

Capítulo 3

Descripción de las amenazas naturales y de sus efectos en los sistemas de agua potable y alcantarillado

Introducción

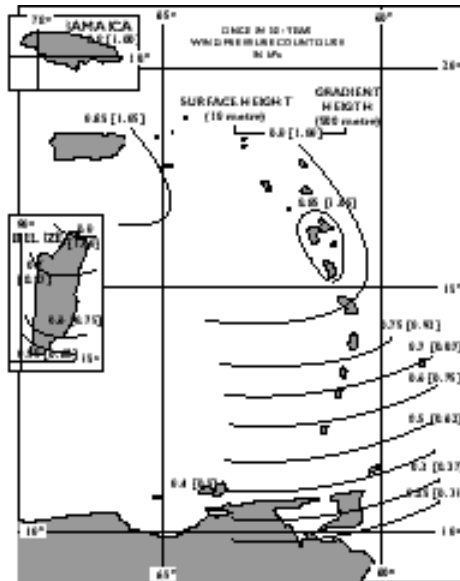
La evaluación del peligro en la zona o región en estudio es esencial para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles de los componentes en riesgo. El historial de desastres de la región aporta una información muy valiosa para esta evaluación.

En el caso de los sismos, es ideal disponer de información sobre las fuentes sismogénicas y sus tasas medias de desplazamiento, las leyes de atenuación, varianzas, normas de diseño, entre otras. Es usual que el análisis de vulnerabilidad sísmica sea realizado por un equipo conjunto de consultores privados, de instituciones especializadas y profesionales de la empresa. Los primeros aportarán los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo sísmico, y los segundos el conocimiento de las estructuras y su importancia relativa.

Para los huracanes, la evaluación se fundamenta en información histórica, sintetizada en las normas y códigos de construcción. La Figura 3.1 reproduce el mapa de zonificación de presión de vientos huracanados del Caribe Oriental, establecido en la Caribbean Uniform Building Code (CUBIC, 1985). Los mayores daños ocasionados por huracanes son los causados a las estructuras expuestas a corrientadas de agua, a los fuertes vientos y ubicadas en áreas de inundación. En todo caso, los efectos de los huracanes son de tal magnitud e impacto en el servicio, que todas las empresas ubicadas en las áreas de riesgo están obligadas a estudiar a fondo la vulnerabilidad de sus estructuras, implementar planes de mitigación y estar preparadas para enfrentar las emergencias y los desastres que pudieran presentarse con un plan de emergencia en continuo proceso de actualización y divulgación.

En el caso de las inundaciones, si bien existen modelos analíticos especializados para determinar precipitaciones y crecientes máximas, la información sobre las áreas que en el pasado han sufrido los efectos de este tipo de fenómenos es de gran valor para la evaluación de esta amenaza. El pronóstico sobre los niveles de agua en los cauces de los ríos es usual que

Figura 3.1
Mapa de isopresiones de vientos en el Caribe
(norma CUBIC, 1985)



sea determinado por un equipo de consultores privados o de institutos especializados, universidades y profesionales de la empresa. Un equipo profesional puede aportar los conocimientos y tecnologías específicas de análisis de riesgo hidrológico, y las instituciones especializadas, como universidades, observatorios y otros, el conocimiento de las estructuras, su funcionamiento e importancia relativa como parte del sistema para priorizar las medidas de mitigación y establecer los procedimientos del plan de emergencia.

Por su parte, los períodos de lluvias extraordinarias asociados a las épocas de lluvia anuales y al comportamiento de fenómenos como el del Niño en el Pacífico, las correntadas e inundaciones que generan, y los riesgos de contaminación constituyen un escenario de alto riesgo para las estructuras de captación superficial y tuberías cercanas a los cauces de agua.

Para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles a los componentes de los sistemas de agua potable en caso de erupciones volcánicas, se deberán identificar las áreas de cobertura de los materiales de erupción: cursos de lava, gases y cenizas prioritariamente, los cursos de agua afectados y la formación de avalanchas. Esta evaluación es simple de efectuar pues se conocen las áreas que en el pasado han sido afectadas y están documentadas en los institutos de sismología, vulcanología y meteorología, y defensa civil de los países sujetos a estos fenómenos. Los mayores daños son causados a las estructuras expuestas al impacto de corrientes de lava y de avalanchas de ceniza, piedras y agua. Además, las plantas de tratamiento, estructuras metálicas como tanques y cajas de válvulas en redes de distribución sufren ante el impacto de lluvias ácidas y de ceniza. Una erupción volcánica que coincide con períodos de lluvias produce avalanchas en los cursos de agua e inundaciones de extremo poder destructivo.

Los efectos de los sismos, huracanes, erupciones volcánicas, deslizamientos y sequías son de tal magnitud e impacto en el servicio que todas las empresas ubicadas en áreas de riesgo están obligadas a estudiar a fondo la vulnerabilidad de sus estructuras.

Características de las amenazas y principales efectos

La información detallada que se presenta a continuación para cada tipo de amenaza servirá de base para completar la Matriz 3, Aspectos físicos e impacto en el servicio.

Bajo cada una de las amenazas, se realiza una descripción de los daños estimados en los diferentes componentes de los sistemas. La información está basada en la experiencia recogida por la CEPAL en las numerosas evaluaciones que ha realizado con posterioridad a algunos desastres en los países de América Latina y el Caribe, y se encuentra recopilada en la publicación “Manual para la Estimación de los Efectos Socioeconómicos de los Desastres Naturales”, CEPAL, 1991².

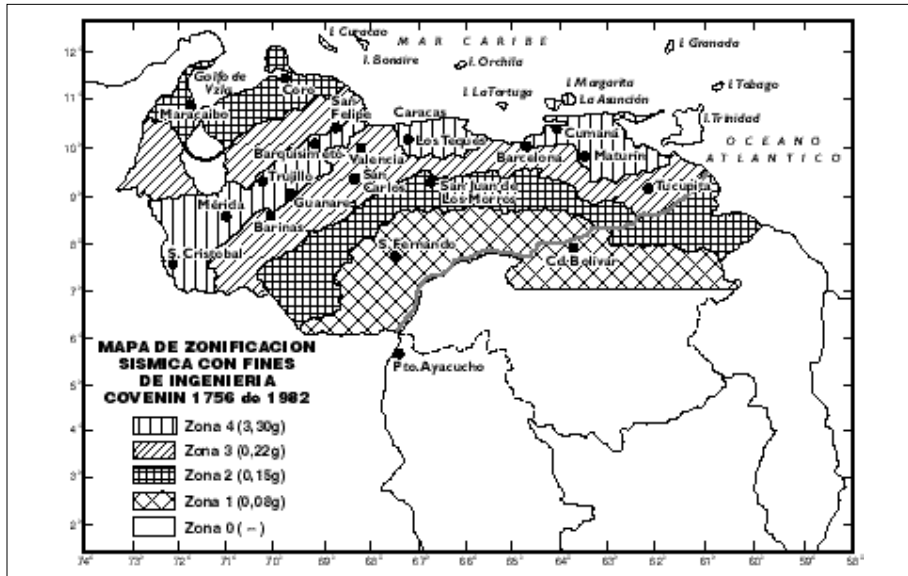
Terremotos

Para la caracterización de la amenaza sísmica, se dispone de información de varios niveles de complejidad, cuya utilización dependerá del tipo de estudio que se desee elaborar. Los tipos más comunes de datos sobre esta amenaza son los siguientes:

- Evaluación de la amenaza o peligrosidad sísmica: Esta se fundamenta en la sismicidad de la región, las fuentes sismogénicas, las correlaciones de atenuación, sus varianzas y el empleo de algoritmos de cálculo ad-hoc.
- Mapas de zonificación sísmica : Son muchos los países en los cuales se han elaborado mapas de

² Comisión Económica para América Latina y el Caribe (CEPAL), Manual para la estimación de los efectos socioeconómicos de los desastres naturales, Santiago de Chile, División de Planificación de Programas y Operaciones, 1991.

