

EVALUACIÓN FUNCIONAL MEDIANTE SIG DEL ESCENARIO DE PÉRDIDAS EN LA RED DE ACUEDUCTO DE LA CIUDAD DE ARMENIA COLOMBIA, A CONSECUENCIA DEL SEÍSMO DEL 25 DE ENERO DE 1999

Gabriel Lozano Sandoval¹; Mabel Rocío Esteban Zapata; Sandra Liliana Molano Romero

Resumen: La ciudad de Armenia, capital del departamento del Quindío en Colombia, se encuentra ubicada en una zona de riesgo sísmico alto, representando una amenaza para la comunidad y la infraestructura de la región. El 25 de enero de 1999 ocurrió un sismo de 6.2 grados en la escala de Richter que provoco grandes pérdidas tanto humanas como materiales en dicha región, en especial en el Departamento del Quindío; por esta razón, se realizó un estudio retomando el sismo ocurrido, donde se hace una evaluación funcional de la red de acueducto de la ciudad de Armenia, en la cual, se presentaron daños que intervinieron en el funcionamiento del sistema, viéndose afectada gran parte de la población. Cabe destacar que ante un desastre natural de consecuencias incalculables es indispensable que la población y en especial los Hospitales, Bomberos, Centros de socorro, etc., operen normalmente y para esto es necesario contar con un adecuado suministro de agua potable.

El presente artículo propone una metodología mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG) para la evaluación funcional de líneas vitales, en especial, la red de acueducto, retomando las experiencias ocurridas en el sistema de acueducto de la ciudad de Armenia en Colombia.

Abstract: The city of Armenia, capital of Quindío department, in Colombia, is located on a high seismic risk zone, fact that represents a menace for region's community and infrastructure. In 1999's the January 25th, an earthquake of 6.2 degrees in Richter scale, provoked big human and material losses, occurred in the coffee zone affecting, mainly, the department of Quindío. For this reason a study, which retakes the past earthquake, took place, where a functional evaluation of the Armenia City's aqueduct network was made, hence the network presented several damages that affected an important part of population. It is important to mention that, before a natural disaster of countless consequences, it is essential that population and, especially, hospitals, fire departments, aid centres, etc, operate normally, by means of an enough drinking water supply.

The current paper proposes a methodology using Geographical Information Systems (GIS) for the functional evaluation of vital lines, particularly, the aqueduct network, retaking previous experiences on the Armenia city's system in Colombia.

Palabras clave: acueducto, red de distribución, sismo, daño en tuberías, SIG.

Keywords: aqueduct, distribution network, earthquake, pipe damages, GIS.

¹ Universidad del Quindío – Centro de Estudios e Investigaciones Facultad de Ingeniería (CEIFI) – Grupo de Investigación y Desarrollo del Recurso Hídrico y el Ambiente (CIDERA) – Carrera 15 Calle 12 Norte –A.A. 460 –. Armenia, Quindío (Colombia) –Tel: (+57) 6 7460298 – E-mail: galozano@uniquindio.edu.co

INTRODUCCIÓN

El seísmo de 6.2 grados en la escala de Richter ocurrido el 25 de enero de 1999 en la región del eje cafetero en Colombia, provoco grandes pérdidas tanto humanas como materiales, en especial en la ciudad de Armenia, capital del Departamento del Quindío, con una población de aproximadamente 300.000 habitantes. Dicho sismo, generó un escenario de pérdidas en el sistema de la red de acueducto, por lo que se vio afectado el funcionamiento del sistema, dejando a gran parte de la población sin agua, en especial instituciones tan importantes como hospitales y centros de salud los cuales dependen del suministro de agua potable para su buen funcionamiento.

En este estudio se recopiló la información existente sobre los daños en la red de acueducto, que no se había procesado y así poder establecer los puntos débiles del sistema de la mencionada red. Todo esto con el fin de establecer bases para futuros estudios de vulnerabilidad en la red de acueducto y proporcionar una metodología apoyada en los sistemas de información geográfica.

MATERIALES Y METODO

Con la metodología se busco realizar una evaluación de daños por seísmos en redes de líneas vitales tales como redes de acueducto. La realización del estudio se dividió en varias etapas:

Recopilación de la información:

Para el desarrollo de ésta actividad se acudió a las Empresas Públicas de Armenia (EPA E.S.P), Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), Universidad del Quindío (CEIFI), entre otras fuentes, útil para la realización del estudio.

Dentro de la información seleccionada se tiene:

- Mapa de la red de acueducto de la ciudad de Armenia (Por diámetro, edades y materiales).
- Mapa de Intensidades de la ciudad de Armenia.
- Mapa de Daños (De acuerdo al comportamiento de las edificaciones).
- Mapa de Zonificación Sismogeotécnica de la Ciudad de Armenia.
- Mapa de Deslizamiento con sismo, con nivel freático a 1.5 m.
- Reporte de daños de la red de acueducto de Armenia (Después del sismo del 25 de enero de 1999).
- Inventario de la red de acueducto.
- Estudio de casos en el ámbito internacional de daños en la red de acueducto a raíz de un sismo.
- Inventario del almacén de las Empresas Públicas de Armenia, por el cual se determinó los elementos y accesorios que más se necesitaron a causa del sismo del 25 de enero de 1999.

Digitalización de Mapas temáticos:

Una vez obtenida está información se procedió a digitalizar los Mapas antes mencionados y a realizar el Mapa de daños en la red de acueducto de la ciudad de Armenia de acuerdo al listado de daños obtenidos de las Empresas Públicas de Armenia (EPA E.S.P).

