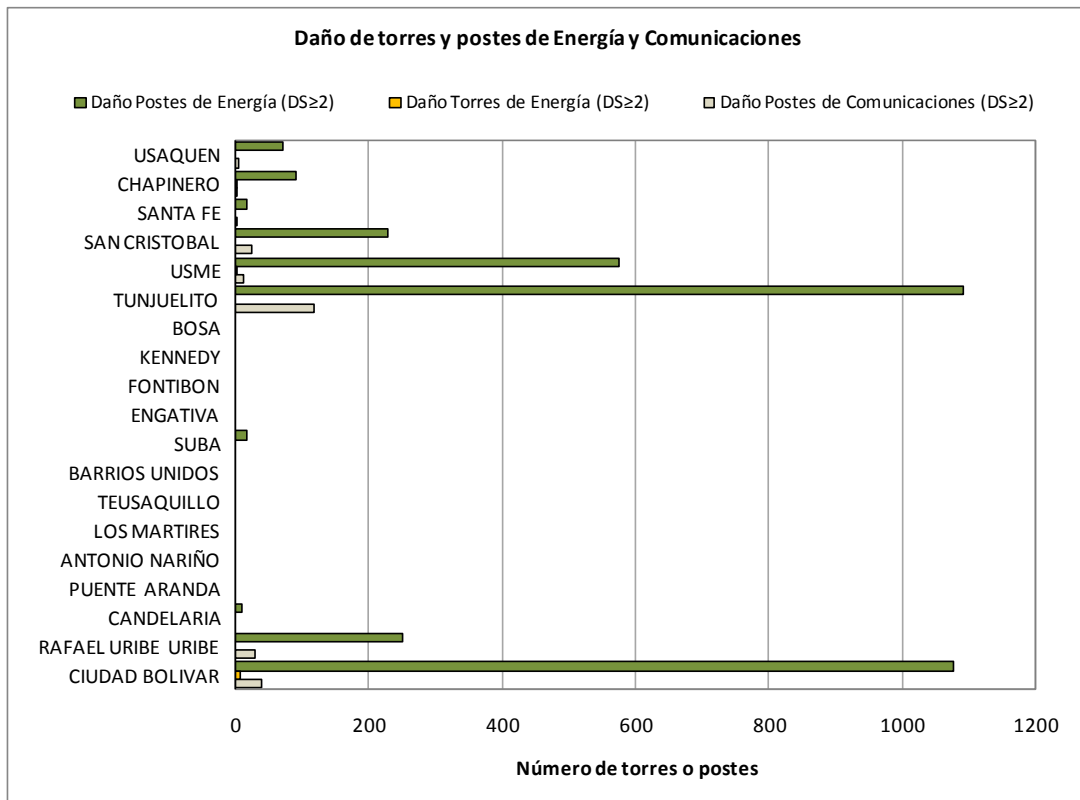


Figura 32. Daños de torres y postes de energía y comunicaciones

6.3.6 Comunicaciones

La red de comunicaciones evaluada corresponde a la información suministrada por la Empresa de Teléfonos de Bogotá y de Telefónica, los resultados indican que se presentaría un total de 30.52 km de cableado afectados. De este total 10.33 km corresponden a la red aérea y 20.18 a la red canalizada. En la Figura 31 se puede ver que las localidades que presentan mayor longitud afectada son Chapinero (3.69), San Cristóbal (2.89), Usaquén (2.59), Suba (2.57), Santa Fe (2.56) y Rafael Uribe Uribe (2.36). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Barrios Unidos (0.75), Fontibón (0.7) y Candelaria (0.73).

6.3.7 Puentes

Los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel 1 hasta el nivel 5, siendo más frecuentes los estados de daño 2 y 3 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total). De 165 puentes vehiculares, 76 presentan estado de daño 2, 50 presentan estado de daño 3, 8 presentan estado de daño 4 y 5 presentan estado de daño 5. De 147 puentes peatonales, 63 presentan estado de daño 2, 24 presentan estado de daño 3, 8 presentan estado de daño 4 y 1 presenta estado de daño 5 (ver **Figura 33**).

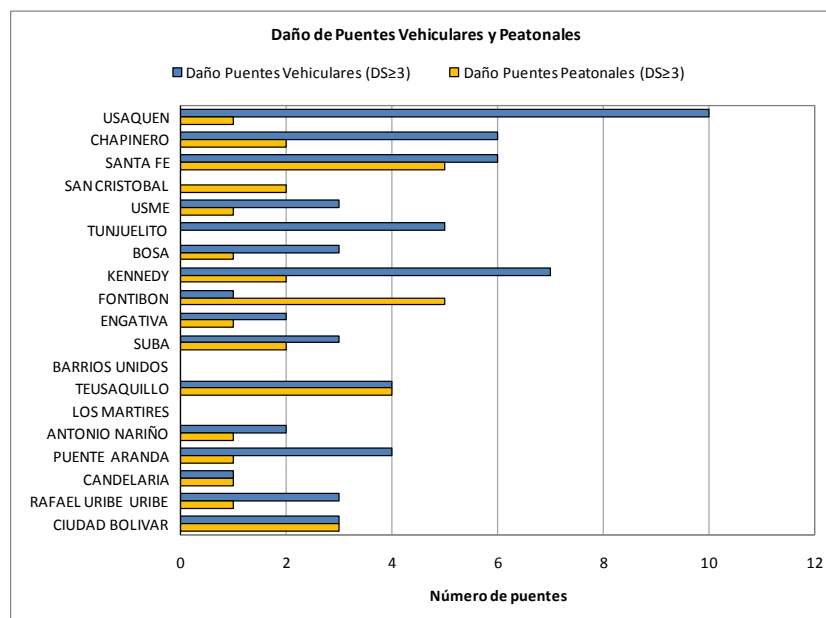


Figura 33. Daño de Puentes vehiculares y peatonales

6.4 AFECTACIONES A LA POBLACIÓN

Con base en los datos de población de Bogotá del Departamento Nacional de Estadística se realizó la proyección de la población para el año 2010 y la distribución estimada de las personas en cuanto a la hora del día (se concentra la población en los sitios de trabajo en el día y se concentra la población en las zonas residenciales en horas de la noche) se obtuvo un estimativo de heridos y muertos (las personas atrapadas se pueden estimar sumando las personas heridas y muertas).

Los resultados se ilustran en la **Figura 34** y la **Figura 35** (Ver detalles en el anexo 4). Las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades Rafael Uribe, Bosa, Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Chapinero, Santa Fe y Tunjuelito. De noche se encuentra que las localidades más afectadas serían San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, Bosa, Usme y Tunjuelito.

En total se estiman entre 67,000 a 76,000 heridos y entre 14,000 a 15,000 muertos. La distribución espacial de las afectaciones se puede ver en el Anexo 4, donde se destaca que se concentran los afectados en las zonas de cerros y piedemonte en las cuales las edificaciones carecen de buenas condiciones de sismorresistencia, ya sea por su antigüedad o por que fueron construidas sin seguir las normas de sismorresistencia.

