

Vulnerabilidad sísmica de la Red de Acueducto de Santafé de Bogotá, D.C.*

PREMIO CAM-PAVCO 1995

ACODAU, ha instituido desde hace algunos años el Premio CAM-PAVCO como un incentivo a la investigación en el campo de la Ingeniería Nacional.

El galardón se otorga en el marco del Congreso anual de la Asociación y en esta ocasión se otorgó a dos trabajos presentados por estudiantes de pregrado de las Universidades Javeriana y de los Andes.

Las investigaciones que merecieron el premio, según el Jurado Calificador, se distinguieron por cumplir cabalmente con cada uno de los requisitos solicitados en la convocatoria, y fundamentalmente, por haberse orientado al Desarrollo del Municipio Colombiano, énfasis solicitado por la firma PAVCO, patrocinadora del concurso.

A continuación se transcriben las investigaciones.

CLAUDIA PATRICIA MUTIS DUQUE

Introducción

Fenómenos naturales de origen geológico, atmosférico, hidrológico, etcétera, son eventos que representan un peligro que puede considerarse como amenaza para el desarrollo social y económico de una región o un país. Entre este tipo de eventos que ofrecen alto riesgo a las regiones expuestas se encuentra el riesgo sísmico. Ante este fenómeno los sistemas más vulnerables de la infraestructura de una ciudad están representadas por el conjunto de líneas vitales, entre ellos la distribución de agua.

Para el análisis de vulnerabilidad presentado en este artículo se utilizó un programa de computador (elaborado en la referencia 7 y modificado en esta tesis) donde por medio de archivos de entrada que contienen los rangos de vulnerabilidad de cada parámetro para cada uno de los accesorios y además los valores de ponderación de importancia de cada uno de los accesorios dentro de la red, se calcula la vulnerabilidad para los componentes y para el sistema global de la Red de Acueducto en un determinado barrio o zona de la ciudad. El tipo de análisis que se utilizó en este programa es de tipo local, es decir, se estudió la vulnerabilidad a nivel de la red secundaria de barrio. Se tomaron cinco zonas de la ciudad, a saber:

Zona 1: Entre Cll 6 - Cll 3 y entre Cra. 24 a Cra.17. Zona de Arcillas duras.

Nombre del barrio: Eduardo Santos

Zona 2: Entre Cra. 17 y la Caracas entre Cll 57 y Cll 63. Arcillas blandas.

Nombre del barrio: Chapinero Sur-Occidental

Zona 3: Entre Cll 25 y Cll 33 entre Cra 1 y Cra 5. Zona de Coluvión

Nombre del barrio: La Macarena

Resumen

Dada la importancia de la prestación del sistema de agua potable en una ciudad, deben tomarse medidas de prevención contra posibles efectos desastrosos con la elaboración de planes de desarrollo urbano con el fin de reducir el nivel de riesgo existente. Con este propósito se elaboró un análisis de vulnerabilidad sísmica de la red de acueducto de Santafé de Bogotá, tomando en cuenta algunos parámetros (longitud de la tubería, edad de los accesorios, material de los accesorios, diámetro de la tubería, profundidad de la tubería y cantidad de accesorios), el tipo de accesorios (tuberías, hidrantes, válvulas, uniones, codos, tees, etc.), los materiales que presenta la red en cada una de esas zonas (PVC, Asbesto Cemento, Cobre, Hierro fundido, hierro galvanizado, hierro acerado) y finalmente el factor sísmico que afecta la zona a analizar dependiendo del tipo de suelo donde se encuentre, utilizando para éste último el programa SHAKE que da como resultado la aceleración obtenida en un determinado estrato del suelo que es sometido a la acción de un sismo. Para la calibración de los valores de vulnerabilidad se analizaron los daños ocurridos sobre la ciudad con el sismo de Tauramena ocurrido en el departamento de Casanare el día jueves 19 de enero de 1995 a las 10:05 a.m con una magnitud de 6.5 en la escala de Richter.

* Tesis de pregrado. Universidad de los Andes. Facultad de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Civil. Agosto de 1995.

Zona 4: Entre Cra. 13 y 22 entre Cll 100 y Cll 106 Arcillas blandas.