Geoprocesamiento, superposición y análisis de los Mapas temáticos:

Utilizando el sistema de información geográfica (SIG) ArcView 3.2, se realizó una geoprocesamiento y superposición de los Mapas temáticos donde se pudo establecer algunos datos que permitieron obtener una idea de la vulnerabilidad del sistema, esto con el objetivo de realizar un análisis de sensibilidad sobre el comportamiento de la red de acueducto de la ciudad de Armenia.

PROCEDIMIENTO DE ANÁLISIS

Reconocimiento de Mapas temáticos

Mapa de daños en la red:

En este Mapa se encuentran recolectados 716 daños, los cuales se encuentran en la red de distribución del acueducto, estos daños son consecuencia del sismo ocurrido el 25 de enero de 1999; en este mapa se especifica en que tipo de material, diámetro y edad se encontraba el daño reportado en la tubería. Esta información fue suministrada por las Empresas Públicas de Armenia (EPA E.S.P).

Mapa de disponibilidad del servicio de agua:

En este Mapa se encuentra diferenciado por colores, la funcionalidad de la red de acueducto después de ocurrido el seísmo del 25 de enero de 1999, donde se puede observar que sectores de la ciudad de Armenia tenían disponibilidad del servicio continuo y donde se presentó ausencia del servicio en la red de acueducto, ya sea por falta de presión, falta de continuidad o daño ocurrido en el sector analizado.

Mapa de Zonificación Sismogeotécnica de la ciudad de Armenia².

En la ciudad de Armenia se caracterizan 5 zonas geotécnicas importantes, por encontrarse en zonas de alta pendiente ó de baja aptitud relativa para construcción, ver Fig. 1.

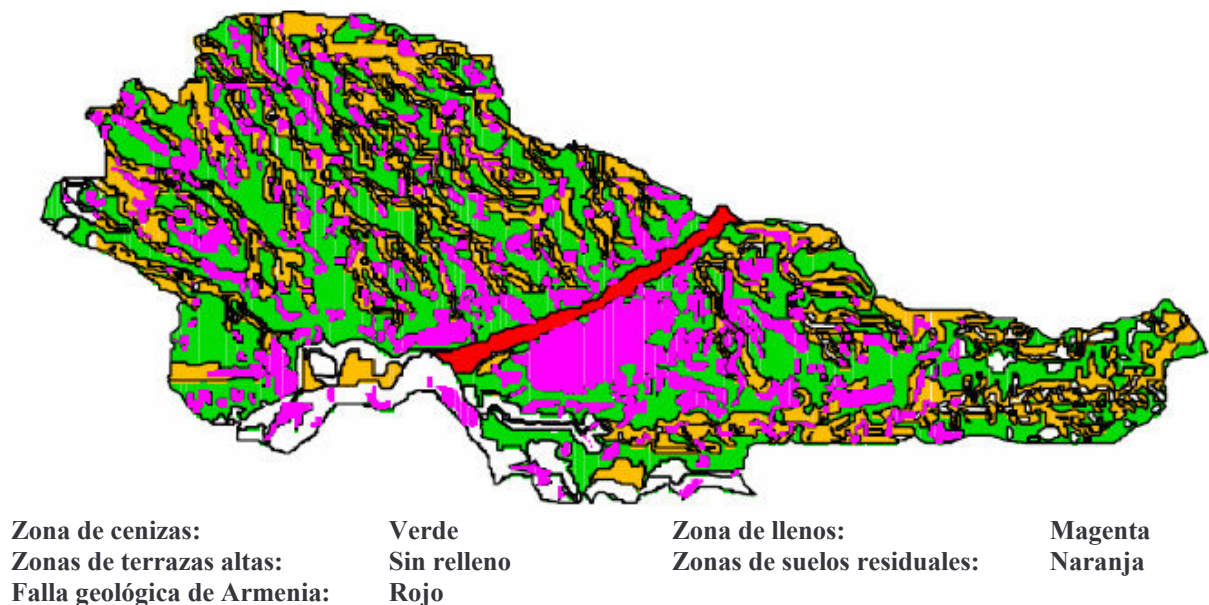


Figura 1. Mapa de Zonificación Sismogeotécnica de la ciudad de Armenia.

² Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).

Mapa de Daños en Edificaciones.

Dicho Mapa muestra como se afectaron las edificaciones ante el sismo, con una escala de daño que va desde daño leve hasta daño muy severo, esta codificación se realizó según la evaluación rápida estructural de la Ciudad de Armenia realizada por la Sociedad de Ingenieros del Quindío (SIQ), a partir de la cual se puede apreciar que los daños por barrios en la ciudad de Armenia nos definen tres grandes zonas en la ciudad: Suroccidente, Centro y Norte.