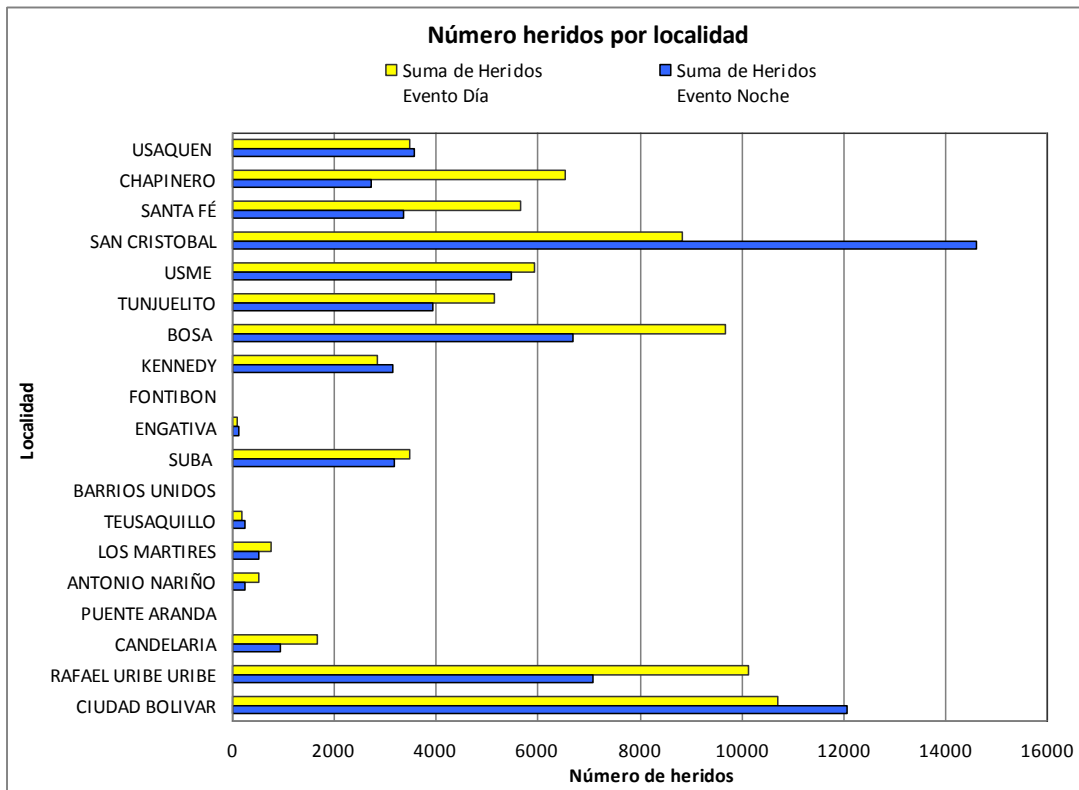


Figura 34. Número de heridos por localidad

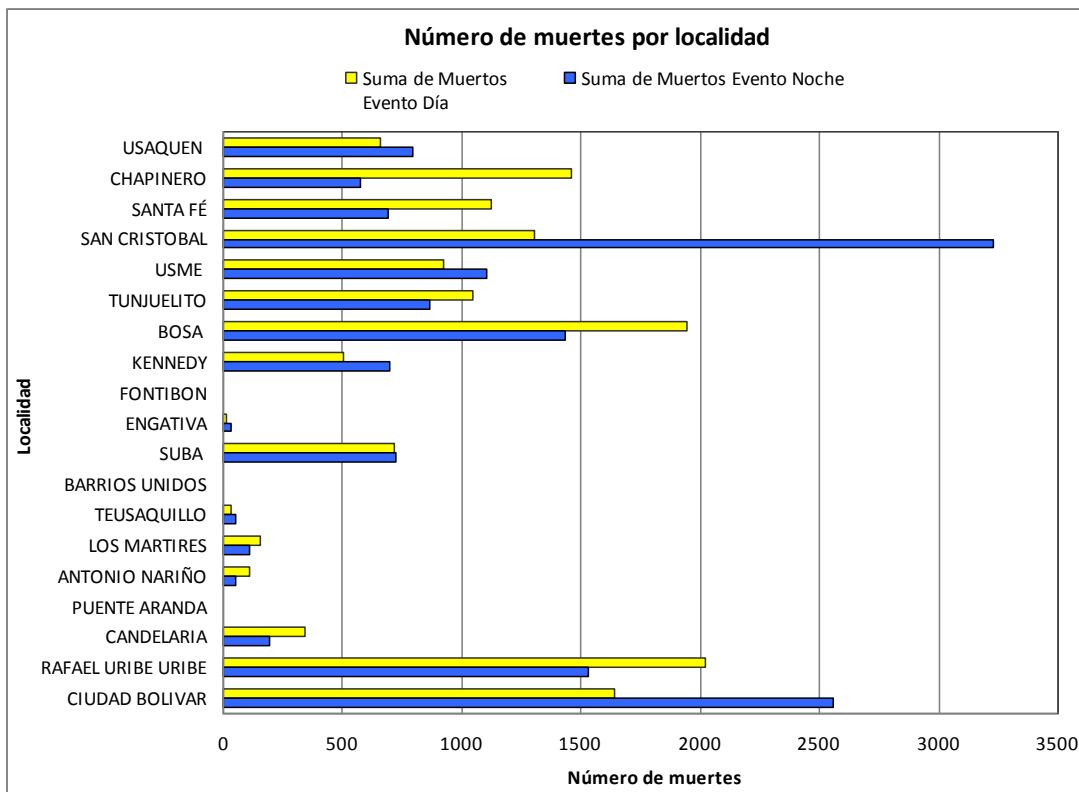


Figura 35. Número de muertes por localidad

7 ESCENARIO 6.5 A 15 KM

El escenario de amenaza considerado trata de un sismo generado en la Falla Frontal de una magnitud de 7.3 en la escala de Richter a una distancia promedio de 35 km y una profundidad de 25 km, evento que está asociado a un periodo de retorno equivalente de 475 años.

Este escenario presenta intensidades regionales, sin incluir efectos locales, entre VI, VII y VIII, en este escenario la mayor parte del departamento de Cundinamarca presenta intensidad de VI, sin embargo existe una franja hacia el suroccidente que presenta intensidad de VIII en donde probablemente se encontrarán los mayores daños (Ver Anexo 4).

A nivel local los terrenos de Bogotá experimentarían aceleraciones pico entre 0.12 g a 0.27 g, aceleraciones espectrales para periodos cortos (0.1 s – 0.5 s) entre 0.40 g a 0.70 g y para periodos intermedios (0.5 s – 1.0 s) entre 0.40 g a 0.50 g (Ver Anexo 4).

7.1 EFECTOS REGIONALES

Los efectos regionales son más complejos que los del escenario de diseño, no se presenta mapa de intensidades dado que su afectación dependerá de la localización exacta del epicentro del sismo.

7.2 EFECTOS COLATERALES

Con base en la zonificación geotécnica de Bogotá (FOPAE 2010a), en la ciudad se detectaron cuatro zonas con potencial de licuación: Aluvial, Cauces, Llanura A y Llanura B), de estas zonas las que presentan mayor susceptibilidad ante licuación se encuentran en las cercanías del río Tunjuelito (Ver Anexo 4).

Por otro lado, a partir de la geología de cerros homologada para ingeniería (FOPAE, 2010a), las zonas con potencial de deslizamiento se concentran en el suroriente, especialmente en las unidades con depósitos de ladera, rocas arcillosas y cauces antiguos o activos que presentaron los menores valores de aceleración crítica y por ende son más susceptibles a producir deslizamientos (Ver Anexo 4).

7.3 DAÑOS FÍSICOS

Con base en el escenario de amenaza de Magnitud 6.5 de una falla cercana y la información disponible de los elementos expuestos se evaluaron los daños físicos por medio de SEDAR, los resultados detallados a nivel de UPZ y localidad y los mapas se encuentran en el Anexo 5. A continuación se presenta un breve análisis de los resultados de este escenario.

7.3.1 Edificaciones de la base catastral

A partir de la base de datos catastral actualizada a diciembre de 2010 se estimaron y clasificaron los daños de las edificaciones de la ciudad a partir del índice de daño y la escala de daño de Mena (2002). Los resultados indican que los sectores más afectados corresponden a la parte oriental y suroriental de la ciudad, principalmente las localidades de Rafael Uribe Uribe, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Usme, Santa Fe, Bosa, Usaquén, Chapinero, Suba, Tunjuelito y Candelaria (ver **Figura 36** y **Figura 37**).