Figura 3.2
Mapa de zonificación sísmica de Venezuela
(norma Covenin 1756 de 1982)



zonificación sísmica, de acuerdo a las necesidades específicas de su aplicación: diseño de edificaciones (véase por ejemplo el Mapa de la Figura 3.2), verificación de equipos de alto voltaje, diseño de puentes, elaboración de pólizas de seguros y/o reaseguros, y otros; los cuales se construyen al incorporar a los resultados obtenidos en la evaluación de la amenaza, los efectos conocidos de los principales sismos destructores sucedidos en tiempos históricos. Es muy conveniente complementar esta información con mapas sobre información geológica, en los cuales se destaquen los sistemas de fallas activas o potencialmente activas y que hagan referencia a la calidad y tipos de suelos; estos también son conocidos como “mapas neotectónicos”.

- **Movimientos vibratorios del terreno:** Entre los mapas recién citados, algunos estarán asociados a normativas vigentes como es el caso de la Figura 3.2. Generalmente, es en estos documentos donde se establecen las características de los movimientos vibratorios que serán incluidos en los análisis considerando la zonificación aludida, las características predominantes del terreno, los períodos medios de retorno y los factores de importancia que se establecen en las normas de diseño. En ausencia de esta información, lo cual puede suceder en algún país que no tenga normas para el diseño sismorresistente, se deben establecer probabilidades de excedencia suficientemente pequeñas para la selección de los movimientos máximos del terreno, o bien para las intensidades de las acciones a considerar.
- **Áreas potencialmente inestables a las acciones sísmicas:** Es poco probable que se disponga de esta información en forma de mapas de zonificación o microzonificación. No obstante, es importante tener un conocimiento razonablemente confiable en las áreas que ocupa el sistema de: (i) zonas de depósitos saturados, generalmente cercanas a ríos, antiguos deltas de ríos, playas de lagos o costas marinas, potencialmente licuables; (ii) terraplenes u obras de tierra susceptibles a sufrir desplazamientos laterales (“lateral spreading”); (iii) taludes naturales o artificiales, potencialmente inestables bajo las acciones sísmicas. En la Tabla 3.1 se reproducen tipos

Tabla 3.1
Tipos de desplazamientos permanentes del terreno debido a sismos
(Véase O'Rourke and McCaffrey, 1984)³

Designación	Descripción
Fallamiento	Desplazamiento de partes adyacentes de la corteza terrestre, concentrados en zonas de fallas relativamente angostas. Los principales tipos son transcurrentes, normales e inversas.
Licuefacción	Estado temporal de resistencia al corte, muy pequeña o nula, propia de suelos no cohesivos saturados sometidos a acciones vibratorias. Los desplazamientos asociados pueden ser uno o más de los siguientes: flujos laterales sobre suelos firmes con ángulos menores de unos 5 grados (desparramamiento lateral), subsidencia, o efectos de flotación. Los desplazamientos laterales pueden alcanzar metros, aún en pendientes con inclinaciones tan pequeñas como 0,5 a 1 grado ⁴ .
Deslizamientos	Movimiento en masa de terrenos en pendiente debido a fuerzas inerciales inducidas por el sismo. Pueden ser desde caídas de rocas y deslizamientos de masas superficiales de terreno, hasta traslación y rotación de grandes volúmenes de suelo y roca, por fallamiento a profundidad.
Densificación	Reducción de volumen causado por vibraciones que compactan los suelos no cohesivos, secos o parcialmente saturados.
Levantamiento tectónico o subsidencia	Cambios de dimensiones o topográficos, a nivel regional, asociados a la actividad tectónica. Generalmente resulta distribuido en grandes extensiones.

de desplazamientos permanentes del terreno debidos a sismos. Igualmente, la Tabla 3.2 sintetiza la correlación entre los diferentes tipos de deslizamientos y las intensidades de Mercalli (Keefer, 1984).

- **Longitud de ruptura y desplazamientos permanentes de fallas activas:** La magnitud Richter de un sismo está directamente relacionada a la longitud de ruptura o superficie del fallamiento, los desplazamientos máximos, y la caída de esfuerzos. Para los rangos promedio de caídas de esfuerzos en las zonas de ruptura, pueden resultar útiles los valores de la Tabla 3.3. En ella se establece la relación entre magnitudes Richter, rango de longitudes de rotura de fallas geológicas y rango de desplazamientos máximos, la cual es esencialmente válida para fallas de tipo transcurrente con focos poco profundos (entre unos 10 y 15 km. de profundidad aproximadamente). Los desplazamientos permanentes asociados a sismos, descritos en la Tabla 3.3, son particularmente problemáticos cuando interceptan túneles, tuberías enterradas o fundaciones de edificaciones.

³ O'Rourke T.D.; McCaffrey M. (1984) Buried pipeline response to permanent earthquake ground movements. VIIIth World Conference on Earthquake Engineering, Proc Vol VII, p. 215-222.

⁴ Por ejemplo, el efecto de licuefacción y deslizamiento ocurre muy a menudo durante un terremoto en terrenos no consolidados con fuertes pendientes y granos suaves y finos fácilmente desmoronables. Las redes de tuberías deben ser instaladas en las áreas donde se han asentado los pobladores, por lo que el proyectista no tiene oportunidad de elegir en relación con la geología de la zona. Lo más que se puede hacer es prever en el diseño una adecuada distribución de válvulas y la mayor flexibilidad posible en los sistemas de tuberías, con la esperanza de reducir al mínimo las roturas cuando los deslizamientos y la licuefacción ocurran (OPS/OMS, Manual sobre preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para afrontar situaciones de emergencia. Segunda parte--Identificación de posibles desastres y áreas de riesgo, pág. 19, 1990.).

- **Maremotos o Tsunamis:** Epicentros submarinos con ciertos mecanismos focales, así como deslizamientos submarinos, que pueden originar perturbaciones en la masa de agua que se traducen en olas de altura importante e incursiones tierra adentro. En las zonas sísmicas de América se conocen extensas áreas que ya han sido afectadas en tiempos históricos por este tipo de fenómenos.

Intensidad de Mercalli

Es una de las escalas más utilizadas para describir los efectos debidos a sismos, tomando en consideración los efectos sentidos por el hombre, los efectos en las construcciones y cambios en las condiciones naturales del terreno. La magnitud de un sismo es usualmente detectada por la escala Richter, que es una medida de la amplitud de la onda sísmica, la magnitud momentánea, o bien, la cantidad de energía desprendida es captada por las grabaciones de un sismógrafo. Además de la Escala de Mercalli actualmente también se emplean otras escalas en la cuales se incorpora información adicional sobre la calidad de las edificaciones, la estabilidad de taludes, instalaciones, y alturas de maremotos.

Una versión muy resumida de la Escala Modificada de Mercalli se reproduce en la Tabla 3.4.

Cálculo de la vulnerabilidad física del sistema

Se considerarán las amenazas potenciales y el historial de sismos pasados (algunos ejemplos se presentan en el Anexo 1 de este documento). A continuación se anotan indicaciones y sugerencias que pueden facilitar esta tarea.

Matrices de vulnerabilidad con respaldo estadístico: Se mencionó anteriormente el denominado “walkdown”, que no es más que un recorrido de inspección del sistema. Los resultados de esta evaluación preliminar, generalmente respaldada por cálculos sencillos, pueden ser sintetizados en matrices de probabilidad de daños, las cuales son únicamente matrices de vulnerabilidad fundamentadas en información estadística y/o en la experiencia de quienes lleven a cabo tal inspección.