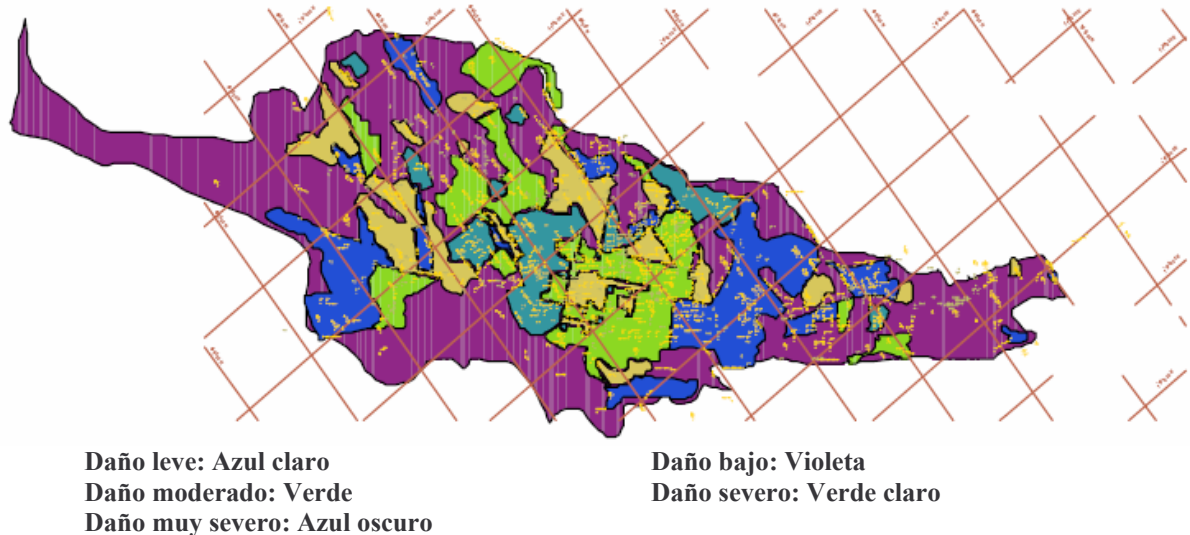


Figura 2. Mapa de Daños en Edificaciones.

Mapa de susceptibilidad al deslizamiento condición con seísmo³

De acuerdo a las características evaluadas se identificó la susceptibilidad al deslizamiento, según se presenta en la Fig.3.

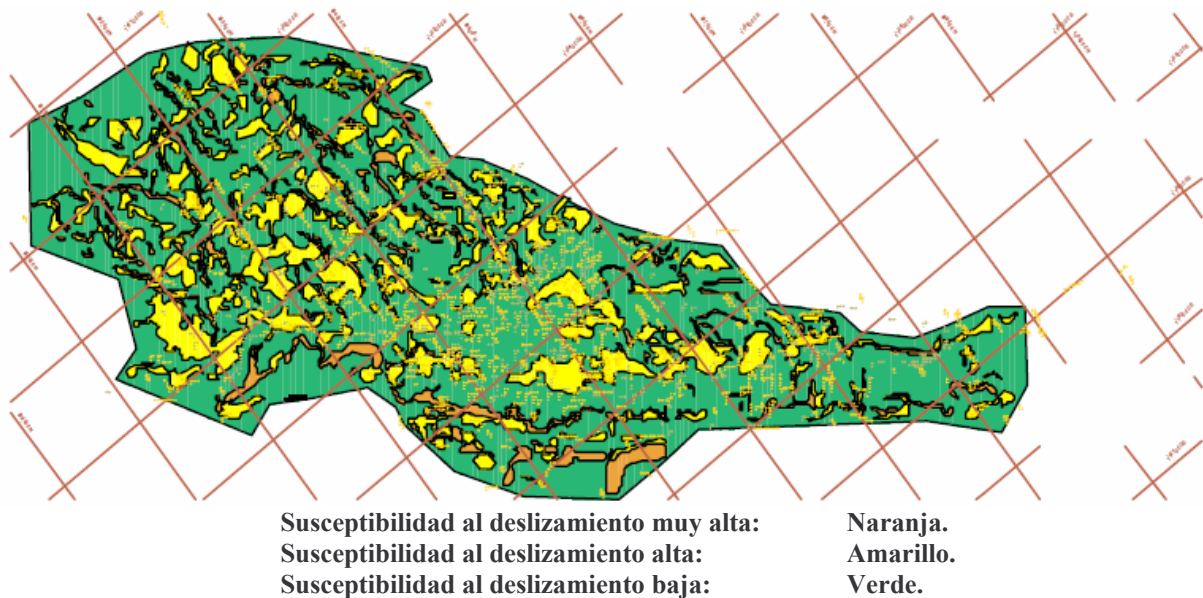


Figura 3. Mapa de susceptibilidad al deslizamiento condición con seísmo.

³ Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS).

Mapa de Intensidades².

El mapa de intensidades de Armenia presenta algunas características mayores. En primer lugar, el rango de intensidades en la ciudad es muy grande, va desde V hasta X, según la escala de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). En segundo lugar, la distribución de intensidades no es aleatoria; se distinguen amplias zonas, claramente definidas, que en términos generales se pueden describir como lo muestra la Fig. 4.