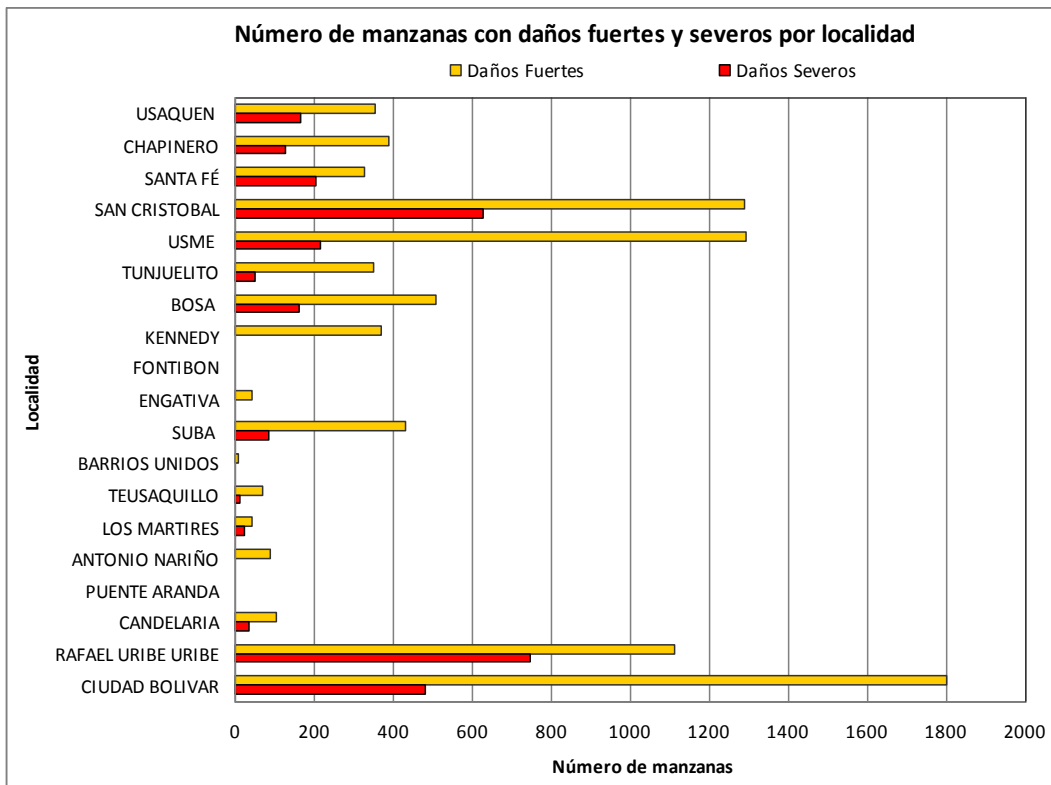


Figura 36. Número de manzanas con daños fuertes y severos por localidad

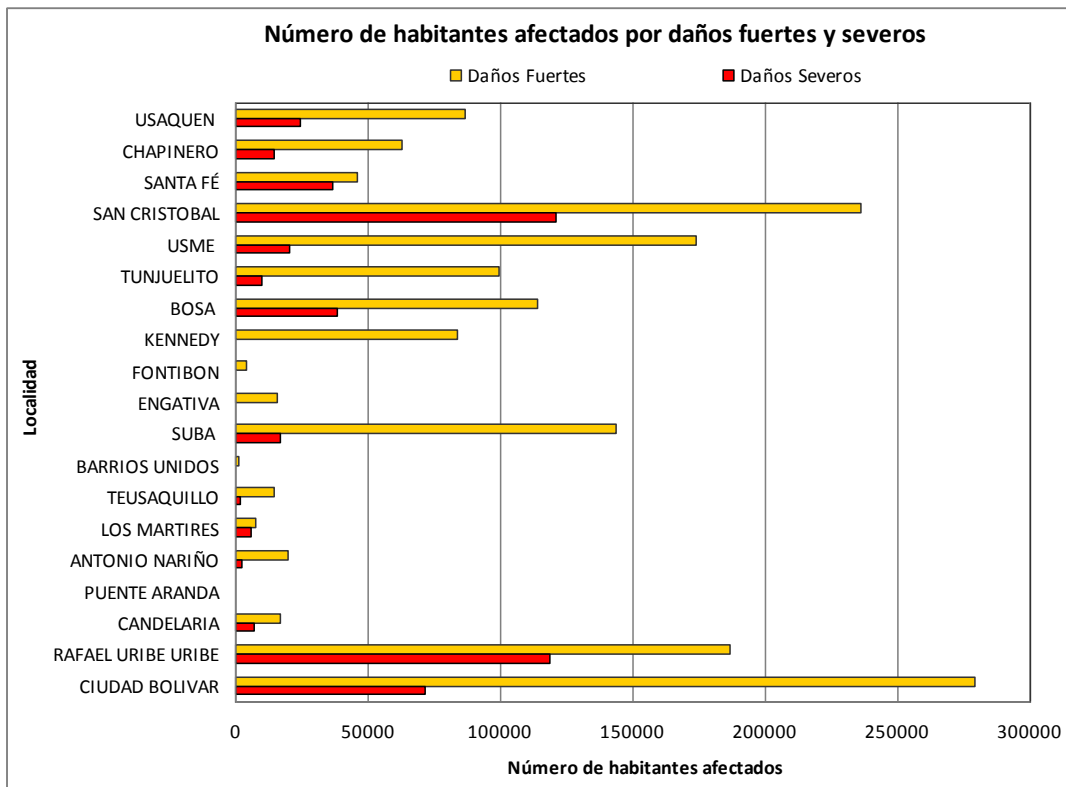


Figura 37. Número de habitantes afectados por daños fuertes y severos de sus residencias por localidad

El número total de Manzanas con daños fuertes (comprometen su estabilidad estructural y requieren inspección) es del orden de 8,600 donde residen 1'600,000 personas. El número total de manzanas con daños severos (alta probabilidad de colapso) es del orden de 3,000 donde habitan 500,000 personas que deberán ser evacuadas.

Las pérdidas económicas directas por el daño de las edificaciones se calcularon con base en el avalúo catastral de la edificación, no se tuvieron en cuenta los contenidos ni otros bienes. A pesar de esta limitación este estimativo sirve para dar una idea de las pérdidas directas. Especialmente, los mayores valores de pérdidas económicas se concentran en las localidades de Chapinero, Usaquén, Suba, Santa Fe y Teusaquillo (ver **Figura 38**).