Tabla 3.2
Umbral de intensidad sísmica para diferentes tipos de deslizamientos

Tipos de deslizamientos o fallas	Umbral de intensidad sísmica
Caída o deslizamientos de rocas y pequeños deslizamientos de suelos. Deslizamientos repentinos de bloques de suelos; casos aislados.	Eventos cercanos, de baja magnitud Richter (4 a 4,5) con IMM del orden de VI o más.
Deslizamientos repentinos de bloques de roca, cantidades masivas de roca; desparramamiento lateral.	Eventos relativamente cercanos con magnitudes Richter 5 a 5,5, con IMM de aproximadamente VII o más.
Avalanchas de rocas o suelos. Agrietamientos y roturas en paredes libres de roca sólida. Deslizamientos y desprendimientos importantes de suelos y/o roca, frecuentes en topografías irregulares.	Magnitudes Richter del orden de 6,5, con IMM del orden de VIII o más. Intensidades IMM grado IX o más.
Deslizamientos masivos de gran extensión; posible bloqueo de ríos y formación de nuevos lagos.	Intensidad IMM por lo menos grado X.

Tabla 3.3
Rangos de magnitudes, longitudes de rotura y desplazamientos máximos permanentes

Rango de magnitudes Richter	Rango de longitudes de rotura superficial de la falla geológica (km.)	Rango de desplazamientos permanentes (cm)
6,1 a 6,4	10 a 20	40 a 60
6,5 a 6,8	20 a 40	70 a 100
6,9 a 7,2	50 a 120	110 a 160
7,3 a 7,6	130 a 240	180 a 240

Matrices de vulnerabilidad basadas en estudios analíticos: Como ya se indicó, en los sistemas de producción, transporte y distribución de agua potable, así como en los de alcantarillado, hay componentes para los cuales la información estadística es muy limitada o inexistente; tal es el caso de las torre-toma en grandes embalses o chimeneas (torres) disipadoras de energía. En esos casos es preciso evaluar modelos matemáticos y traducir los resultados obtenidos a matrices de probabilidad de daños en los términos ya descritos.

Tabla 3.4
Breve descripción de la Escala Modificada de Mercalli

Intensidad	Descripción
I	Detectada por instrumentos muy sensibles.
II	Sentido únicamente por personas en estado de reposo.
III	Sentido en el interior de edificaciones mediante vibraciones similares al paso de un camión.
IV	Movimientos de platos, ventanas, lámparas.
V	Ruptura de platos, ventanas y otros.
VI	Caída de acabados, chimeneas, daños estructurales menores.
VII	Daños considerables en edificios mal construidos.
VIII	Caída de paredes, monumentos, chimeneas.
IX	Movimientos de fundaciones en edificios de mampostería, grandes grietas en el suelo, rotura de tuberías.
X	Destrucción de la mayoría de la mampostería, grandes grietas en el suelo, doblamiento de rieles de ferrocarril, derrumbes y deslizamientos.
XI	Sólo permanecen muy pocas construcciones, ruptura de puentes.
XII	Daño total, presencia de ondas en la superficie, distorsión de líneas de nivel, objetos arrojados al aire.

Efectos generales de los terremotos

Según su magnitud, los terremotos pueden producir fallas en las rocas, en el subsuelo, hundimientos de la superficie del terreno, derrumbes, deslizamientos de tierras y avalanchas de lodo⁵; pueden asimismo reblandecer suelos saturados (debido a la vibración), reduciendo la capacidad de sustentación de fenómenos, combinados con la ondulación del suelo, puede producir destrucción y otros daños directos en cualquier parte de los sistemas de abastecimiento de agua, alcantarillado sanitario o desagües de aguas lluvias, ubicados dentro del área afectada por el sismo⁶.

La magnitud y características de los daños estará usualmente relacionada con:

- La magnitud del terremoto y la extensión geográfica que cubre;
- El diseño antisísmico de las obras, su calidad constructiva, su tecnología, su mantenimiento y estado real a la fecha del desastre;
- La calidad del terreno donde se sitúan las obras y también el de la zona adyacente ya que existe la posibilidad de que las obras mismas resistan al sismo, pero un deslizamiento de tierras adyacentes, por ejemplo, podría causar daños por efecto “en cadena” del terremoto, es también el caso de la rotura de una presa, destruida por el sismo, que podría dañar obras de este sector por efecto de la avalancha de las aguas.

La mayor parte de estas obras, especialmente las cañerías de agua potable, alcantarillado sanitario y alcantarillado de aguas lluvias, se construyen bajo el nivel del suelo; luego se rellenan las excavaciones, por lo que no están usualmente a la vista. Estas estructuras enterradas reaccionan, frente a un sismo, de manera distinta que los edificios o estructuras sobre el nivel del suelo.

Daños producidos por terremotos

a) Obras sobre el nivel del suelo: Son obras que en su mayor parte están a la vista, por lo que es posible una apreciación visual de los daños casi desde el momento de producirse un sismo. En estas obras, la resistencia de la estructura depende de la relación entre su rigidez y su masa, mientras que para las cañerías enterradas no es relevante la masa, sino principalmente las deformaciones del terreno producidas por el movimiento telúrico.

- i) Edificios, bodegas, viviendas y casas de máquinas: Tanto los edificios de administración de los servicios, las bodegas de materiales, las viviendas de técnicos, cuidadores y operarios, así como diversos tipos de casas de máquinas o plantas, tenderán a comportarse en forma semejante a construcciones similares de otros sectores como vivienda, salud, etc. y a sufrir daños tales como fisuras, grietas, colapsos parciales o totales. El nivel de daños dependerá del diseño sismorresistente y materiales empleados en la construcción de estas obras.
- ii) Estanques: En el caso de los estanques de agua, la masa determinada por el volumen de agua almacenado puede ser muy grande y, por eso, serán también grandes las solicitaciones producidas por el sismo. Si son estanques elevados existe el riesgo adicional de que las vibraciones de los terremotos puedan hacerlos resonar. “Esta tendencia de las edificaciones elevadas a vibrar al compás de las vibraciones del suelo natural alcanza su intensidad máxima cuando se asientan sobre capas gruesas de depósitos no consolidados”⁷. Además de los efectos del sismo sobre la estructura de los estanques, la oscilación y olas del agua almacenada puede

⁵ También grandes lluvias pueden producir derrumbes, deslizamientos y avalanchas de lodo.

⁶ Más adelante se incluye un listado de los tipos de daños que pueden sufrir las distintas partes de estos sistemas.

⁷ UNDRR, Prevención y mitigación de desastres, Vol. 8, Aspectos de saneamiento”, 1982.

implicar riesgos adicionales, especialmente cuando no se han diseñado placas amortiguadoras en su interior. Según la calidad de diseños, construcción y mantenimiento de los estanques, por una parte, combinado con la magnitud del sismo y la forma de reacción del suelo, por otra, pueden producirse desde daños menores hasta daños muy graves incluyendo su derrumbe o colapso. En caso que el agua derramada tenga un volumen importante puede producir daños adicionales de consideración.