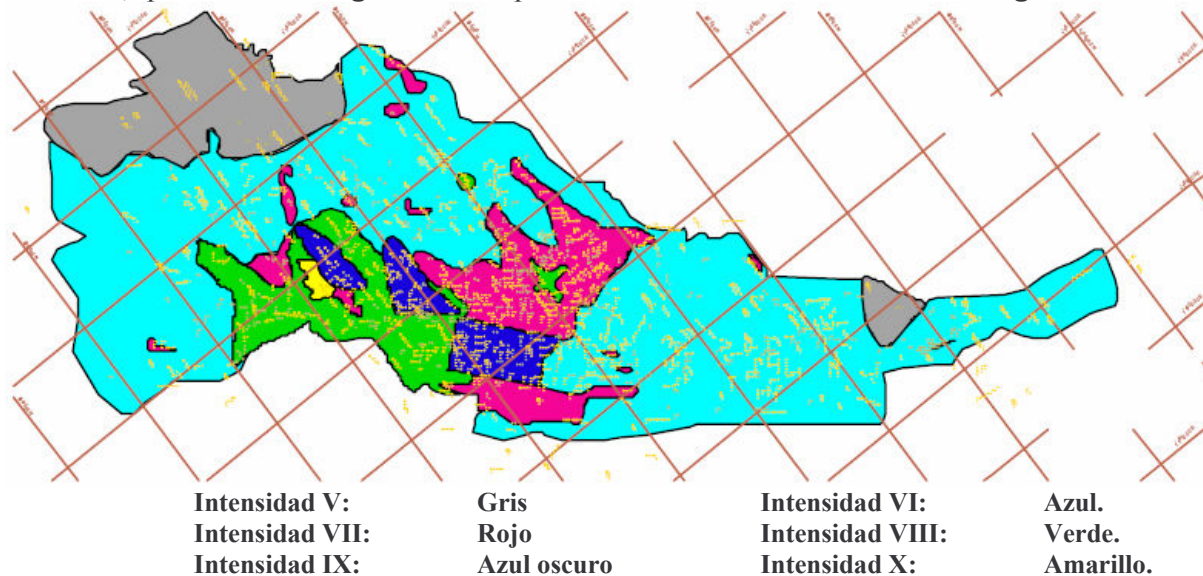


Figura 4. Mapa de Intensidades.

Mapa red de acueducto de Armenia de acuerdo a su material⁴.

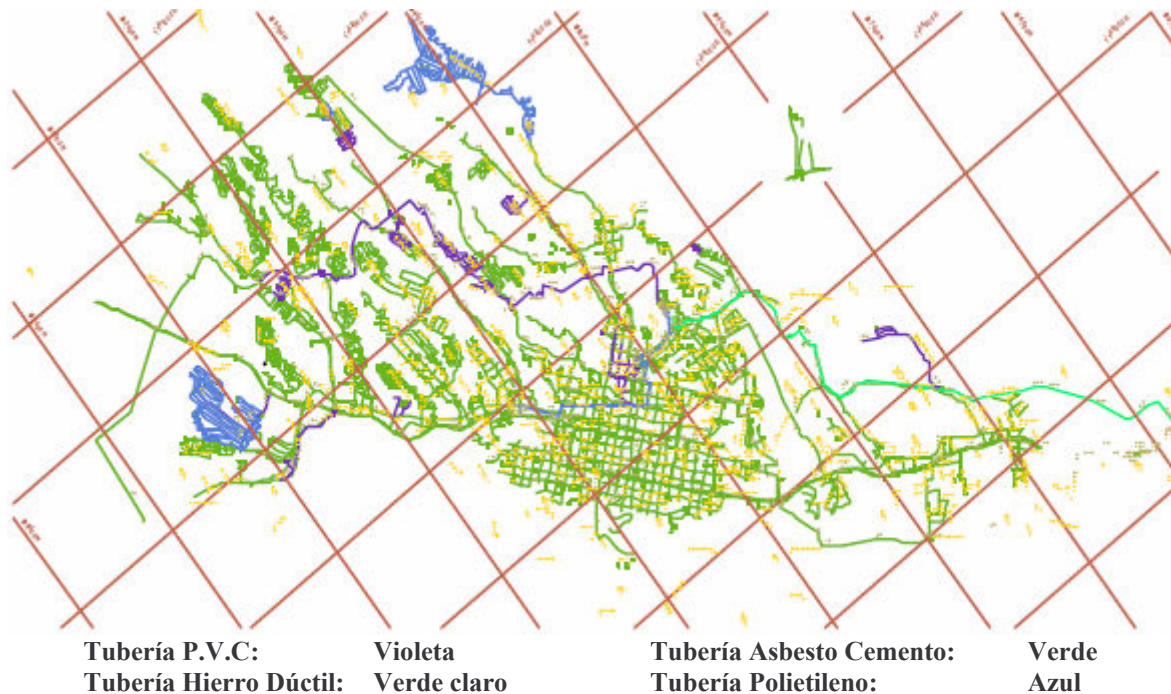


Figura 5. Mapa red de acueducto de Armenia según material.

⁴ Empresas Públicas de Armenia (EPA E.S.P).