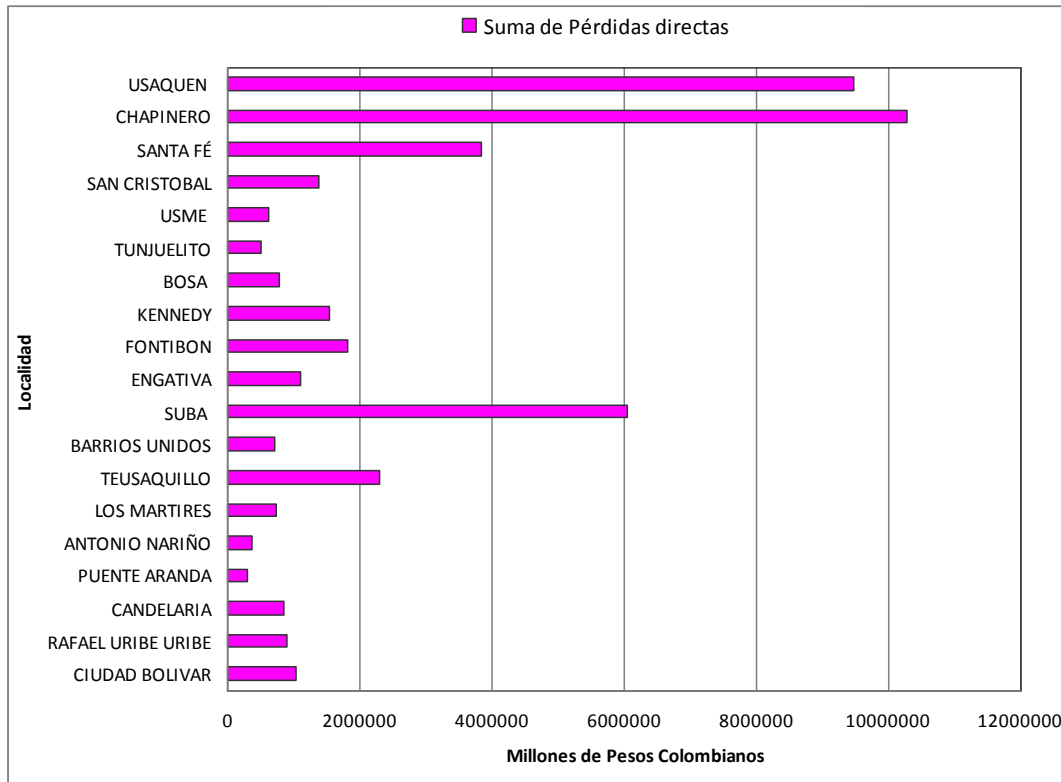


Figura 38. Pérdidas económicas directas edificaciones

7.3.2 Edificaciones indispensables

Se realizó la evaluación de daños para la recopilación de información de 125 edificaciones indispensables y de atención a la comunidad. En términos generales las edificaciones indispensables presentan un buen comportamiento ante el sismo planteado, sin embargo se detectan varias edificaciones con índices fuertes y hasta severos que corresponden a la policía nacional, empresa de energía de Bogotá, empresa de teléfonos de Bogotá y la secretaria de salud, seguidas de algunas edificaciones con índices moderados a considerables que pertenecen al cuerpo oficial de bomberos, FOPAE, cruz roja colombiana, ejército nacional, defensa civil y terminal de transporte; y para el resto de las edificaciones los daños son nulos a bajos (ver **Tabla 8**).

ENTIDAD	No Edi.	ID PROM
Fondo de Prevención y Atención de Emergencias	2	20.0
Dirección de Gestión del Riesgo para la Prevención y Atención de Desastres	1	2.7
Oficina de Prevención y Atención de Desastres - Gobernación de Cundinamarca	1	3.3
Cuerpo Oficial de Bomberos de Bogotá	18	8.5
Cruz Roja Colombiana	1	23.4
Defensa civil	2	8.9
Secretaría de Salud	22	23.0
Policía Nacional	41	20.8
Ejército Nacional	1	20.7
Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá	5	5.2
Empresa de Energía de Bogotá S.A. E.S.P.	1	39.9
CODENSA	1	18.7
Empresa de teléfonos de Bogotá	27	13.5
Terminal de Transporte	2	17.3
Total General	125	16.8

Tabla 8. Consolidado de daños en edificaciones indispensables

7.3.3 Acueducto y alcantarillado

A partir de los datos de las redes de acueducto y alcantarillado suministrados por la EAAB se tiene que los daños se presentarían principalmente en las zonas de terrenos blandos e inestables.

La red de acueducto presentaría un total de 2,761 roturas. De este total 104 corresponden a la red primaria y 2,657 a la red secundaria. En la **Figura 39** se observa que las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (259), Engativá (258), Usaquén (169), Fontibón (108), Kennedy (107) y Barrios Unidos (93). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Santa Fe (23), Antonio Nariño (21) y Candelaria (10).

La red de alcantarillado presentaría un total de 2,270 roturas. De este total 85 corresponden a la red primaria, 619 a la red secundaria y 1566 a la red menor. Las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (397), Engativá (376), Usaquén (266) y Kennedy (222). Las localidades que presentan el menor número de roturas son Antonio Nariño (44) Santa Fe (40) y Candelaria (17).

Los tanques de almacenamiento analizados presentan estado de daño 2 (51 tanques), donde el estado de daño 1 equivale a un porcentaje de pérdida del 0% y el estado de daño 2 a un porcentaje de pérdida entre el 1 y el 20%.

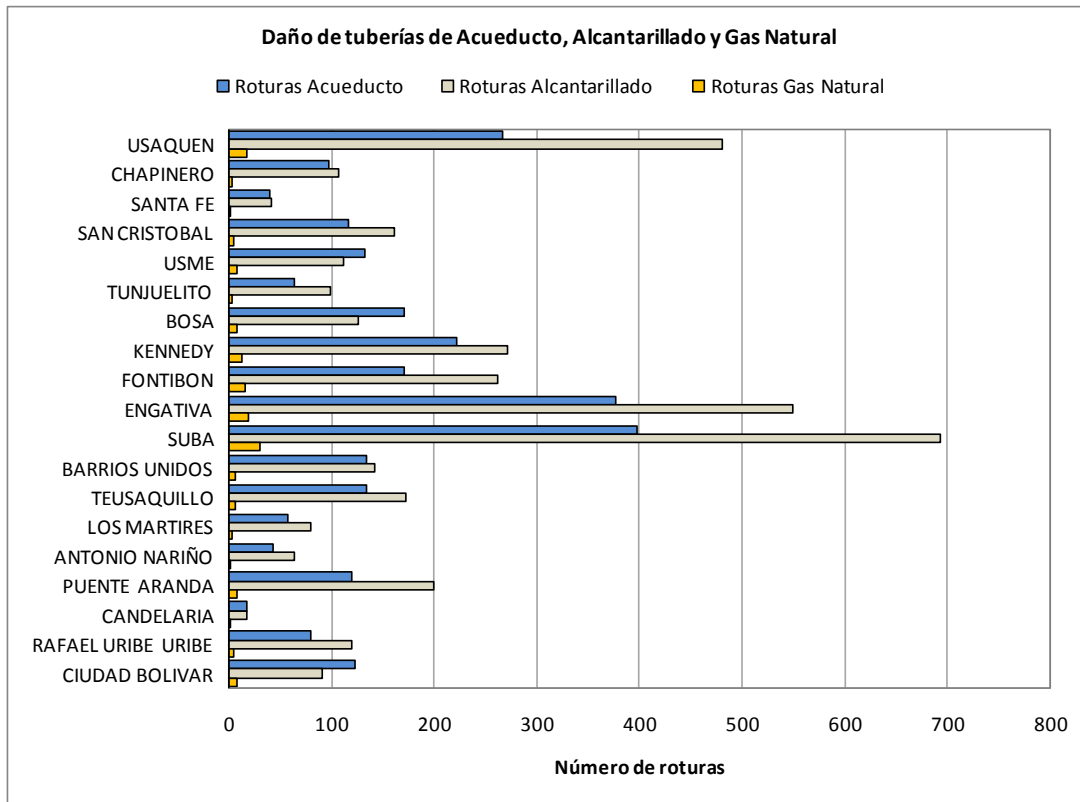


Figura 39. Roturas de tuberías de acueducto, alcantarillado y gas natural

7.3.4 Gas natural

Con base en la información suministrada por la empresa de gas natural se tendría un número reducido de roturas, debido a que esta red es reciente y sus materiales de alta calidad. Los resultados indican que se presentaría un total de 165 roturas. De este total 47 corresponden a la red primaria y 118 a la red secundaria. En la Figura 39 se observa que las localidades que presentan mayor número de roturas son Suba (31), Engativá (18), Usaquén (17) y Fontibón (16). Las localidades que presentan pocas roturas son Chapinero (4), Santa Fe (2), Tunjuelito (4), los Mártires (3), Antonio Nariño (2) y Candelaria (1).