- Estanques semi-enterrados. Los estanques semienterrados⁸, construidos usualmente de mampostería de piedra, de hormigón, hormigón armado u otros materiales, pueden sufrir daños tales como:
 - grietas en los muros, piso, cubierta o en las zonas de encuentro de dichos elementos, así como en los lugares de entrada o salida de las cañerías. Estas grietas pueden variar desde las fácilmente reparables, hasta las que implican reconstruir totalmente la obra.
 - derrumbe parcial de la cubierta, pilares interiores o parte de muros o piso, que pueden requerir desde reparaciones parciales de cierta importancia a la reconstrucción total.
 - derrumbe o colapso de la obra.
- Estanques elevados. Los estanques elevados⁹ de tamaño regular o grande se construyen usualmente de acero o de hormigón armado.
 - ◆ Los tanques sostenidos por estructuras de acero, con amplios tirantes diagonales, soportan bien los terremotos; su punto más vulnerable está donde los tubos (que forman la estructura soportante) penetran en la tierra. Sin embargo, diversas formas de diseño, construcción y mantenimiento de los estanques de acero, combinado con diversas magnitudes de los sismos y distinta respuesta del terreno de fundación, podrían producir:
 - daños leves como cortadura de tirantes diagonales, los que pueden ser reparados o reemplazados rápidamente;
 - daños en la estructura de apoyo, y/o en la cuba (donde se almacena el agua), que pueden variar desde menores hasta graves, y que pueden producirse, más probablemente, en la zona de unión con la estructura soportante o donde entran o salen las cañerías de agua;
 - colapso o derrumbe de la obra:
 - ◆ Los tanques de hormigón, debido a sismos podrían verse afectados de la siguiente manera:
 - pérdidas superficiales de estucos, fácilmente reparables, aunque pueden requerir andamios;
 - daños en cañerías de entrada o salida del estanque o de elementos sobrepuestos, tales como escalas de acceso o similares, que en si no comprometen la estructura del estanque y pueden ser reparables con labores de simple a mediana dificultad;
 - grietas en la estructura de apoyo y/o en la cuba, las que pueden producirse, por ejemplo, en las zonas de traslape de excesivo número de armaduras de hierro; en las zonas en que las cañerías cruzan los muros de hormigón; en la unión de cuba y estructura soportante o en la base de esta última;
 - desaplome o inclinación de la estructura o fallas en las fundaciones, usualmente de significado muy grave;
 - derrumbe o colapso de la obra.

⁸ Se incluye aquí los estanques de regulación o almacenamiento para ciudades y pueblos.

⁹ Se incluye aquí los estanques de regulación o almacenamiento para ciudades y pueblos.

Según UNDRR, el índice de supervivencia de los estanques elevados de hormigón armado es menor que los de acero y las precauciones para su construcción están menos claramente definidas. Una estructura de hormigón armado puede esconder mucho más los daños que una estructura de acero, por lo que todo daño que vaya más allá de pérdidas superficiales del estuco, debiera ser examinado y diagnosticado por un especialista, a fin de evitar que lo que puedan parecer simples grietas se transformen, con un nuevo sismo, en origen de un problema más grave.

- Pequeños estanques elevados. Son estanques pequeños de almacenamiento de agua, usados para viviendas aisladas, pequeños grupos de viviendas, escuelas, pequeñas industrias, etc., éstos se construyen en una gran variedad de materiales que incluyen estructura de apoyo de madera, o perfiles metálicos u hormigón armado, etc. y la cuba de plancha de hierro corrugado o liso, cemento asbesto, fibra de vidrio u hormigón armado, etc.
 - Los estanques de hierro corrugado se derrumban con frecuencia ante los terremotos, pero la experiencia indica que esto se debe más al mal mantenimiento que a la inestabilidad.
 - Los pequeños estanques elevados pueden sufrir daños en la estructura de apoyo y/o en la cuba, desde ligeros, fácilmente reparables, hasta el desplome de la estructura y/o necesidad de cambiar la cuba. En las estructuras de madera probablemente se pueda recuperar parte del material lo mismo que en las estructuras metálicas (excepto las partes que puedan estar corroídas).
- iii) Represas y embalses: Se considera sólo las represas y embalses para abastecimientos de agua potable. Un movimiento sísmico importante puede ocasionar, grandes olas en el embalse con el riesgo de que rebasen por sobre la presa. Este peligro puede ser aún mayor cuando derrumbes o deslizamientos de tierras, producidas por el propio terremoto, caen dentro del embalse, produciendo casi un maremoto interior. La ruptura de una represa puede tener consecuencias muy graves y muy inciertas por efecto de la avalancha de las aguas que pueden afectar a poblaciones ubicadas aguas abajo de la presa.
 - Represas en relleno rocosa. Son más flexibles que las de hormigón y más resistentes que las de tierra pero, como se suele utilizar hormigón o arcilla para impermeabilizarlas, estos materiales pueden agrietarse con un terremoto y presentar fugas de agua. Los daños que se pueden presentar serían:
 - grietas o filtraciones menores, medianas o grandes;
 - embanques del embalse por derrumbes;
 - colapso o derrumbe de la presa.
 - Represas de tierra. Pueden sufrir daños, durante un sismo, debido a fallas en las cimentaciones, grietas en los núcleos, deslizamientos de tierras en los diques o rebases sobre la cortina debido a olas en el embalse, o derrumbes en el propio borde de contención. Los posibles daños son:
 - daños menores que, si implican filtraciones, deben repararse con urgencia para evitar el aumento de las fugas debido a la erosión;
 - embanques por derrumbes, los que habría que dragar si es necesario;
 - el colapso o derrumbe de la represa.
 - Presas de hormigón. Pueden agrietarse o sufrir fallas en las fundaciones. También, como en todas las presas, existe el peligro de que se formen olas que rebasen la cortina. Los daños que podrían presentarse son:

- grietas o filtraciones menores que debieran repararse rápidamente;
- las grietas que van de medianas a mayores que pudieran requerir incluso el vaciamiento del embalse para repararlas (lo que puede implicar la pérdida de agua almacenada);
- embanques por derrumbes;
- colapso o derrumbe de la presa.

b) Obras bajo el nivel del suelo o enterradas . Se incluye en este punto las obras ubicadas bajo el nivel del suelo, principalmente:

- toda clase de cañerías y conductos de agua potable, alcantarillados sanitarios y desagües de aguas lluvias, incluyendo las respectivas redes de distribución, cámaras, válvulas e instalaciones domiciliarias;
- las captaciones de aguas subterráneas como pozos, drenes, galerías, etc.

Estas obras presentan diferencias significativas con las que están sobre el nivel del suelo, ya que la mayor parte no está a la vista, por lo que la mayoría de los daños directos no serán visibles. Ello hará que la determinación real de los daños sea usualmente mucho más lenta y laboriosa. En el terremoto de Ciudad de México¹⁰, por ejemplo, aunque a los 15 días de ocurrido el desastre se había reparado los daños mayores en los acueductos de agua potable, se requirió de meses para completar las reparaciones menores y fue aún más complejo y lento reparar las redes de alcantarillado pluvial y sanitario.

El sismo actúa con fuerzas de inercia sobre las construcciones que se levantan sobre el nivel del suelo; en cambio, las estructuras enterradas (como las cañerías, por ejemplo) se mueven con el suelo, experimentando deformaciones que pueden provocar daños en este tipo de componentes. Los terremotos ocasionan daños en las tuberías y/o en sus uniones rígidas. Esto implica que se puede esperar menores daños en las cañerías relativamente más flexibles (de PVC o acero soldado, por ejemplo) y mayores en las cañerías más rígidas de, por ejemplo, mortero comprimido, hormigón, hierro fundido y cemento asbesto, especialmente si tienen uniones rígidas.

- i) Influencia de los tipos de suelo de los daños. En suelos en terraplén, que son construidos con rellenos, o en terrenos blandos, se pueden producir grietas debido al sismo, que pueden provocar rupturas en las cañerías ubicadas en ellos. También se ha observado fallas de las tuberías en zonas de transición de la calidad del suelo, lo mismo que por cambio de los espesores de los rellenos naturales.



Algunos daños pueden afectar a la cantidad o calidad de agua suministrada.

¹⁰ Véase CEPAL, Daños causados por el movimiento telúrico en México y sus repercusiones sobre la economía del país, octubre de 1985.