Mapa red de acueducto de Armenia de acuerdo a su edad⁵

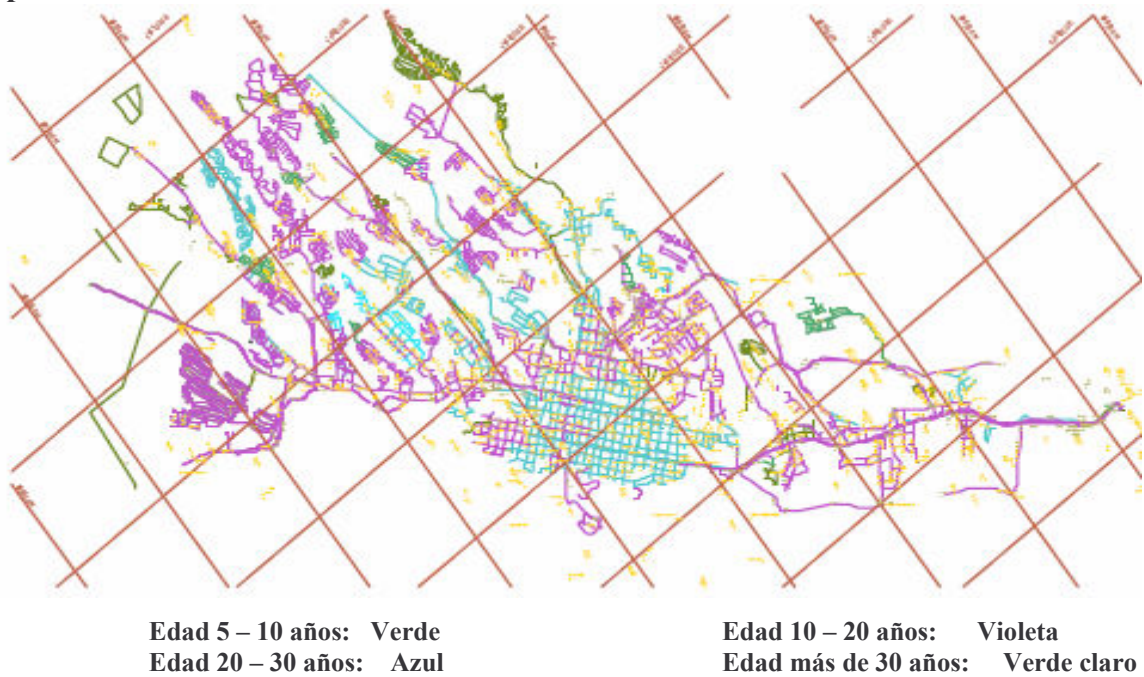


Figura 6. Mapa red de acueducto de Armenia según edad.

GEOPROCESAMIENTO DE MAPAS TEMÁTICOS

Por medio del geoprocesamiento en SIG⁶, se realizó la superposición de los diferentes mapas temáticos en Arcview 3.2; usando herramientas de consulta y análisis, se obtienen diferentes relaciones entre dichos mapas temáticos y sus respectivas tablas de atributos. Por ejemplo, al hacer la superposición entre Mapa de daños en la red de acueducto y Mapa de la red de acueducto según su material, se obtiene una relación entre la longitud de red de distribución existente clasificada según su material y los daños encontrados allí, tal como se observa en la Fig.7.

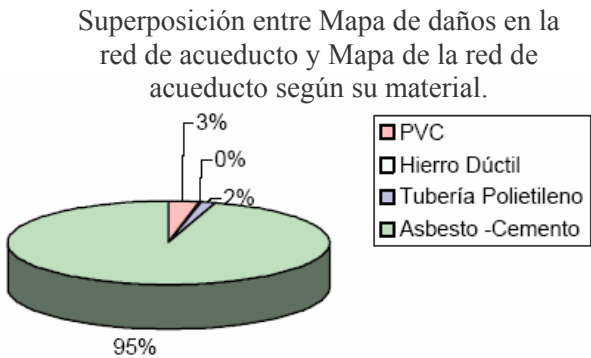


Figura 7. Daños contenidos en la red de distribución según su material.

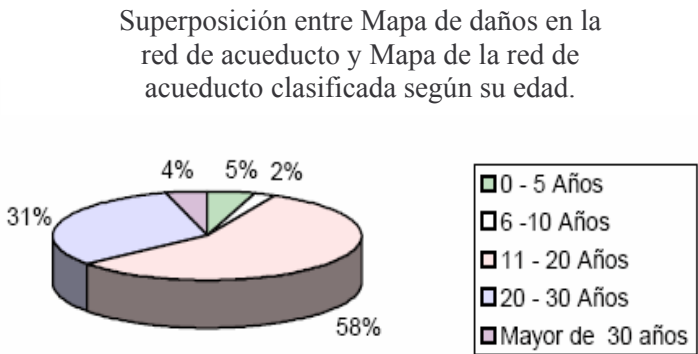


Figura 8. Daños en la red de distribución según su edad.

⁵ Empresas Públicas de Armenia (EPA E.S.P).

⁶ Sistema de Información Geográfica (SIG)

Superposición entre Mapa de daños en la red de acueducto y Mapa de la red de acueducto clasificada según su diámetro.

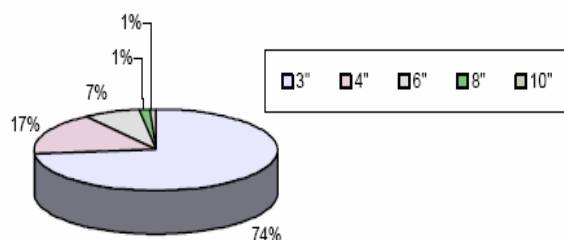


Figura 9. Daños ocurridos en la red de distribución en Armenia según su diámetro en pulgadas.

Superposición entre Mapa de daños en las edificaciones y Mapa de daños en la red de acueducto a consecuencia del sismo.

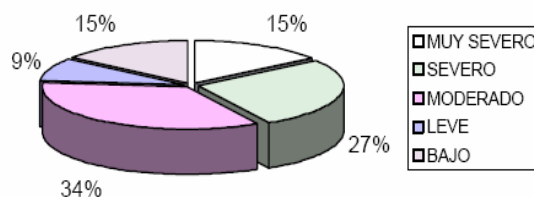


Figura 10. Daños en la red de acueducto ocurridos en los diferentes niveles de daño en las edificaciones a consecuencia del sismo.

Superposición del Mapa de susceptibilidad al deslizamiento condición con sismo y Mapa de daños en la red de acueducto a consecuencia del sismo.

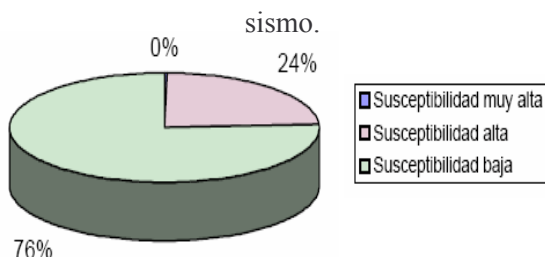


Figura 11. Daños en la red de distribución contenidos en cada nivel de susceptibilidad al deslizamiento.