Nombre del barrio: Santa Bibiana

Zona 5: Entre Cll 2 y Cll 15 entre Cra 72 y Cra 73 Zona de arcillas duras y expansivas

Nombre del barrio: Americas Occidental

Generalidades de la Red de Acueducto de Santafé de Bogotá, D.C.

La red de la ciudad está distribuida en un área aproximada de 356 km². Debido a su extensión está dividida en tres zonas: la Zona Norte, la Centro y la Sur. A continuación se muestran las características principales de cada una de ellas.

Tabla No. 1
Zonas de Mantenimiento de la Red de Acueducto de Santafé de Bogotá

ZONA	AREA km ²	CAUDAL m ³ /s	INCLINACION %	LONGITUD RED MATRIZ EN KM											
				70"	60"	45"	42"	36"	30"	24"	20"	TOT			
NORTE	105	4.21	23.56%	36.0	41.5		53								104.3
CENTRO	117	6.26	34.78%	9.0	17	8.5	38.7	16.5	4.4	21.5					113.5
SUR	134	7.50	41.67%	31.0			11.4	14.9	8.1	34.7	16.5				93.6
TOTAL	356	18.00	100.00%	56.0	43.2	8.5	55.4	31.4	12.5	48.2					311.4

Tabla No. 2
Zonas de Mantenimiento de la Red de Acueducto de Santafé de Bogotá. (Continuación)

ZONA	AREA Km ²	ESQUINAS	LONGITUD KM. REDES MENORES
NORTE	105	14.510	1.760
CENTRO	117	17.020	2.080
SUR	134	18.500	2.450
TOTAL	356	50.030	6.290

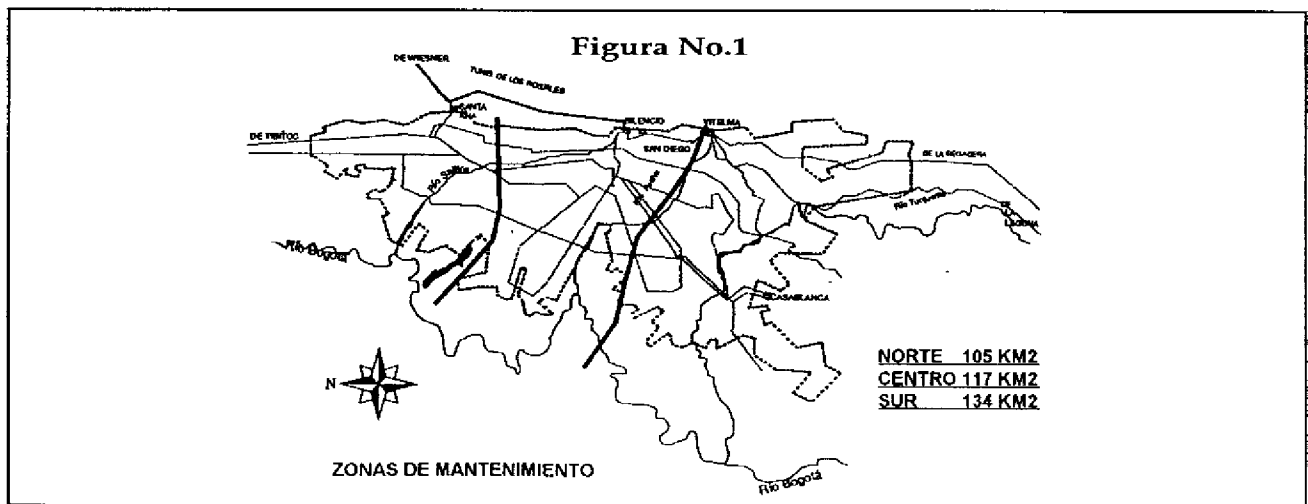
Descripción de suelos de la ciudad

Esta zonificación de la ciudad corresponde a la propuesta en la referencia No 8, de acuerdo a ella se ha dividido la ciudad en cinco zonas generalizadas (Ver Figura 6):