El reblandecimiento del suelo es uno de los efectos más dañinos de los terremotos ya que reduce la capacidad de sustento de las fundaciones. Gran parte del daño de las tuberías, en terrenos de aluvión o de arena saturada de agua, se debe al reblandecimiento ocasionado por las vibraciones de los sismos. Se conoce un caso, en el Japón, en que una zona de arenas saturadas, debido a la vibración del sismo, se convirtió prácticamente en un líquido en el que tubos y cámaras “flotaron”, causando grandes daños a las instalaciones. Por otra parte, conviene tener presente que las tuberías de gran diámetro, ubicados a poca profundidad, sufren más daños que los de diámetro menor, debido a que tienen menos capacidad para resistir las “ondas Rayleigh” que debido al sismo se desplazan sobre la superficie del terreno en forma semejante, pero menos obvias que las olas del mar.

Otra zona de peligro para las tuberías de agua o alcantarillado es su proximidad a edificios derrumbados por el sismo. La ruptura de cañerías que entran o salen del edificio puede dañar por arrastre a las tuberías de la red pública a las que están conectadas.

- ii) Utilidad de planos y mapas de riesgos sísmicos, según calidad de terrenos. Dadas las dificultades para ubicar los daños en las cañerías existentes sería recomendable revisar los planos de riesgos sísmicos de las localidades afectadas por el terremoto (si es que existen), ya que habrá más probabilidad de que ocurran daños en las zonas más vulnerables al sismo, por ejemplo:
- Areas con capas profundas de suelos “blandos”, arenas y gravas sedimentarias, ciénagas y terrenos rellenados (subsuelos que no amortiguan las vibraciones de los terremotos como las rocas duras);
 - Areas con capas de arena suelta, saturada de agua y otras capas de suelo carentes de cohesión, en las que se puede reblandecer el suelo;
 - Fallas en los estratos de rocas: las tuberías que atraviesan esas fallas pueden sufrir daños.
- iii) Sugerencias para encontrar daños en las tuberías:
- Cañerías de agua potable. Los daños en las cañerías de agua potable producen, por lo común, afloramientos de agua en zonas cercanas a las roturas de tubos o uniones, pero para determinar su magnitud y alcance y hacer las reparaciones (que usualmente son urgentes) habrá que excavar y poner al descubierto las cañerías rotas. Sin embargo, es posible que la alta permeabilidad del suelo en que se produjeron las roturas o presión baja del agua, oculte zonas de roturas que tal vez se podrían ir detectando posteriormente, una vez reinstalado el servicio, considerando por ejemplo:
 - ◆ Nuevos afloramientos de agua, evidenciados por aumentos de la presión en la red una vez que se reparen las roturas detectadas primero;
 - ◆ Existencia de áreas de la ciudad o pueblo que siguen sin recibir agua o que disponen de menor presión que en situación normal, lo que puede deberse a daños en cañerías alimentadoras de esas zonas, las que habría que identificar y reparar;
 - ◆ Detección de fugas. Esto puede ser muy demoroso, especialmente si no se dispone del equipamiento y experiencia a nivel local. Por otra parte, puede resultar difícil saber cuáles fugas se deben al sismo y cuáles son anteriores a él;
 - ◆ Mediante la utilización de medidores de caudal en las alimentadoras o en la red, si es que existen o pueden instalarse en los puntos adecuados, para determinar la posible existencia de otras fugas;

- Tuberías de alcantarillado sanitario. Las roturas en estas tuberías pueden implicar afloramientos de aguas servidas a la superficie del terreno lo que puede ser indicativo de una zona de daños. Sin embargo, debido a que estas tuberías funcionan normalmente en escurrimiento abierto, sin presión, puede haber menos fugas visibles que en las cañerías de agua potable, en las que la presión puede facilitar que se evidencien. Por otra parte, la existencia de cámaras de inspección puede facilitar la estimación visual del caudal en cámaras sucesivas, lo que puede ayudar tanto a ubicar los tramos con fugas (por comparación del caudal en cámaras sucesivas), tuberías (por comparación de los niveles de aguas servidas en cámaras vecinas). Esas obstrucciones, si no existían antes del sismo, pueden ser producto de roturas en las tuberías debido al terremoto. Por otro lado, en las áreas que no dispongan de suministro de agua potable (debido a los efectos del desastre) tampoco habrá aguas servidas de retorno, de modo que una inspección final de la situación del alcantarillado requiere la previa regularización del servicio de agua potable.

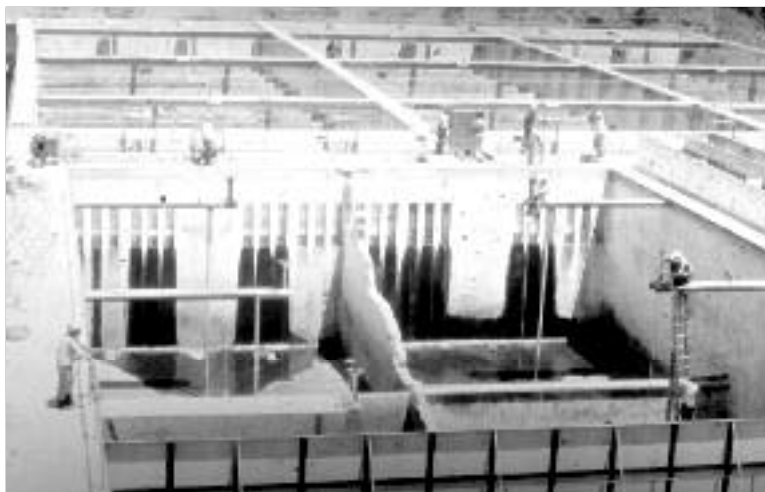


José Grases, 1997

Muchas veces los materiales escogidos para la construcción no son los adecuados para soportar esfuerzos sísmicos.

- Tuberías de sistemas de alcantarillado de agua de lluvias. Si el desastre ocurre durante época de lluvias, el examen de este sistema puede ser similar al indicado en el punto anterior. En cambio, si ocurre en época seca, la inspección de daños podría considerar un reconocimiento visual, recorriendo los canales de desagüe y los grandes colectores visitables, si es que existen, y un reconocimiento de los tramos de menor diámetro desde las cámaras de inspección vecinas a ellos.
- iv) **Riesgo de contaminación del agua en las redes de agua potable:** Si se rompen simultáneamente las cañerías de las redes de agua potable y las de alcantarillado sanitario, es posible que algo de aguas servidas se mezcle o penetre a la red de agua potable. Ello se debe a que usualmente las cañerías de agua potable y de alcantarillado sanitario se construyen en forma paralela, por las mismas calles y a pocos metros entre sus ejes. Así, pueden haber roturas cercanas en ambas cañerías que posibiliten la entrada de aguas servidas a la red de agua potable (especialmente si es considerable el volumen de aguas servidas vertidas al terreno). En algunas oportunidades existen aguas subterráneas superficiales que cubren las redes de agua potable y de alcantarillado. Si el sismo produce roturas y fugas en la red de alcantarillado se contaminará la napa freática. Por su parte, esa napa

superficial puede contaminar el agua de la red de agua a través de roturas en la misma o por infiltración hacia la red de agua potable por juntas no herméticas, si en esa red



José Grases, 1997

Algunos daños pueden afectar gravemente al suministro de agua potable.

se producen presiones negativas (menores que la atmosférica), debido a roturas en partes mas bajas o por efectos de racionamientos del agua potable.

c) Captaciones de aguas subterráneas . En zonas donde se extrae agua de pozos o galerías profundas puede ocurrir que el terremoto ocasione que las napas de aguas subterráneas se encaucen hacia fallas recién abiertas, determinando una disminución (e incluso agotamiento) del caudal que se obtenía de dichas captaciones. Por otra parte existe el riesgo de que el agua subterránea se contamine con grietas o fallas recién abiertas que conectan el agua superficial o agua de letrinas con la napa subterránea. Este es un riesgo serio ya que puede dejar fuera de posibilidades de uso una o varias captaciones.