Superposición entre el Mapa de funcionalidad de la red de acueducto y Mapa de daños de la red a consecuencia del sismo.

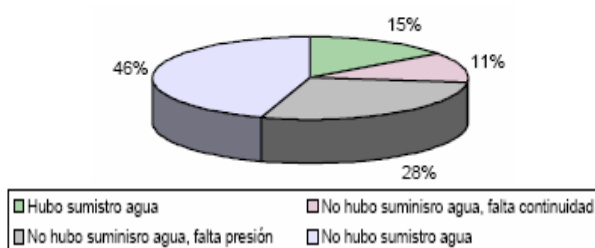


Figura 12. Daños en la red de acueducto, contenidos dentro de cada zona que indica la funcionalidad en la red.

Superposición de Mapa de zonificación sismogeotécnica y Mapa de daños en la red de acueducto a consecuencia del sismo.

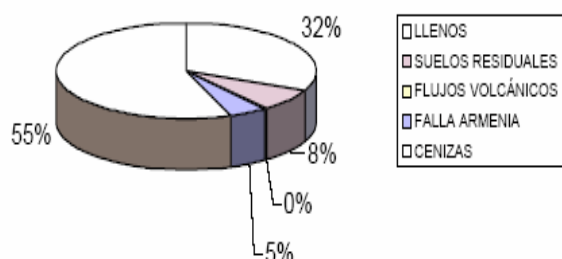


Figura 13. Daños en la red de distribución ocurridos en cada tipo de Suelo.

Superposición de Mapa de intensidades y Mapa de daños en la red de acueducto a consecuencia del sismo.

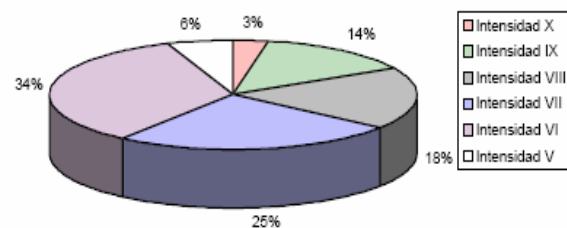


Figura 14. Daños ocurridos para cada escala de Intensidades según AIS.

ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al análisis de la superposición temática y a la información secundaria recopilada, se puede mencionar:

- Para la fecha del sismo del 25 de enero de 1999, aproximadamente el 95% de la tubería existente en la red de acueducto era de material de asbesto-cemento, lo que puede inducir que por ser un material de baja resistencia a la flexión y muy frágil, presentó un comportamiento deficiente ante la fuerza sísmica.
- Aunque mediante el análisis de la superposición temática existe incertidumbre en decir cual fue el motivo de los daños estructurales en las tuberías, se puede observar que en tuberías con edades mayores a 30 años no se reportaron tantos daños como en tuberías con edades entre 10 y 30 años, lo que es poco presumible que los daños hallan sido por la edad de las tuberías.
- Los mayores daños registrados en la red de distribución se observaron en tuberías con diámetros de 3'' y 4'' con porcentajes de 74 y 17% respectivamente (Fig. 9), esto corresponde con los mayores porcentajes de tuberías con estos diámetros en la red. En general, para el caso concreto de este sismo, se observa que tuberías con diámetros pequeños no presentaron un buen comportamiento, posiblemente debido a que estos se acomodan más fácilmente a las deformaciones inducidas por la ruptura que tuberías de diámetros grandes.
- Al realizar la superposición del Mapa de los daños existentes en la red de acueducto y el Mapa de daños en edificaciones (Fig. 10), se observa que en los niveles de daños en edificaciones severo y moderado, existe una gran concentración de daños en la red de distribución, hecho que se atribuye a la antigüedad de algunas edificaciones, las cuales en su mayoría no cumplían con la Norma Sismo-Resistente de 1984, tal es el caso del centro de la ciudad de Armenia.
- Mediante el análisis se puede observar que la remoción de masas no fue un factor importante en el daño de la red de distribución de acueducto, ya que un 75.71% de daños fue registrado en el nivel de susceptibilidad al deslizamiento baja.
- Al analizar el Mapa de Intensidades de la ciudad de Armenia y el Mapa de daños de la red de acueducto de la ciudad de Armenia (Fig. 14), se observa que los mayores índices de daños en la red de acueducto, corresponde con los niveles de intensidad VI, VII y VIII respectivamente.

CONCLUSIONES

En cuanto a la metodología:

- Se realizó una evaluación de daños estructurales por sismo en la red de acueducto de la ciudad de Armenia, con el fin de establecer bases para futuros estudios de vulnerabilidad en líneas vitales en ciudades con amenaza sísmica.
- La metodología planteada para evaluación de daños estructurales por sismos en redes de acueducto mediante Sistemas de Información Geográfica (SIG), se constituye en una herramienta muy versátil y práctica que puede ser extrapolada a otros tipos y estudios de líneas vitales (gas natural, electricidad, telefonía), especialmente por su capacidad para el geoprocusamiento de información y análisis de mapas temáticos.
- La metodología propuesta potencialmente sirve de apoyo a la toma de decisiones para gestores de sistemas de acueductos, alcantarillados, y en general de cualquier otro tipo de línea vital, ante procesos de reconstrucción como consecuencia de eventos ó desastres naturales como sismos, inundaciones, entre otros.