1. ZONA DE ROCA: Comprende la zona montañosa media-alta, está conformada por rocas sedimentarias arenosas, duras y resistentes a la erosión y rocas arcillosas blandas.
2. ZONA DE ARCILLAS DURAS: Perfil de suelo típico de zonas de laderas bajas en donde la cadena montañosa fue fuente de materiales que fueron arrastrados por la acción de los ríos y de los vientos.
3. ZONA DE ARCILLAS DURAS Y EXPANSIVAS: Se encuentra un limo arcilloso color negro, llamado neme con características expansivas. El perfil de suelo es típico de la zona de laderas bajas, donde los depósitos de laguna al retirarse formaron sedimentos fluviales y de pantano.
4. ZONA DE ARCILLAS BLANDAS: Allí se localizan los depósitos más compresibles de la ciudad, de tipo lacustre y fluvial, que corresponden a suelos blandos que se encuentran en proceso de consolidación.
5. ZONA DE COLUVIONES: Comprende los sectores de los piedemontes. La constituyen depósitos de ladera resultantes del transporte de materiales fracturados y erosionados. Los materiales que forman estos depósitos corresponden principalmente a gravas y bloques angulares y arenas

Daños causados sobre la Red de Acueducto de Santafé de Bogotá debidos al sismo de Tauramena del 19 de enero de 1995

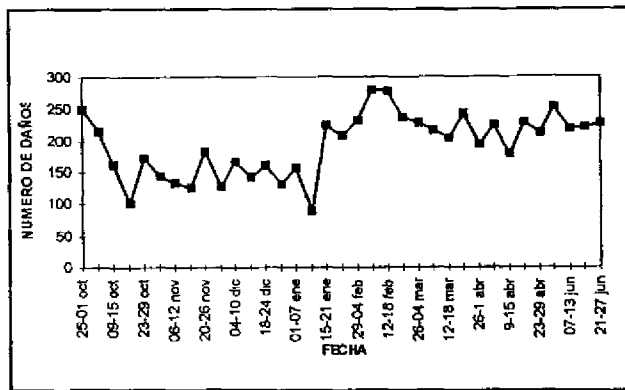
Hubo un incremento considerable en los daños por tubos rotos, pues de un promedio de 35 daños al día se paso a 70 y a 80 daños en los días siguientes. El daño mayor se produjo en la tubería de 60 pulgadas que se encuentra en la Diag 108 con Cra 11, que dejó con baja presión el sector comprendido entre



la Avenida Pepe Sierra y la calle 100 desde la avenida del Ferrocarril a la autopista Norte.

A continuación se presenta la curva de cierres efectuados durante octubre de 1994 y junio de 1995 (discretizado en semanas), donde se puede observar que realmente hubo un aumento significativo en el número de daños ocurridos entre el 15 y el 21 de enero que siguieron en aumento hasta mediados de febrero y a partir de allí se mantuvieron más o menos constantes, pero siendo mayores aún a los presentados en los meses anteriores, lo que demuestra la gran vulnerabilidad de la red aún para eventos sísmicos de menor importancia como fue el efecto del sismo de Tauramena que no es el mayor esperado para la ciudad. Ver Figura No. 2.

Figura No.2
Daños en la Red Octubre/94 Junio/95



Observando los daños durante el primer trimestre del año en cada una de las zonas de mantenimiento de la red de la ciudad, se observa que el diámetro de la tubería que se ve más afectado

Tabla No. 3
Reparaciones en tuberías
Enero -Marzo 1995

MATERIAL	CENTRO	SUR	NORTE	TOTAL	PORCENTAJE
AC	659	1138	698	2495	87.1
HF	17	13	1	31	1.1
HG	78	8	5	91	3.2
HA	4	3	0	7	0.2
PVC	12	155	73	240	8.4

Tabla No. 4
Daños por diámetro de
Enero a Marzo 1995

DIAMETRO	NORTE	CENTRO	TOTAL	PORCENTAJE
1	3	23	26	2.0
2	11	74	85	7.0
3	148	470	618	50.0
4	138	156	294	24.0
6	94	39	133	11.0
8	41	12	53	4.0
12	19	3	22	2.0