7.3.5 Energía eléctrica

Las empresas de energía eléctrica suministraron la información necesaria para las evaluaciones, los resultados indican que se presentaría un total de 75.98 km de cableado afectado. De este total 7.6 km corresponden a la red alta tensión, 17.64 a la red de mediana tensión y 49.05 a la red de baja tensión, por otro lado 54.73 km corresponden a la red aérea y 21.25 a la red canalizada. En la **Figura 40** se puede ver que las localidades que presentan mayor longitud de cableado afectado son Ciudad Bolívar (9.12), San Cristóbal (8.43), Usme (8.37), Chapinero (8.28), Usaquén (7.60) y Suba (7.12). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Barrios Unidos (1.03), Puente Aranda (1.26), Antonio Nariño (1.27), Fontibón (1.36) y Los Mártires (1.42).

Las torres de la red de energía eléctrica presentan estados de daño en nivel 1 (68 torres), nivel 2 (2 torres) y nivel 3(2 torres), donde el estado 0 equivale a ningún daño, el estado 1 a daño bajo, el estado 2 a daño moderado y el estado 3 a daño severo (ver **Figura 32**).

De los 785,150 postes, 34,453 presentan estado de daño 1 (bajo), 2,569 estado 2 (moderado) y 774 estado 3 (severo).

Tanto las torres como los postes afectados con niveles 2 y 3 se encuentran en las zonas donde ocurren efectos colaterales de licuación o deslizamiento.

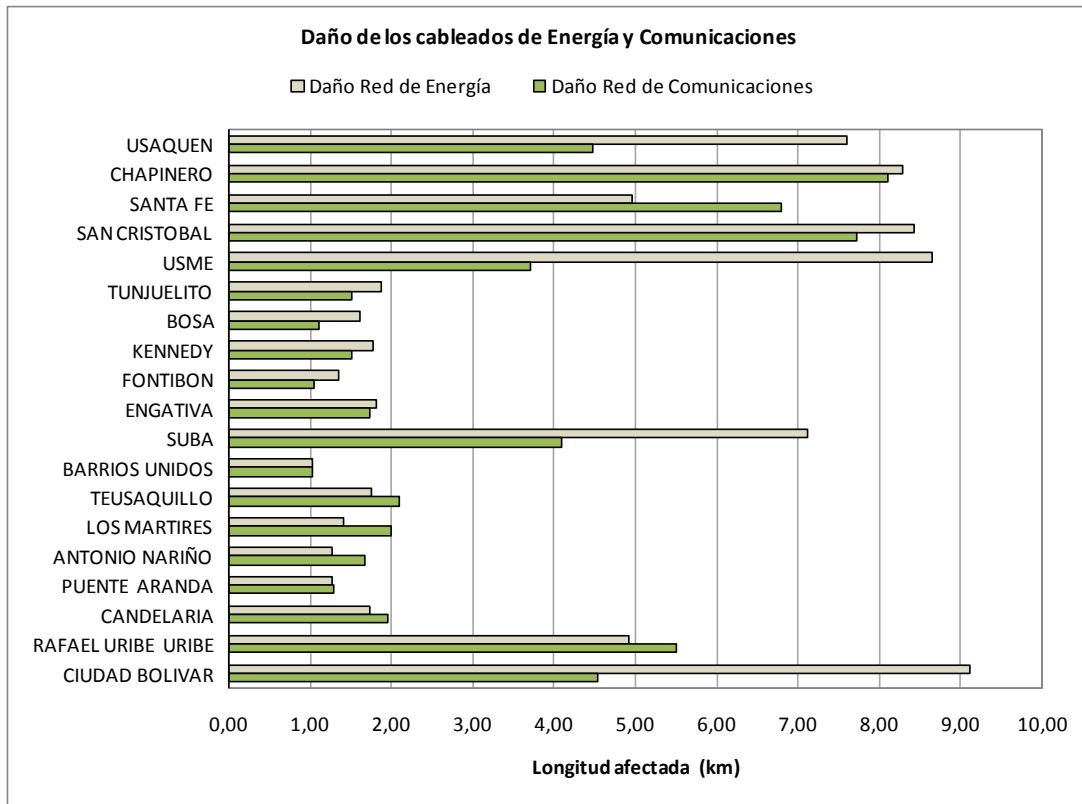


Figura 40. Daños de cableados de energía y comunicaciones

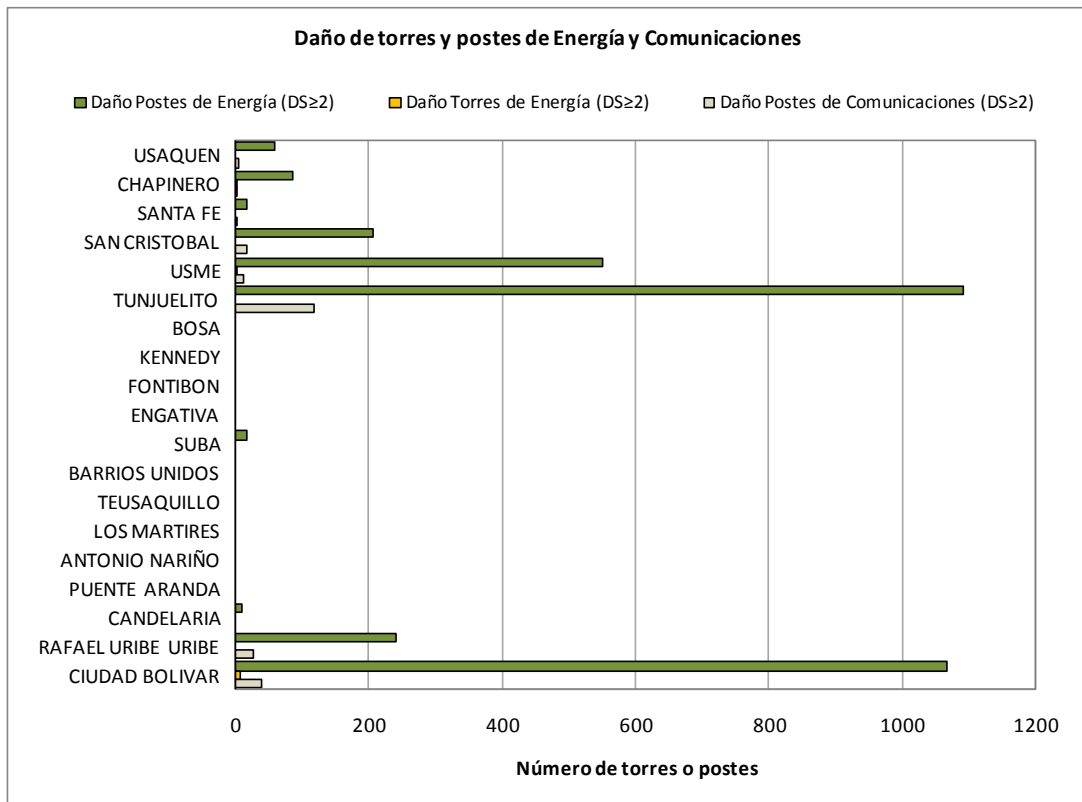


Figura 41. Daños de torres y postes de energía y comunicaciones

7.3.6 Comunicaciones

La red de comunicaciones evaluada corresponde a la información suministrada por la Empresa de Teléfonos de Bogotá y de Telefónica, los resultados indican que se presentaría un total de 61.87 km de cableado afectados. De este total 21.60 km corresponden a la red aérea y 40.26 a la red canalizada. En la Figura 40 se puede ver que las localidades que presentan mayor longitud afectada son Chapinero (8.11), San Cristóbal (7.72), Santa Fe (6.79) y Rafael Uribe Uribe (5.50). Las localidades que presentan la menor longitud afectada son Puente Aranda (1.30), Bosa (1.10), Fontibón (1.06) y Barrios Unidos (1.03).