- Pozos profundos, pozos de mediano y de gran diámetro: Dada la variedad de pozos que existe se pueden producir daños variados que van desde:
 - hundimiento del suelo alrededor del pozo, con daños de leves a graves;
 - el colapso y pérdida total del pozo (debido, por ejemplo, a una falla que pasa por el mismo pozo y produce su colapso, o por derrumbes que lo cubren)
 - daños en los mecanismos de bombeo de leves a graves (los equipos de bombeo se evaluarán por separado).
- Galerías de infiltración o drenes¹¹: debido al sismo se pueden producir diversos tipos de daños, como los siguientes:
 - grietas en los muros, tubos o dovelas que forman el dren o galería que pueden variar desde grietas pequeñas, relativamente fáciles de reparar (si la galería es visitable) hasta grietas mayores que pueden requerir colocar refuerzos interiores o cambiar el revestimiento;
 - derrumbe de parte de la galería o dren o de algunos de los pozos de inspección;
 - colapso total de la galería o dren;
 - daños en los equipos de bombeo (si existen), los que se evaluarán por separado.

d) Contaminación de las fuentes de agua potable . En el punto anterior se hizo referencia a los riesgos de contaminación del agua subterránea, pero es mucho mas frecuente que ocurra contaminación de fuentes superficiales de agua potable, ya sea por presencia de animales muertos, vaciamiento

¹¹ Galería de infiltración: se trata de un tipo de captación semejante a un dren, pero construida a mayor profundidad, tal como el túnel, con pequeñas aberturas en los muros, para que penetre el agua subterránea.

Tabla 3.5
Desperfectos en la red de distribución de agua potable - Terremoto Chile 1985 (Ms=7.8)

Diámetro (mm)	Asbesto - Cemento		Hierro Fundido		P.V.C		Acero		Hierro Galvanizado	
	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio	Gran Valparaíso	Provincia San Antonio
50	49	24	72	7	-	2	-	-	20	2
75	239	51	29	5	4	4	-	-	2	-
100	298	81	23	15	7	31	18	2	1	-
125	18	9	-	18	-	-	-	-	-	-
150	61	15	8	5	5	8	1	-	-	-
200	32	20	4	3	-	1	-	11	-	-
225	-	-	14	-	-	-	-	-	-	-
250	4	12	-	1	-	-	-	-	-	-
400	-	3	-	8	-	-	3	3	-	-
500	-	-	1	-	-	-	-	14	-	-
600	-	-	-	-	-	-	27	2	-	-
700	-	-	-	-	-	-	14	-	-	-
Total	701	215	151	62	17	46	63	32	23	2
Porcentaje de la red por material										
Material	Gran Valparaíso		Provincia de San Antonio		Material					
Asbesto Cemento	55		72		Asbesto Cemento					
Hierro Fundido	30		19		Hierro Fundido					
P.V.C	7		2		P.V.C					
Acero	6		6		Acero					
Hierro Galvanizado	2		1		Hierro Galvanizado					
Total	100%		100%		Total					

Fuente: "Terremoto, Marzo 1985, ESVAL: Una Experiencia", Andrade Adolfo., Seal George. 6º Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1985.
Obs: La Provincia de San Antonio y Gran Valparaíso, estaban ubicadas en zona epicentral para el Terremoto de 1985.

Tabla 3.6
Tipos de desperfecto por material en la red de agua potable - terremoto Chile 1985
(zona Gran Valparaíso y provincia de San Antonio)

Asbesto Cemento	%	Hierro Fundido	%
Uniones	10	Emplomadura	75
Corte Transversal	80	Corte	15
Corte Longitudinal	10	Perforaciones	10
Total	100	Total	100
Galvanizado	%	Acero	%
Corte Transversal	50	Soldadura Uniones	50
Perforaciones	50	Perforaciones(*)	50
Total	100	Total	100

Fuente: "Terremoto, Marzo 1985. ESVAL: Una Experiencia", Andrade Adolfo., Seal George.
 6° Congreso Chileno de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 1985.

(*) Tubería debilitadas por corrosión

Obs: Las tuberías de P.V.C el 100% de las fallas se dieron en las uniones

de petróleo, productos industriales o tóxicos en las aguas, causados por el sismo. Este puede ser uno de los efectos más graves del terremoto por riesgos sanitarios en gran escala que puede implicar. En estos casos habrá que buscar, con extrema urgencia, fuentes alternativas de abastecimiento y construir (o habilitar si existen) nuevas obras de captación de agua potable y de conducción de las mismas, si el caso lo requiere.

Tabla 3.7
Desempeño de las partes de un sistema de aducción de gas bajo sismos¹²

Componente	Desempeño
Tuberías de acero soldado	Si no hay corrosión es poco probable que sufran daño por paso de ondas. Zonas críticas son aquellas de cambio de suelos, cruce de fallas, suelos inestables, conexiones a estructuras rígidas o a otras tuberías. Pueden ser diseñadas para resistir desplazamientos permanentes importantes.
Tuberías de PVC	Pocas experiencias aún. Su ductilidad y baja fricción con el suelo, permiten adelantar que son poco vulnerables. Su resistencia a desplazamientos permanentes es menor que la del acero, pero mayor que la de otras tuberías con juntas.
Estructuras de soporte	La acción sísmica se puede exarcerbar, por ejemplo, en cruces de ríos, paso de autopistas, zonas inundables.
Elementos de almacenamiento	Almacenado bajo tierra (cavernas) o en campos de gas (roca permeable) poco probable que sufran daños; resultan más vulnerables los tanques superficiales.
Medidores de servicio	Adyacentes a los edificios se han dañado por torceduras de miembros o colapso de mampostería.
Tanques de gas natural líquido (no presurizado a-260° F)	Generalmente son los mejor diseñados. Elementos críticos son: fundaciones, interacción suelo-estructura, rigidez al corte y oleaje en el tanque.

¹² Se hace mención a sistemas de aducción de gas debido a su similitud con los de agua potable, especialmente en lo que respecta a las tuberías de conducción de ambos sistemas.

Como ejemplo, para la evaluación de los daños estimados a causa de las acciones sísmicas, se debe prestar especial atención a la estabilidad de los terrenos de fundación incluyendo los puntos descritos anteriormente. La modelación de componentes debe ser representativa de la eventual interacción con otros componentes que puedan modificar su respuesta dinámica bajo las acciones vibratorias del terreno. A modo de ilustración, en las Tablas 3.5, 3.6 y 3.7 se da una síntesis sobre el desempeño esperado en sistemas de tuberías bajo la acción de sismos intensos.

A modo de resumen, entre los efectos esperados en caso de sismos en los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

- Destrucción total o parcial de las estructuras de la captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
- Rotura de las tuberías de conducción y distribución y daños en las uniones, entre tuberías o con los tanques, con la consiguiente pérdida de agua.
- Interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso.
- Modificación de la calidad del agua por deslizamientos.
- Variación (disminución) del caudal en captaciones subterráneas o superficiales.
- Cambio del sitio de salida del agua en manantiales.
- Daños por inundación costa adentro por impacto de tsunamis.

Huracanes

Para la caracterización de los huracanes, se dispone de información de varios niveles de complejidad, cuya utilización dependerá del tipo de estudio que se desee elaborar. Los tipos más comunes de datos sobre esta amenaza son las siguientes:

- Evaluación de la amenaza de vientos huracanados: Se basa en la información histórica disponible. Por ejemplo, la Comisión de Huracanes del Colegio de Ingenieros y Agrimensores de Puerto Rico (1996) trata sobre los huracanes que presentan mayor peligro, que son los que se originan al este de las Antillas Menores. En la Tabla 3.8 se anotan huracanes importantes que afectaron Puerto Rico a lo largo del último siglo.