Figura No.3
Reparaciones en tuberías Ene. - Mar./95

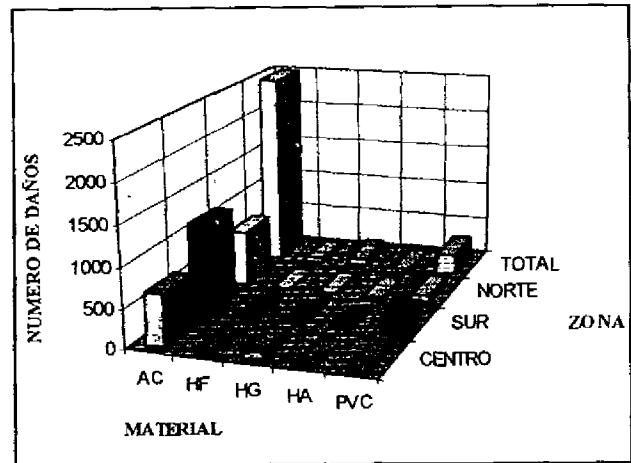
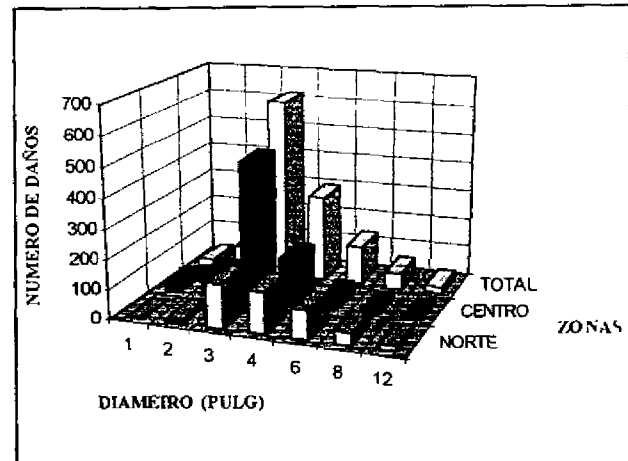


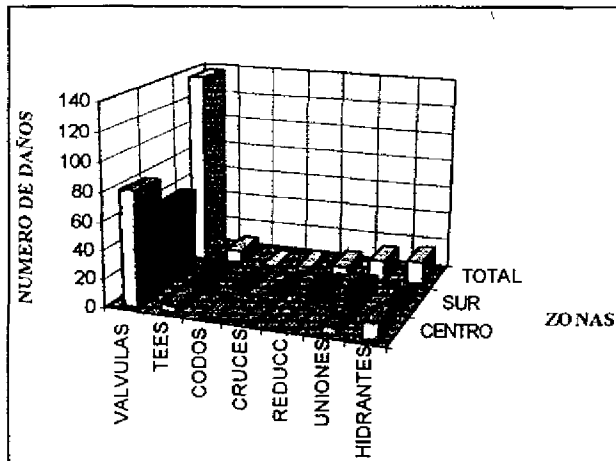
Figura No.4
Daños por diámetro de Ene. - Mar./95



es el de 3" con un 50%, continuando la de 4" con un 24% (Ver Tabla No. 4 y Figura No. 4). En cuanto a la reparación de accesorios se observa que las válvulas son las que presentan mayor número de reparaciones (73.8%), le siguen en orden descendente los hidrantes (8.6%) y las uniones (7.5%). Ver Tabla No. 5 y Figura No. 5.

Tabla No. 5
Reparación en Accesorios
Enero - Marzo 1995

	CENTRO	SUR	TOTAL	PORCENT
VÁLVULAS	80	58	138	73.8
TEES	5	4	9	4.8
CODOS	0	1	1	0.5
CRUCES	1	2	3	1.6
REDUCCIONES	0	6	6	3.2
UNIONES	5	9	14	7.5
HIDRANTES	12	4	16	8.6

Figura No.5
Reparaciones en Accesorios Ene-Mzo/95


Y finalmente, por reparaciones en tuberías se observa que el mayor número de ellas se tiene en tuberías de asbesto cemento (ver Tabla No. 3 y Figura No. 3). Esta información se obtuvo de la base de datos de cierres de la EAAB y de los boletines de daños de cada una de las zonas de mantenimiento (Norte-Sur-Centro)

En la tabla 6 se presentan los daños por tuberías rotas según tipos de suelos de Bogotá, los días 19, 20, 21 y 22 de Enero de 1995, donde se puede observar que la mayor cantidad de daños se dio sobre la zona de arcillas blandas, los resultados obtenidos fueron los siguientes:

Tabla No. 6
Daños por tubos rotos días 19,20,21 y 22 de Enero de 1995

TIPOS DE SUELO	NUMERO DE DAÑOS	PORCENTAJE
ROCA	8	7.0%
ARCILLAS DURAS	11	9.0%
ARCILLAS DURAS Y EXPANSIVAS	17	14.0%
ARCILLAS BLANDAS	74	63.0%
COLUVIONES	8	7.0%
TOTAL	118	100.0%

Los resultados anteriores indican la gran vulnerabilidad que se tiene en la red ubicada sobre arcillas blandas, ello se debe posiblemente a la amplificación de las ondas sísmicas del suelo en esa zona que hace que los esfuerzos a los que están sometidas las tuberías sean mayores a los resistentes, también es importante hacer notar la gran incidencia de daños entre la zona de transición de coluviones a la zona de arcillas blandas, lo que indica que posiblemente pueden ocurrir con mayor facilidad asentamientos diferenciales debidos al cambio de propiedades que tiene el suelo en dichas zonas. Vale la pena hacer notar la importancia que tiene el tipo de suelo en la respuesta sísmica de las tuberías que conforman la red, además, claro está, de otros factores como la edad y el tipo de material principalmente

Determinación cuantitativa de la vulnerabilidad del sistema

El objetivo es estimar un valor numérico entre 0 (no vulnerable) y 100 (muy vulnerable) que represente la vulnerabilidad del sistema estudiado. Consta de los siguientes pasos

1. Cálculo de la vulnerabilidad de cada uno de los componentes.

Se debe calcular con base en el criterio de quien lo esté realizando. Es necesario para calcular la vulnerabilidad total dando valores adecuados de importancia dentro de la totalidad del sistema. Es necesario elaborar dos listas, una de subcomponentes (accesorios) y otra con las principales características (parámetros).

Como accesorios se tienen 1. Tubería, 2. Hidrantes, 3. Válvulas, 4. Uniones, 5. Codos y Tees y 6. Otros (Registros, cruces, reducciones).

Como parámetros se tiene: 1. Factor Sísmico, 2. Longitud de la tubería, 3. Edad de los accesorios, 4. Material de los accesorios, 5. Diámetro de la tubería, 6. Profundidad de la tubería, 7. Cantidad de tubería (se da en longitud de tubería por unidad de área) y cantidad de accesorios (se da en cantidad sobre longitud de tubería).

Para cada accesorio se determinan rangos de estado e índices de vulnerabilidad de cada uno de los parámetros, por ejemplo si un parámetro es la edad, es posible que el accesorio correspondiente a la tubería tenga una edad de 10, 20, 30 o más años, lo que daría valores de vulnerabilidad más altos para las

Tabla No 7
Valores de Ponderación de Importancia para cada accesorio (fp_{ij})

ACCESORIO	No	LONG	EDAD	MAT.	DIAM.	PROF.	CANT	
Tubería	1	0.10	0.25	0.25	0.10	0.05	0.25	1.00
Hidrante	2	0.00	0.25	0.25	0.00	0.00	0.50	1.00
Válvula	3	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.60	1.00
Uniones	4	0.00	0.20	0.20	0.00	0.00	0.60	1.00
Codo-Tee	5	0.00	0.20	0.30	0.00	0.00	0.50	1.00
Otros	6	0.00	0.20	0.30	0.00	0.00	0.50	1.00

tuberías más antiguas que para las nuevas, por lo tanto, el criterio de definición de esos rangos debe tener en cuenta un rango de vulnerabilidad asociado.

Para cada accesorio se determina cual es el valor de importancia de cada parámetro. Por ejemplo, si se tienen dos parámetros (j), edad y material y el accesorio (i) es la tubería, debe determinarse un factor de ponderación de importancia (fp_{ij}) que represente la importancia del parámetro edad y del parámetro

material en el cálculo de la vulnerabilidad para la tubería. Es conveniente llenar una matriz de valores de f_{pij} como la mostrada en la figura.

Cuando se tiene para cada uno de los accesorios del componente y para cada parámetro los valores de vulnerabilidad de cada uno de los rangos y además se tienen los factores de ponderación de importancia, se hace el cálculo de vulnerabilidad de la siguiente manera:

$$V_c = \sum_{i=1}^{i=n_i} \sum_{j=1}^{j=n_p} (f_{pij} * v_{ij})$$

en donde.