7.3.7 Puentes

Los puentes de la ciudad presentan estados de daño desde el nivel 1 hasta el nivel 5, siendo más frecuentes los estados de daño 1, 2 y 3 (donde el estado 1 equivale a ningún daño, el estado 2 a daño menor, el estado 3 a daño moderado, el estado 4 a daño generalizado y el estado 5 a daño total). De 165 puentes vehiculares, 79 presentan estado de daño 2, 51 presentan estado de daño 3, 13 presentan estado de daño 4 y 7 presentan estado de daño 5. De 147 puentes peatonales, 61 presentan estado de daño 2, 20 presentan estado de daño 3, 16 presentan estado de daño 4 y 3 presentan estado de daño 5 (ver **Figura 42**).

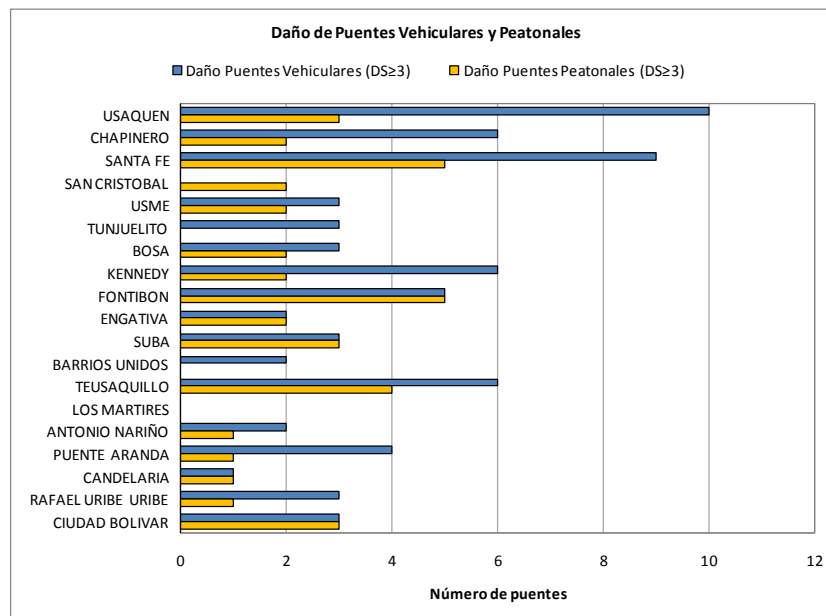


Figura 42. Daño de Puentes vehiculares y peatonales

7.4 AFECTACIONES A LA POBLACIÓN

Con base en los datos de población de Bogotá del Departamento Nacional de Estadística se realizó la proyección de la población para el año 2010 y la distribución estimada de las personas en cuanto a la hora del día (se concentra la población en los sitios de trabajo en el día y se concentra la población en las zonas residenciales en horas de la noche) se obtuvo un estimativo de heridos y muertos (las personas atrapadas se pueden estimar sumando las personas heridas y muertas).

Los resultados se ilustran en la **Figura 43** y la **Figura 44** (Ver detalles en el anexo 5). Las mayores afectaciones a la población en el día se dan en las localidades Chapinero, Santa Fe, San Cristóbal, Bosa, Antonio Nariño, Rafael Uribe Uribe y Ciudad Bolívar. De noche se encuentra que las localidades más afectadas serían San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, Usme Suba, Bosa y Usaquén.

En total se estiman entre 118,000 a 137,000 heridos y entre 25,300 a 25,800 muertos. La distribución espacial de las afectaciones se puede ver en el Anexo 5, donde se destaca que se concentran los afectados en las zonas de cerros y piedemonte en las cuales las edificaciones carecen de buenas condiciones de sismorresistencia, ya sea por su antigüedad o por que fueron construidas sin seguir las normas de sismorresistencia.