De acuerdo a esta Tabla, el área de Puerto Rico ha sido afectada prácticamente por un huracán importante cada década.

Tabla 3.8
Huracanes que han afectado Puerto Rico entre 1893 y 1996

Evento	Fecha
San Roque	16 de Agosto de 1893
San Cariaco	8 de Agosto de 1899
San Felipe II	13 de Septiembre de 1928
San Nicolás	10 de Septiembre de 1931
San Ciprián	26 de Septiembre de 1932
Santa Clara (Betsy)	12 de Agosto de 1956
Hugo	18 de Septiembre de 1989
Marilyn	16 de Septiembre de 1995
Hortense	9-10 de Septiembre de 1996

- **Mapas de zonificación:** El potencial de daños está directamente relacionado a la velocidad del viento y a las alturas de las olas ciclónicas. Estos parámetros se encuentran sintetizados en la Escala de Saffir-Simpson¹³, y las 5 categorías que establece esta escala se presentan en la Tabla 3.9.
- **Fuerzas sobre las edificaciones:** En las normas de diseño y construcción se establecen procedimientos para determinar las solicitaciones en las diferentes partes de una edificación. En cualquier caso, para determinar las solicitaciones debidas al viento las normativas establecen velocidades patrón o básicas, cuya caracterización no siempre es la misma. La Tabla 3.10 ilustra las diferencias de criterio entre una muestra de países de la región.

Tabla 3.9
Escala de Saffir-Simpson

Categoría Saffir-Simpson	Máxima velocidad sostenida del viento		Altura de ola ciclónica (m)	Daño potencial
	(m/seg.)	(km./hora)		
1. Débil	32,7 - 42,6	118 - 153	1,0 a 1,7	Menor
2. Moderado	42,7 - 49,5	154 - 178	1,8 a 2,6	Moderado
3. Fuerte	49,6 - 58,5	179 - 210	2,7 a 3,8	Extenso
4. Muy fuerte	58,6 - 69,4	211 - 250	3,9 a 5,6	Extremo
5. Devastador	≥ 69,5	≥ 251	≥ 5,7	Catastrófico

Tabla 3.10
Comparación de criterios empleados en la definición de la velocidad básica del viento con fines de diseño ¹⁴

País	Duración del registro	Velocidades equivalentes aproximadas (millas/hora)			
		1	2	3	4
Canadá	1 hora	120	113	91	79
Caribe (CUBIC)	10 minutos	127	120	96	84
Venezuela	78 segundos	158	149	120	105
Barbados	3 segundos	181	171	137	120

- **Marejada ciclónica:** Se denomina así a un aumento del nivel del mar y sus efectos sobre la costa debido a la disminución de la presión atmosférica asociada al paso del ojo del huracán y a los vientos fuertes. Tan pronto el huracán entra a un área costera, el nivel del agua aumenta considerablemente pudiendo alcanzar los 4 metros de altura; los vientos fuertes pueden incrementar estas alturas hasta 6 metros. Este fenómeno tiene un gran poder destructor en zonas costeras de baja elevación y densamente pobladas.
- **Efectos en el terreno:** La intensidad de precipitaciones asociadas con un huracán, es fuente potencial de inundaciones y de inestabilidad de taludes.

¹³ Simpson, R.H. The hurrican disaster potential scale. Weatherwise, 27, 169-186, 1974.

¹⁴ OPS, Disaster mitigation guidelines for hospitals and other health care facilities (Vols. 1-4) Washington, D.C., 1992

Cálculo de la vulnerabilidad y tipificación de los componentes

La vulnerabilidad a vientos huracanados está muy influenciada por el tipo de construcción y puede ser estimada verificando si los elementos de la infraestructura cumplen o no con la aplicación de las normativas vigentes.

Cálculo de la vulnerabilidad física del sistema

De una manera general, se seguirán las indicaciones presentadas para el caso del evento sísmico.

Un recorrido minucioso por todas las estructuras del sistema facilitará la identificación de situaciones de riesgo a los huracanes, tales como captaciones superficiales que periódicamente son barridas por las correntadas y que pueden ser sustituidas por tomas más seguras como galerías y tomas de fondo; anclajes y soportes de pasos sobre cursos de agua ubicados prácticamente dentro de los cauces y con alturas insuficientes que hacen que las correntadas los destruyan; tuberías que discurren en las riberas de los ríos o cauces de agua muy cercanas al cauce sin protecciones. Este recorrido e identificación de situaciones de riesgo deberá constituir la primera etapa del análisis y se debería tener presentes aspectos tales como:

- **Influencia de la topografía:** La intensidad de los vientos huracanados puede ser modificada por la topografía del área adyacente al sitio de interés:
 - a) valles con pendientes suaves pueden incrementar la velocidad media del viento por efectos de entubamiento;
 - b) valles profundos, encerrados suministran protección a los efectos del viento;
 - c) bosques densos, rodeando el sitio de interés, pueden reducir la intensidad de los vientos.
- **Suministro de energía:** Se debe evaluar la vulnerabilidad de las líneas de alta tensión, porque la experiencia ha demostrado que son altamente vulnerables a las ráfagas de viento y pueden ocurrir interrupciones en el suministro de energía.
- **Cursos de agua:** Los cursos de agua tienen especial importancia ya que pueden ser afectados por crecidas, con lo cual: (a) se alteran los niveles de inundación esperados; (b) se pueden dañar o romper tuberías; (c) se puede exceder la capacidad de los drenajes existentes, y (d) aumenta el nivel de turbidez de los afluentes.
- **Drenajes:** El tipo de drenajes tiene un efecto significativo en el desempeño esperado del sistema. Los sistemas cerrados, que emplean tuberías, son más susceptibles de quedar bloqueados y el



José Grases, 1997

Algunos componentes de los sistemas de agua potable y alcantarillado requieren estudios específicos para evaluar su vulnerabilidad, en donde se deben privilegiar aquellos componentes que puedan llegar a afectar la continuidad, calidad o cantidad del servicio.

mantenimiento es más dificultoso. Este aspecto debe ser evaluado de modo adecuado, pues no hay sistemas de drenajes que funcionen bien si no están bien mantenidos; esta falta de previsión ha sido el causante de graves inundaciones en zonas urbanas.

- **Contaminación:** Como consecuencia de las inundaciones y/o bloqueo de drenajes, es mayor el riesgo de contaminación de ríos, quebradas y pozos, así como de daños en áreas inundables como las de almacenamiento de productos.
- **Daños a la infraestructura:** Es preciso tener presentes los eventuales efectos destructores en estructuras aledañas a cursos de crecientes potenciales como puentes, vías de acceso, desarenadores, tuberías, y otros, debido al impacto de las corrientadas.

Efectos generales de los huracanes

Los efectos del viento, propiamente tal, pueden causar daños principalmente a obras sobre el nivel del suelo. El riesgo de daños aumenta en relación directa con la altura de las obras y con la superficie expuesta al viento. Los daños dependen de la resistencia al viento con que hayan sido construidas las obras.



Osorio, 1997

Las grandes precipitaciones acompañadas de arrastres de sedimentos, que se presentan con los huracanes, pueden ser más destructivos en los sistemas de agua potable y alcantarillado que los propios vientos.

Daños producidos por huracanes

Los edificios, viviendas, casas de máquinas de los sistemas de agua potable y alcantarillado tendrán un comportamiento semejante a las construcciones similares de otros sectores.

- **Estanques elevados.** Si el viento es lo suficientemente fuerte podría derribar uno o más estanques y causar, en forma secundaria, daños derivados del vaciamiento brusco del volumen de agua almacenada (que puede ser de varios miles de m³), además del daño producido por el propio derrumbe de la estructura de cañerías de conexión y en las instalaciones aledañas.