- V_c : Vulnerabilidad del componente c
- n_i : Número de accesorios.
- n_p : Número de parámetros
- f_{pij} : Factor de ponderación del parámetro j para el accesorio i.
- v_{ij} : Índice de vulnerabilidad del accesorio i y del parámetro j.

Tabla No. 8
Factores de Ponderación del componente (fpck)

Tubería	Hidrante	Válvula	Unión	Codo y Tee	Otros	Factor Sísmico	
0.25	0.07	0.15	0.10	0.10	0.03	0.30	1.00

Toma el valor de 1 si el accesorio i cumple con las exigencias de la práctica ingenieril cuando se analiza el parámetro j, y si no las cumple toma el valor de 100 (más vulnerable).

2. Cálculo de la vulnerabilidad para un sistema como un todo.

Se deben definir los valores de importancia de cada componente dentro del sistema total de tal forma que la suma de los factores de todos los componentes sume la unidad. A continuación se presenta un ejemplo de dichos valores de importancia:

$$V_T = \sum_{k=1}^{K=n_c} (f_{pck} * v_{ck})$$

En donde

- V_T : Vulnerabilidad total del sistema (entre 1 y 100)
- n_c : Número total de componentes
- f_{pck} : Factor de ponderación del componente k
- v_{ck} : Vulnerabilidad asociada al componente k

Cálculo del factor de seguridad sísmico

Se tuvieron en cuenta los efectos axiales y de flexión producidos por una onda sísmica en una tubería de PVC de 3" de diámetro a una profundidad de 1.0 m. Se utilizaron los acelerogramas del sismo de México, del 19 de septiembre de 1985 y el de Corralitos de Octubre de 1989

El sismo de México se escaló a una aceleración de 0.10g para estudiar la vulnerabilidad frente a sismos grandes y distantes, el de Corralitos se escaló a 0.25g para analizar la vulnerabilidad frente a sismos cercanos y fuertes.

Para el cálculo de este factor se hizo uso del programa SHAKE (Ver referencia 11) que considera un modelo de propagación vertical de ondas a través de un sistema viscoelástico consistente de N capas horizontales que se extienden al infinito en la dirección horizontal y localizados sobre una capa rígida inferior. Con este programa se obtuvieron valores de aceleración y frecuencia del suelo a la profundidad a la cual se supuso la tubería (1.0 m) y con estos valores se calculó la longitud de la onda y el desplazamiento del terreno a la profundidad dada. Con el desplazamiento producido sobre la tubería y suponiéndola simplemente apoyada se calculó el esfuerzo al cual está sometida la tubería bajo el efecto axial y el efecto de flexión y se calcularon los factores de seguridad comparando el esfuerzo aplicado con la resistencia del material a compresión y tensión para los dos efectos, para finalmente escoger el menor valor de factor de seguridad y utilizarlo en el análisis.

Resultados

A continuación se muestran los resultados de vulnerabilidad total obtenidos:

Tabla No. 9
Valores de Vulnerabilidad

Nombre del barrio:	Chap Sur-Occ.	La Macarena	E. Santos	Sta. Bibiana	Americas Occ.
Tipo de suelo:	Arcill. Bland.	Coluvión	Arc. Duras	Arcill. bland.	Arc. duras y exp.
Area del barrio:	217000	245000	356400	200650	180275.00
VULNERABILIDAD SIN EFECTO SISMICO	37.65	38.93	36.07	29.26	27.21
VULNERABILIDAD CON EL SISMO DECORRALITOS A 0.25g	63.32	64.77	60.94	52.53	55.10
VULNERABILIDAD CON EL SISMO DE MEXICO A 0.10g	66.32	46.77	60.94	55.53	52.10

Los efectos producidos por el sismo en la tubería son críticos en el caso de acción axial a tensión, mientras que en el caso a flexión la tubería presenta factores de seguridad altos.

Comparando el efecto de los dos sismos sobre los sitios analizados se observa que el sismo de México afecta más las zonas que poseen períodos mayores como son las zonas de Chapinero

Sur-occidental y Santa Bibiana, mientras que el sismo de Corralitos afecta las zonas con períodos menores, como son La Macarena y el barrio Eduardo Santos. Vale la pena aclarar que estos valores de vulnerabilidad utilizando los 2 sismos se ven muy afectados por las condiciones intrínsecas de cada una de

Tabla No. 10
Tipos de material de tubería presentes en la red.