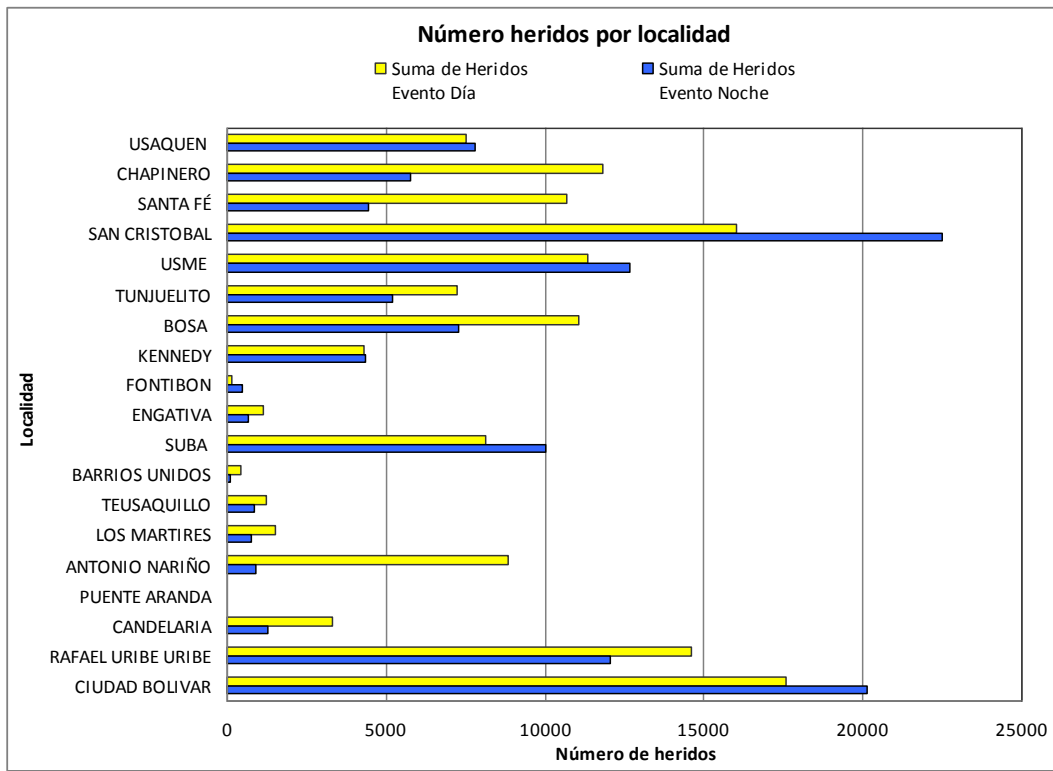


Figura 43. Número de heridos por localidad

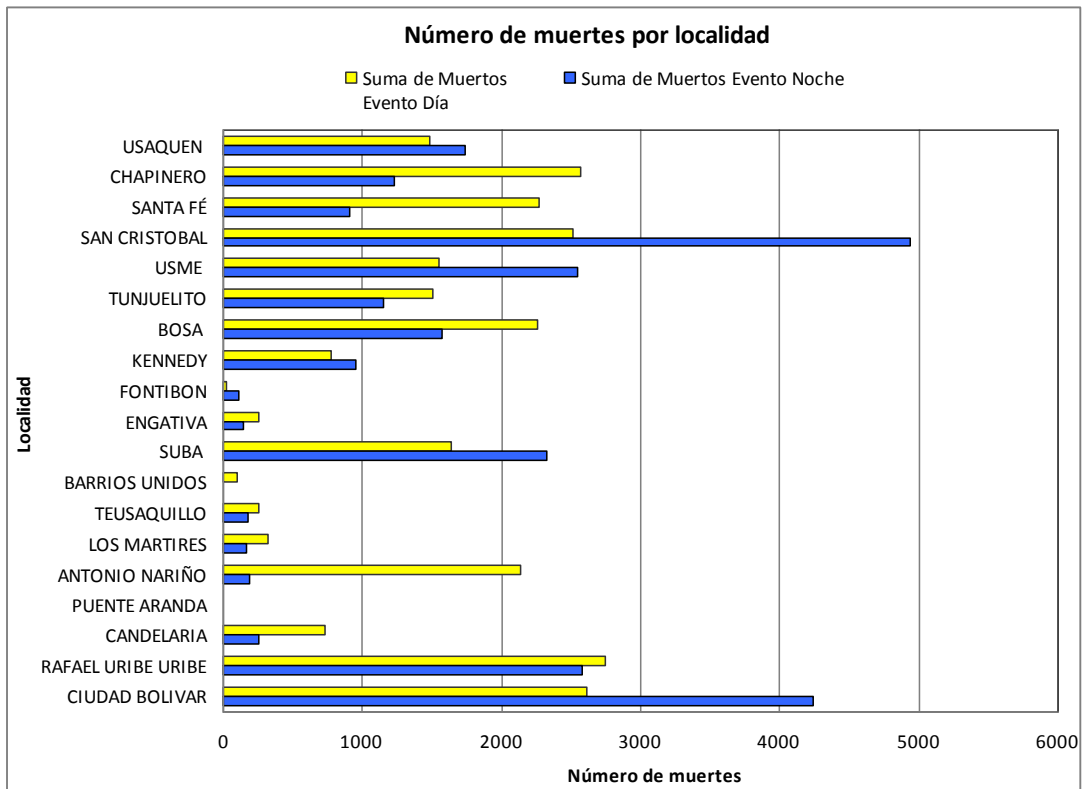


Figura 44. Número de muertes por localidad

8 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

La información descrita en este documento es para fines de gestión integral de riesgo, ninguna de las conclusiones pueden tomarse textualmente para otros fines, ya que como se mencionó con anterioridad, el alcance de los resultados obtenidos depende de una serie de hipótesis, modelos matemáticos y de la información disponible.

Las conclusiones se establecen considerando el escenario de sismo de magnitud 7.0 en la falla Frontal, las cuales se exponen a continuación:

Edificaciones: Los daños en las edificaciones se concentran en las zonas de cerros y piedemonte, allí predominan tipologías constructivas no sismorresistentes. Las localidades con mayores daños son: Ciudad Bolívar, San Cristóbal, Rafael Uribe Uribe, Bosa, Usme, Santa Fe, Usaquén, Chapinero, Suba y Tunjuelito. Las mayores pérdidas económicas directas por los daños a las edificaciones están en las localidades de Usaquén, Chapinero, Suba y Santa Fe.

Edificaciones indispensables: Las edificaciones indispensables presentan en general daños bajos a moderados, aunque hay algunas edificaciones que muestran hasta daños fuertes y severos. Los mayores daños se presentarían en las edificaciones de la secretaría de salud (edificaciones no reforzadas), terminales de transporte, Policía Nacional (estaciones antiguas sin reforzar), empresas de energía de Bogotá y empresa de teléfonos de Bogotá (edificios antiguos).

Acueducto: El suministro de agua potable a la ciudad proviene de los sistemas Wiesner, Tibitoc y el Dorado, los suministros que están localizados en la cordillera oriental puede tener afectaciones dado que el epicentro de los sismos probables puede ser cerca a estos sistemas de abastecimiento. A nivel urbano, las redes de acueducto presentarían mayores daños en las zonas de suelos blandos y donde se presenten efectos colaterales de licuación y deslizamiento. Las localidades con mayores roturas de la red serían Suba y Engativá. Se destaca que los tanques de almacenamiento no presentarían daños, sin embargo puede ser afectado el funcionamiento del sistema por las roturas de las redes de suministro.

Alcantarillado: El comportamiento de la red de alcantarillado es similar a la red de acueducto, sin embargo el número de roturas es mucho mayor debido a los diámetros y materiales de estas conducciones. Las localidades más afectadas por roturas de la red serían Suba y Engativá.

Gas natural: El suministro de gas natural a la ciudad proviene del norte y del oriente, puede tener afectaciones las redes de suministro que estén cercanas al epicentro del sismo, probablemente la red del oriente. A nivel urbano la red de gas natural presenta una tasa pequeña de roturas en comparación con las redes de acueducto y alcantarillado, las localidades que presentarían algunas roturas son Suba y Engativá, adicionalmente las redes que sean afectadas por efectos colaterales de licuación y deslizamiento.

Energía eléctrica: Las conducciones provenientes del oriente de la ciudad pueden tener afectaciones por la cercanía al posible epicentro del sismo. En el centro urbano los daños se concentran en las zonas de cerros y piedemontes, en las localidades de Ciudad Bolívar, Usaquén, San Cristóbal y Suba.

Comunicaciones: Las redes de cableado telefónico evaluado pueden tener las mayores afectaciones en las localidades de Chapinero, Usaquén, San Cristóbal y Suba. Las centrales telefónicas presentan índices de daño bajos a nulos, sin embargo las centrales localizadas en el suroriente de la ciudad pueden tener afectaciones por efectos colaterales.

Movilidad: La malla vial de la región la componen las vías panamericanas al Llano, a Tunja, a Medellín, a La Mesa y a Girardot. La vía al Llano tiene la mayor probabilidad de ser afectada por deslizamientos ocasionados por la cercanía con el epicentro del sismo. A nivel urbano los daños de las vías y puentes se concentran en las zonas de cerros y piedemontes, en las localidades de Ciudad Bolívar, Usaquén, San Cristóbal y Suba. Adicionalmente se pueden presentar bloqueos de las vías donde se presentan los mayores daños de las edificaciones (San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe Uribe, Usme, Bosa, Santa Fe, Chapinero, Usaquén, Suba y Tunjuelito).

Población: Las afectaciones a la población en términos de muertes, heridos y afectados se concentran en las zonas de cerros y piedemonte. Si el evento sísmico es diurno las localidades con mayores víctimas son: Rafael Uribe, San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Bosa, Chapinero, Santa Fe, Usme, Usaquén y Suba. Si el evento sísmico es nocturno las localidades con mayores víctimas son: San Cristóbal, Ciudad Bolívar, Rafael Uribe, Bosa y Usme.

Los resultados más relevantes para los escenarios considerados se presentan en la **Tabla 9**.

Ítem	Und	M6.5 a 50 km	M7.0 a 40 km	M7.3 a 35 km	M6.5 a 15 km
Daño promedio de Edificaciones	%	6.8	16.0	18.5	24.9
Manzanas con Id 30-60%	No.	1,481	4,441	5,378	8,577
Manzanas con Id >60%	No.	583	1,124	1,691	2,937
Población sin vivienda (Id>60)	No.	84,899	163,727	257,518	490,557
Población afectada (Id >30)	No.	290,446	973,966	1,250,513	2,081,726
Pérdidas directas edificaciones	BDP	5.1	22.5	26.7	44.6
Heridos evento de día	No.	19,608	55,817	75,667	136,840
Muertos evento de día	No.	3,975	10,190	14,005	25,737
Heridos evento de noche	No.	11,360	51,373	67,889	117,191
Muertos evento de noche	No.	2,417	11,048	14,650	25,236
Roturas Tuberías acueducto	No.	251	1,342	1,624	2,761
Roturas Tuberías alcantarillado	No.	355	1,878	2,270	3,790
Roturas Tuberías gas natural	No.	15	80	97	165
Daño Cableado Energía	km	3.7	26.3	36.8	76.0
Daño Torres energía DS≥2	No.	2	2	11	11
Daño Postes energía DS≥2	No.	765	929	3429	3343
Daño Cableado Comunicaciones	km	3.3	21.9	30.5	61.9
Daño Postes Comunicaciones DS≥2	No.	56	62	234	226
Daño Puentes vehiculares DS≥3	No.	3	36	63	71
Daño Puentes peatonales DS≥3	No.	2	25	33	39

Tabla 9. Consolidado de daños, afectaciones y pérdidas

Recomendaciones

- Conocimiento

Aunar esfuerzos técnicos con las entidades nacionales e internacionales que investigan la amenaza sísmica, con el fin de obtener modelos y mapas de intensidades sísmicas de cubrimiento regional, que incluya efectos locales y colaterales.