En cuanto a evaluación de daños por el sismo en Armenia:

Del análisis realizado se pueden concluir:

- Para la fecha del sismo del 25 de enero de 1999, aproximadamente el 95% de la tubería existente en la red de acueducto era de material de asbesto-cemento, que al ser un material de baja resistencia a la flexión y muy frágil, presentó un comportamiento deficiente ante la fuerza sísmica.
- La mayor parte de los daños se presentaron en tuberías con edades entre 10 y 30 años, mientras que en tuberías con edades mayores a 30 años no se reportaron tantos daños. Lo anterior se puede explicar debido a la mayor distribución en la red de tuberías entre 10 y 30 años,
- Los mayores daños registrados en la red de distribución se observaron en tuberías con diámetros de 3'' y 4'' con porcentajes de 74 y 17% respectivamente, esto corresponde con los mayores porcentajes de tuberías con estos diámetros en la red.
- En algunos sectores de la ciudad donde los niveles de daños en edificaciones fueron valorados como severos y moderados, existe también una gran concentración de daños en la red de distribución, hecho que se atribuye a la amplificación de la onda sísmica en ciertas zonas de la ciudad, afectando principalmente a algunas edificaciones e infraestructuras como redes de abastecimiento, construidas antes de la Norma Sismo-Resistente de 1984.
- La remoción de masas no fue un factor importante en los daños de la red de distribución de acueducto, ya que un 75.71% de estos daños fue registrado en el nivel de susceptibilidad al deslizamiento bajo.
- Se considera que el mayor factor que influyo en el deficiente comportamiento de algunos sectores de la red de distribución de acueducto, fue el tipo de suelo en el cual se

encontraban las tuberías, ya que el mayor porcentaje de daños en la red de acueducto se localizan en suelos con presencia de llenos; este tipo de suelo se caracteriza por amplificar la onda sísmica, transmitiendo esfuerzos cortantes mayores en dichas zonas y por consiguiente afectando a las tuberías de la red de acueducto.

- Un factor que puede haber sido relevante en el daño de la red de distribución fue el colapso y posterior demolición de algunas edificaciones, hecho que se observó principalmente en el centro de la ciudad de Armenia. Esta situación se asocia cuando al derribar grandes estructuras en concreto, se generan sobre esfuerzos por impactos sobre las vías que son transmitidos a las líneas vitales, especialmente a las redes de acueducto, alcantarillado y gas natural.
- Después de haber analizado con detalle el sistema de abastecimiento de agua de Armenia, resulta necesario destacar que por contar con una sola fuente de abastecimiento y una línea de conducción en regular estado con varios tramos que son críticos (túneles, viaductos), el sistema es muy vulnerable y la ciudad esta bajo la amenaza permanente de una interrupción del suministro de agua, que en cualquier circunstancia resulta grave para la población servida.
- De acuerdo al inventario de almacén suministrado por las Empresas Públicas de Armenia (EPA, E.S.P), se observa que los materiales más utilizados para el arreglo de los daños en la red de distribución para la ciudad de Armenia fueron: seguetas, uniones, codos, tubería de los diferentes materiales en especial de asbesto-cemento, y PVC, soldadura para PVC, lo cual demuestra que los daños más comunes presentados en las tuberías, tienen las siguientes características:
 - En las tuberías de asbesto cemento y PVC, fracturas transversales y longitudinales, debido a las deformaciones inducidas por el suelo debidas a la onda sísmica.
 - Fallas en las uniones, debido a la cristalización de los empaques de caucho, así como algunas que simplemente se desempataron en su unión.
 - En las tuberías de hierro fundido se presentaron fracturas longitudinales.

RECOMENDACIONES TECNICAS EN ZONAS CON AMENAZA SISMICA

“Aprendiendo de la experiencia vivida”

En las redes de acueducto que pasen por zonas con fallas geológicas se recomienda colocar la tubería en una zanja ensanchada en relleno de suelo granular blando, de tal manera que le permita ductilidad, y no se fracture fácilmente. Otra forma de instalar redes en este tipo de zonas, aunque requiere de grandes costos, consiste en construir el conducto libre dentro de otro, de tal manera que el conducto externo soporte los esfuerzos, y en el caso extremo, resulte destruido, garantizando la funcionalidad del conducto interno o línea vital; este método se recomienda si el nivel de complejidad es alto y la vulnerabilidad de la tubería es también alta.

La interfase entre suelos duros y rígidos con llenos adyacentes son zonas críticas, en estas, el riesgo de daño se puede reducir con el empleo de tuberías hechas con materiales dúctiles tales como: polietileno, las cuales, reducen considerablemente la probabilidad de ruptura; otra posibilidad es compactar los rellenos de manera que sean menos problemáticos.

En los diseños y en las construcciones de las obras de los sistemas de Acueducto se deben incorporar criterios sismo-resistentes para reducir el riesgo frente a futuros seísmos, para esto se debe tener en cuenta: Utilizar en zonas más vulnerables tuberías flexibles, y generar sistemas redundantes (elementos que trabajen paralelamente con las mismas funciones).

Es indispensable tener actualizada toda la información del sistema (estudios geológicos, topográficos, mapas, inventarios de almacén de la red, etc.), ya que con esto se puede establecer las zonas más vulnerables del sistema y realizar planes de contingencia para eventuales fallas.

Tener control y garantizar el funcionamiento de los hidrantes de la ciudad, ya que estos son parte esencial en un plan de contingencia para mitigar posibles emergencias. Este control debe hacerse siguiendo los requerimientos en cuanto a su distribución en la ciudad, localización, presión, cobertura, etc. (RAS, 2000).

No se debe limitar la profundidad a la que debe ir enterrada la tubería, ya que dicha profundidad y el material de relleno deben seleccionarse para limitar la resistencia pasiva lateral del suelo a menos de unos 80 a 100 Kg/cm² de diámetro de tubería (Sarria, 1995).