	Chap. Sur-Occ	La Macarena	E. Santos	Sta Bibiana	Americas occ
MATERIAL TUBERÍA	Arc. Bland.	Coluvión	Arc. Duras	Arc. bland.	Arc. duras y exp
PVC	7%	4%	16%	66%	3%
AC	13%	53%	36%	34%	94%
CU	-	-	-	-	3%
HF	15%	11%	12%	-	-
HG	56%	28%	36%	-	-
HA	9%	4%	-	-	-

Tabla No. 11
Edades de la tubería

	Chap. Sur-Occ	La Macarena	E. Santos	Sta Bibiana	Americas occ
ANO INSTALACION	Arc. Bland.	Coluvión	Arc. Duras	Arc. bland.	Arc. duras y exp
ANTES 1960	85%	78%	48%	-	-
1960-1970	6%	22%	24%	36%	-
1970-1980	2%	-	12%	61%	97%
1980-1990	7%	-	16%	3%	3%
1990-1995	-	-	-	-	-

las zonas, es decir, que tan vieja está la tubería y de que tipo de material esta constituida. Al respecto se tiene el siguiente análisis:

Como se puede observar en la tabla No 9 el barrio La Macarena es el que presenta mayor vulnerabilidad sin tomar en cuenta el factor sísmico, lo que puede ser debido a que presenta una de las redes más antiguas (78% instaladas antes de 1960, seguida por el barrio Caracas occidental que presenta el 85% de las tuberías de la red antes del mismo año) y además es la que presenta mayor cantidad de tubería en asbesto cemento (53%) que como se comento en capítulos anteriores es el material más vulnerable. Observando la misma tabla se tiene que después del barrio La Macarena con VULNERABILIDAD=38.93% se encuentran en orden de mayor a menor vulnerabilidad las siguientes zonas: Caracas Occidental, Eduardo Santos, Santa Bibiana y Americas Occidental, haciendo notar que en los dos últimos barrios las instalaciones son más recientes y además poseen un buen porcentaje de tuberías en PVC.

Conclusiones y Recomendaciones

1. Para reducir el riesgo de sismos futuros, se puede modificar la importancia relativa de un elemento o reducir su vulnerabilidad. Estas medidas se pueden lograr, mejorando el diseño, incorporando materiales más flexibles, reubicando partes del sistema en zonas menos peligrosas o planificando para situaciones de emergencia.
2. La experiencia de sismos pasados revelan que el empleo de tuberías hechas a base de materiales dúctiles como PVC reducen considerablemente la probabilidad de rotura
3. En zonas de pendiente, la disposición menos vulnerable es la de un trazado horizontal con la tubería a poca profundidad
4. Teniendo en cuenta los daños producidos en la Red de la ciudad debido al sismo de Tauramena, es evidente la gran vulnerabilidad que presenta la red ubicada sobre la zona de arcillas blandas, lo que indica que es necesario incorporar o reubicar partes del sistema y planificar para situaciones de emergencia que puedan presentarse en caso de sismos más fuertes.
5. Con la curva de daños de la red desde Octubre de 1994 hasta Junio de 1995, se observa que el aumento en el número de daños a partir de la semana del 15 al 21 de enero fue realmente significativo (el sismo ocurrió el 19 de enero) aún cuando se sabe que en la ciudad se podrían presentar eventos sísmicos mucho mayores, lo que indica la necesidad de replantear las metodologías de diseño existentes y / o cambiar elementos del sistema que se encuentren en mal estado e implantar nuevos criterios sismoresistentes y medidas preventivas que incorporen los análisis de riesgo en todo aspecto.
6. Los factores de mayor influencia en la vulnerabilidad del sistema de acueducto son las características del suelo, el tipo de material utilizado, las normas de diseño y construcción, la edad de los componentes, la operación y el mantenimiento del sistema, los tipos de juntas o uniones y la interacción suelo-tubería.
7. Las principales causas de daño en tuberías son la vibración producida por ondas sísmicas o por tráfico pesado, la licuación de suelos, los deslizamientos y el cruce de fallas activas
8. Bajo la acción de ondas sísmicas el efecto más crítico es el producido por el efecto axial a tensión, aunque a compresión presenta también valores muy similares
9. A partir de los resultados obtenidos en las 5 zonas analizadas, se observa que la vulnerabilidad en cada una de ellas varía dependiendo del sismo al que esté sometido, en