Continuar y fortalecer los sistemas de monitoreo de la amenaza sísmica, tanto a nivel nacional las redes de Acelerógrafos y Sismológicas como a nivel local la Red de Acelerógrafos de Bogotá.

Continuar con las investigaciones y desarrollos para mejorar y/o incorporar métodos de análisis de vulnerabilidad y daño por sismo.

Promover que en las bases de datos catastrales se incluyan las tipologías estructurales de las edificaciones.

- Prevención

Divulgar los resultados del estudio en distintos niveles de la sociedad, desde las entidades del sistema de prevención y atención de emergencias hasta los niveles comunitarios. Dicha divulgación debe ser dirigida por personal capacitado y que dé cuenta de los alcances de las modelaciones para que la información se interprete de la mejor manera sin causar pánico ni desinformación.

Fortalecer las campañas de prevención y educación a la comunidad, resaltando la necesidad de la autoprotección y la cultura de la prevención.

Incorporar los productos de vulnerabilidad de edificaciones e indicadores de posibles daños (riesgo) como un determinante más en los conceptos de legalización de barrios, renovación urbana y demás documentos técnicos de la entidad donde se puedan mencionar las condiciones de vulnerabilidad y riesgo sísmico, siempre y cuando se precise detalladamente el alcance de las modelaciones.

- Mitigación

Incentivar el reforzamiento de las edificaciones normales con mayores índices de daño, así mismo promover estudios detallados de vulnerabilidad sísmica y su reforzamiento de las edificaciones indispensables que presentaron índices altos de daño.

Promover en las empresas de servicios públicos a cargo de las líneas vitales que verifiquen detalladamente el riesgo sísmico de sus sistemas, que definan estrategias para la reducción del riesgo, tanto físico como funcional.

Promover el reasentamiento de la población localizada en zonas de ladera consideradas en riesgo por deslizamiento que no sea mitigable y propender por la protección de estas zonas evitando su ocupación.

- Atención de emergencia

Actualizar los planes de respuesta por terremoto de Bogotá de manera tal que se definan consistentemente los recursos necesarios para atender la emergencia y se actualice el sistema de atención en sus ramas de planeación, operaciones, logística y administración.

Crear un centro para el manejo de emergencias de la ciudad, dicho centro debe contar con una sala de crisis equipada con la tecnología necesaria para dirigir la atención de la emergencia, generación independiente de energía y agua potable, salas auxiliares, habitaciones equipadas para cortos descansos, estudio para dar declaraciones públicas, cuarto de control de los sistemas para el manejo de emergencia y de comunicaciones satelitales.

Mejorar el sistema de manejo de emergencias y de comunicaciones para que pueda manejar la información de la ciudad y de la atención de la emergencia. Dicho sistema debe tener tecnología de punta, debe realizar el inventario de daños y afectaciones de manera geográfica, el acceso de la información debe ser descentralizada y por canales de comunicación satelitales, el sistema se opera desde el centro de manejo de emergencias y debe contar con los demás soportes tecnológicos, logísticos y administrativos para su funcionamiento.

- Recuperación

Revisar y ajustar los avances en los planes de recuperación, promover mecanismos para la transferencia del riesgo con acciones a corto plazo, fundamentales para reducción del riesgo de desastre.

9 REFERENCIAS

- AIS300 Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS, (2009). Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia 2009.
- AIS300 Asociación Colombiana de Ingeniería sísmica, (2010). Normas Colombianas de diseño y construcción sismo resistentes, ley 400 de 1997, Decreto 926 de 2010.
- ALA (2001). Seismic Fragility Formulations for Water Systems. Part 1 – Guideline. American Lifelines Alliance (ALA). ASCE-FEMA, 104 p.
- Benedetti, D. & Petrini, V. (1984). Sulla Vulnerabilità Sísmica di Edifici in Muratura: Prioste di un Método di Valutazione. Roma: Lindustria delle Costruzioni.
- Coburn, A. y Spence, R. (1992). Earthquake Protection. Jonh Wiley & Sons, Chinchester, England. 355 pp.
- Dimaté C. Rivera L., Cisternas A., (2005). Re-visiting large historical earthquakes in the colombian eastern cordillera. Journal of Seismology.
- Dimaté C., Arcila M., (2006). Amenaza sísmica sobre Bogotá: ¿Leyenda o Realidad?. Innovación y Ciencia. Vol 13, No 4. Asociación Colombiana para el Avance de la Ciencia.
- FEMA. (2003). HAZUS MH - Multi-hazard loss estimation methodology . Eashington D.C.
- FOPAE. (2009). Actualización y sistematización de escenario de daños por terremoto para Bogotá Fase 1. Bogotá Colombia.
- FOPAE. (2010a). Zonificación de la respuesta sísmica de Bogotá para el diseño de sismoresistente de edificaciones. Bogotá Colombia.
- FOPAE. (2010b). Actualización y sistematización de escenario de daños por terremoto para Bogotá Fase 2. Bogotá Colombia.
- Geo-hazards International. (1999). RADIUS - Guidelines for the implementation of earthquake risk management projects.
- Ingeominas & Universidad de los Andes (1997). Microzonificación sísmica de Bogotá. Colombia.
- Ingeominas & Universidad Nacional (2010). Estudio General de Amenaza Sísmica de Colombia. Inédito.
- Iwasaki, T., Tatsuoka, T., Tokida, K.I., Yasuda, S.A. (1978). A practical method for assessing soil liquefaction potential base on case studies at various sites in Japan. Proceeding of the second international conference on microzonation, San Fransisco, pp 885-896.
- Japan Waterworks Association (1998). Damage estimation of water supply pipeline due to earthquake.
- Jibson, R.W., Harp, E.L., Michael, J.A. (1998). A method for producing digital probabilistic seismic landslide hazard maps: An example from the Los Angeles California area. US Geol.Surv. Open-File Rep. 98-113 17pp.
- JICA, (2002). The Study on Disaster Prevention in the Bogota Metropolitan Area in the Republic of Colombia. Japan International Cooperation Agency, Pacific Consultants international, OYO Corporation.
- Kubo & Katayama (1975) Damage estimation of underground water suplí pipeline.
- Lantada, M. (2007). Evaluación del Riesgo Sísmico Mediante Métodos Avanzados y Técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona. Tesis doctoral en Ingeniería. Barcelona España.
- Mena, U. (2002). Evaluación de Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas. Tesis doctoral en Ingeniería sísmica y Dinámica estructural. Universidad politécnica de Cataluña Barcelona España.
- Miranda, E (1999), Approximate seismic lateral deformation demands on multistory buildings. Journal Structural Engineering. Eng, vol 125 No 4, 417 – 425.

Oliveira C.S., Roca A., and Goula X. (2006). Assessing and Managing Earthquake Risk. Springer. Netherlands.

Risk Management Solutions Inc., (1997) Earthquake loss Estimation Methodology – HAZUS 97 Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington , D.C. , USA.

Universidad de los Andes, (2005). Escenarios de Riesgo y Pérdidas por Terremoto para Bogotá, Centro de Estudios e investigaciones sobre Riesgo. Bogotá.