Es indispensable evitar que los puntos de anclaje se generen a distancias cercanas al cruce de una falla geológica, estas distancias deben ser como mínimo de unos 200 metros. No debe perderse de vista que los anclajes pueden ser mecánicos en zonas tales como: curvas pronunciadas, uniones entre tubos.

En caso de que las tuberías deban quedar enterradas en suelos blandos donde sean previsibles desplazamientos progresivos, se recomiendan las siguientes medidas preventivas:

- **Juntas:** Se demostró en el pasado seísmo ocurrido el 25 de enero de 1999 que los daños más severos y frecuentes suceden en las juntas. Se deben realizar ensayos a flexión para conocer la relación momento rotación (Sarria, 1995). Se debe hacer uso de materiales más dúctiles de tal manera que no se fracture en el momento de recibir la fuerza sísmica.
- **Válvulas y detectores Sísmicos:** Las válvulas de emergencia deben estar en capacidad de que éstas se cierran por control remoto al igual que por procedimientos manuales.

Es necesario al realizar el diseño de la red de acueducto tener en cuenta entre otros factores: nivel de sismicidad de la zona, tipo de suelo y que susceptibilidad al deslizamiento presenta el terreno, donde se va a proyectar esta red.

Es de gran importancia establecer un plan de prevención y contingencia para sistemas de agua potable, como en cualquier metodología, es necesario partir de la identificación de las emergencias, establecer jerarquías, y entonces, proceder a la elaboración de medidas concretas que darán estructura a los programas de prevención.

Se debe disponer de personal técnico especializado, en la aplicación de las reglas de operación, mantenimiento y planes de contingencia, en cada uno de los componentes del sistema de abastecimiento, de tal forma que a las fallas como: roturas, baja presión, arrastre de

sedimentos, funcionamiento deficiente de estructuras especiales, desinfección posterior a reparaciones de la tubería, obstrucciones al flujo; se les dé una solución rápida.

Se debe disponer de un plan de mantenimiento preventivo para los componentes de las redes de acueducto. En este sentido, es necesario destinar una cantidad importante de recursos para la detección y corrección de fugas en el sistema de agua potable, estos recursos normalmente se incorporan a los programas de detección de fugas y reparación de redes.

Un aspecto que reviste especial importancia es integrar un sistema de inventarios, ágil, y eficaz (preferiblemente georeferenciado), que permita conocer y actualizar en tiempo real las existencias de equipo, material, compuestos químicos y piezas especiales en almacenes. La carencia de éstos, en la diversidad de especificaciones que se requiere para los sistemas, ha demostrado ser un factor que retarda, hasta semanas, la reparación de una avería.

Es indispensable intentar mantener el control del cloro residual en la red de distribución, ya que en caso de una eventual contaminación por filtración de aguas residuales, aguas subterráneas no tratadas o lixiviados, la calidad del agua en lo posible no se vea afectada.

El alcanzar la calidad de agua potable en el menor tiempo posible luego de la contingencia, implica un esfuerzo importante y permanente de programas de monitoreo en los componentes del sistema de abastecimiento hasta la conexión domiciliaria. Para lograr todo esto se debe disponer de equipamiento de las instalaciones de análisis, como laboratorio y unidades móviles, así como de la coordinación de los recursos humanos para su ejecución.

AGRADECIMIENTOS

Los autores expresan los agradecimientos a las Empresas Públicas de Armenia (EPA E.S.P), Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS) y al Departamento Administrativo de Planeación (DAP) en el Departamento del Quindío en Colombia.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (1999). *“Estudio de microzonificación sísmica para orientar la reconstrucción de Armenia – Quindío”*. Universidad de los Andes - Corporación Regional del Quindío (CRQ) - Ingeominas. Santa Fe de Bogotá D.C. 1999.
- Cervantes, C; Ruiz, C.M. (1997). *“Estudio Cualitativo del Análisis de los Sistemas de Acueducto y Alcantarillado para la ciudad de Armenia”*. Proyecto de Grado Programa de Ingeniería Civil Universidad del Quindío. Armenia. 1997.
- Gandini y Orozco Ltda; Empresas Públicas de Armenia- EPA. (1992). *“Estudios y diseños del plan maestro de acueducto de Armenia. Informe de diagnóstico: Planta de potabilización y captación”*. Armenia. 1992.
- Empresas Públicas de Armenia - EPA E.S.P. (1999). *“Reporte de daños postsismo de la Red de Distribución de Acueducto para la ciudad de Armenia”*. 1999.
- Grases, J. Eurocode 8. (1995). *“Earthquake Resistant Design of Structures. Part 4: Tanks, and Pipelines”*. Comisión Asesora de Riesgos Industriales y Tecnológicos. Dirección Nacional Para La Prevención y Atención de Desastres de la República de Colombia. 1995.

- Organización de Los Estados Americanos - OEA. (1990). *“Programa de Prevención y mitigación de desastres naturales en Lázaro Cárdenas: Michoacán México”*.- México. OEA. 1990.
- Ministerio de Desarrollo Económico de Colombia; Universidad de los Andes, Centro de Investigación Facultad de Ingeniería-CIFI. (1998). *“Reglamento Técnico del Sector Agua Potable y Saneamiento Básico RAS-98 Título B, C y G”*. Santa Fe de Bogotá. 1998.
- Sarria, A. (1995). *“Ingeniería Sísmica. Capítulo 14: Vulnerabilidad en tuberías”*. Edición UNIANDES. Santa Fe de Bogotá. 1995.