general los suelos blandos fueron más afectados por el sismo de México y los suelos un poco más duros afectados por el de Corralitos; vale la pena mencionar que en la zona de Chapinero Sur-Occidental (arcillas blandas) se obtuvieron valores de vulnerabilidad altos con ambos sismos, lo que indica que en algunas ocasiones no es solamente influencia del suelo sino también del estado en que se encuentren los elementos de la red, es decir, el tipo de material que tengan las tuberías, la edad, el número de uniones, la calidad de éstas, etc. Teniendo en cuenta los resultados obtenidos en las zonas de Santa Bibiana y Américas Occidental, se observa que obtuvieron las vulnerabilidades menores para ambos sismos, debido a que tal vez son las zonas donde se utiliza un mayor porcentaje de tuberías de PVC y las tuberías son un poco más recientes que las de las otras zonas.

10. Las uniones flexibles son mejores que las rígidas debido a que pueden absorber mayores deformaciones, además las tuberías de materiales como PVC, hierro maleable y acero dúctil son las que resisten mejor las vibraciones producidas por ondas sísmicas o por paso de tráfico pesado.
11. Otro aspecto que es importante mencionar es el relacionado con las estadísticas de daño durante el primer trimestre de este año, donde se observa que los accesorios que mayor número de reparaciones tuvieron fueron las válvulas y el material que mayor número de daños reportó en tuberías, fue el asbesto cemento, lo que indica la importancia de reducir o mitigar la influencia de estos factores en la vulnerabilidad total del sistema.

Referencias bibliográficas

1. CARDONA OMAR DARIO. Notas y Artículos dados en el curso de «Seminario de Vulnerabilidad Sísmica».
2. CONDICIONES OPERACIONALES SISTEMA ACUEDUCTO RESUMEN Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C. Gerencia Operativa. Dirección Operación y Control Acueducto. Santafé de Bogotá D.C.
3. GERENCIA DE OPERACION INFORME ANUAL DE DESEMPEÑO Enero-Abril 1995. Santafé de Bogotá D.C. Mayo 8 de 1995.
4. INFORME ANUAL 1994. Empresa de Acueducto y Alcantarillado de Bogotá D.C. Gerencia de Operación. Dirección Operación y Control Acueducto. Santafé de Bogotá D.C. Marzo de 1995.
5. MARTINEZ RODRIGUEZ JUAN MANUEL. PIÑEROS CALA JORGE DAVID RUBIANO VARGAS DIANA MARCELA. Propuesta de Zonificación Geotécnica para Bogotá. Sextas Jornadas Geotécnicas de la Ingeniería de Colombia. SCI. 1990.
6. PLANES DE EMERGENCIA PARA EL MANEJO DE ACUEDUCTOS. Manual de M 19 de la A.W.W.A (American Waters Works Association)
7. SANCHEZ JUDITH RAQUEL. Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de la Red del Acueducto de Santafé de Bogotá Septiembre 1994
8. SARRIA ALBERTO. Ingeniería Sísmica Uniandes 1994
9. SEMINARIO INTERNACIONAL PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DE RIESGOS EN SISTEMAS DE ACUEDUCTO Y ALcantarillado. ACODAL. Agosto 25 - 27 de 1993 Cali Colombia.
10. SEMINARIO SISMOTECTÓNICA DE COLOMBIA. INGEOMINAS. Santafé de Bogotá, marzo 23 de 1995.
11. SHAKE. A computer program for Earthquake Response Analysis of Horizontally layered sites Per b. Schnabel, John Lysmer y Bolton Seed Report December 1972 College of Engineering, University of California Berkeley, California Shake. manual pshake.
12. SISTEMA DE TRANSPORTE MASIVO PARA BOGOTÁ, D.E. INVESTIGACION GEOTÉCNICA 1983. Resumen de Trabajos Ejecutados. Empresa Metro S.A. Alcaldía Mayor de Bogotá, D.E. Universidad de los Andes Facultad de Ingeniería. CIFI.

ACODAL desde el pasado mes de octubre, es miembro de la:



Organización con sede en los Estados Unidos, y que congrega a más de 20 países del hemisferio