Por otra parte, si la estructura misma tiene suficiente resistencia o si los vientos no son tan fuertes, se podrían producir daños a las instalaciones anexas al estanque, como por ejemplo, escalas de acceso, barandas de protección, o a las propias cañerías que llegan y salen del estanque. Entre los daños más probables destacan los ocasionados a:

- los estanques del servicio público de abastecimiento de agua potable de pueblos y ciudades –que probablemente son los de mayor volumen almacenado;
- los estanques de industrias, mercados, escuelas, etc. de tamaño intermedio;
- a los de uso doméstico, cuando los hay a nivel de vivienda, que usualmente son pequeños.

En general, los daños debidos a este tipo de fenómenos, son los siguientes:

- Daños parciales o totales en las instalaciones, puestos de mando y otras edificaciones de la empresa, tales como rotura de vidrios, techos, inundaciones, etc., debido a la fuerza de los vientos.
- Roturas de tuberías, en pasos expuestos, tales como ríos y quebradas, debido a correntadas.
- Roturas y desacoples de tuberías en zonas montañosas por deslizamientos de tierra y correntadas de agua.
- Roturas y daños en las tapas de los tanques elevados y asentados sobre terreno.
- Contaminación de agua en los tanques y tuberías.
- Roturas de tuberías y falla de estructuras por asentamientos del terreno, debido a inundaciones.
- Daños en sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, ocasionando la interrupción en la operación de equipos, instrumentos y medios de comunicación.

Inundaciones

Generalidades

Las inundaciones son fenómenos naturales que tienen como origen la lluvia, el crecimiento anormal del nivel del mar, la fusión de la nieve en gran volumen o una combinación de estos fenómenos. La precipitación que cae en una zona determinada es el resultado de una serie de factores que influyen sobre la lluvia, tales como:

- La latitud: de manera general se puede indicar que la precipitación disminuye con la latitud porque la disminución de la temperatura hace decrecer la humedad atmosférica.
- Distancia a la fuente de humedad: mientras más cercana se encuentre la zona a fuentes de humedad como mar, lagos, entre otros, existirá mayor posibilidad de lluvias.
- Presencia de montañas: el ascenso orográfico favorece la precipitación. Así, en una cadena montañosa ocurren precipitaciones más pesadas o intensas en las laderas expuestas a los vientos, cayendo sólo trazas de lluvia en la ladera no expuesta de las montañas.

Factores que afectan la escorrentía en una cuenca

Los factores más relevantes son los siguientes:

Factores climáticos

- Precipitación: forma (lluvia, granizo, nieve, etc.), intensidad, duración, distribución en el tiempo, distribución en el área, precipitaciones anteriores, humedad del suelo.
- Intercepción: tipo de vegetación, composición, edad y densidad de los estratos, estación del año y magnitud de la tormenta.
- Evaporación: temperatura, viento, presión atmosférica, naturaleza y forma de la superficie de evaporación.
- Transpiración: temperatura, radiación solar, viento, humedad y clase de vegetación.

Factores fisiográficos

- Características de la cuenca: geométricas, tamaño, forma, pendiente, orientación y dirección.
- Físicas: uso y cobertura de la tierra, condiciones de infiltración, tipo del suelo, condiciones geológicas como permeabilidad y capacidad de formaciones de aguas subterráneas, condiciones topográficas como presencia de lagos, pantanos y drenajes artificiales.

- Características del canal y capacidad de transporte: tamaño, forma, pendiente, rugosidad, longitud y tributarios.
- Capacidad de almacenamiento: curvas de remanso.

Variación y patrones de precipitación

Desde el punto de vista de la planificación para la atención de emergencias y desastres es importante la variación de las lluvias en el tiempo o determinación de los períodos de mayor incidencia de lluvias y por consiguiente de mayores riesgos. Los patrones de lluvia, combinados con otros factores como características de los suelos, condiciones topográficas y geológicas, áreas de la cuenca, determinan la cantidad de lluvia que formará la escorrentía.

Evaluación de la amenaza y mapas de riesgos

La evaluación de la amenaza consiste en determinar las áreas de inundación y los cauces afectados con sus parámetros de caracterización: tiempo de duración del fenómeno, escorrentía y niveles máximos probables. Esta información se debe verter sobre mapas del área para elaborar el mapa de riesgos a inundaciones. Es usual que las instituciones de defensa civil, universidades e institutos meteorológicos tengan estos mapas de riesgos. La superposición de estos mapas con los planos del sistema de abastecimiento de agua potable indicará las estructuras propensas a ser afectadas.

Efectos generales de las inundaciones

En general, la magnitud de los daños estará relacionada con:

- ◆ el nivel que alcanzan las aguas en la inundación, la violencia y rapidez con que se produzca, y el área geográfica que cubra;
- ◆ la calidad del diseño y construcción de las obras, en cuanto a haber o no considerado y adoptado precauciones para un cierto nivel de inundación previsto;
- ◆ la calidad del terreno donde se sitúan las obras en cuanto a su capacidad de resistir o no la erosión que pueden provocar las inundaciones así como la calidad de los terrenos adyacentes a las obras en cuanto al riesgo de derrumbes o deslizamientos de tierras que podrían provocar lluvias torrenciales o persistentes.



José Graeses, 1997

Las tuberías de conducción sobre ríos y quebradas deben estar diseñadas para los aumentos previstos de caudal.

Contaminación del agua potable por inundaciones

Entre los daños que pueden provocar los desastres naturales, el riesgo más serio y grave, por sus consecuencias es la contaminación en gran escala del agua potable. En esta situación muchas enfermedades usualmente asociadas a la falta de higiene pueden adoptar formas de enfermedades de origen hídrico y afectar a gran parte de la población. Dichas enfermedades incluyen la tifoidea y el cólera, donde son endémicas, y además la disentería bacilar y la amibiana, la hepatitis infecciosa y las gastroenteritis. El grave riesgo de aparición de estas enfermedades hacen de primera importancia los métodos de tratamiento del agua con sustancias químicas de esterilización (como el cloro, por ejemplo) o la conveniencia de hervir el agua de consumo humano. La contaminación del agua potable y del suelo puede asumir diversas formas:

- Contaminación de las fuentes superficiales de agua potable, por arrastre de animales muertos a las cercanías de las tomas, por aumento excesivo de la turbidez del agua, o por arrastre de otro tipo de sustancias tóxicas o contaminantes.
- Contaminación de las fuentes de aguas subterráneas cuando el nivel de inundación sobrepasa la altura del brocal de los pozos y se vierte directamente sobre pozos u otras captaciones.
- Al subir el nivel del agua en los ríos o cuerpos de agua donde desaguan los alcantarillados sanitarios y pluvial, se puede producir el reflujo de las aguas servidas, escurriendo hacia atrás por las alcantarillas e inundando con aguas servidas tanto el interior de viviendas y pisos bajos de los edificios como las vías públicas. En las viviendas ocurre a través de los propios artefactos sanitarios y piletas; en las calles, a través de las cámaras de inspección y de los sumideros de aguas lluvias. (si en los diseños y construcción de los desagües se hubiera considerado la instalación de válvulas de retención, se podría evitar este tipo de reflujo, pero ello es raro en los países de la región).
- Si los combustibles se mezclan con la inundación, será más difícil encontrar como hervir el agua contaminada para esterilizarla.

Daños por inundaciones

- Cañerías e instalaciones anexas: Los posibles daños a cañerías y sus instalaciones anexas, tales como cámaras y válvulas de diverso tipo, pueden ser los siguientes:
 - Erosionar los suelos y por ende, desenterrar, desplazar e incluso llevarse, tramos de tuberías.
 - Hacer subir el nivel del agua subterránea y, debido al empuje, hacer flotar tuberías y cámaras, sacándolas de sus ubicaciones originales. Esto puede producir, además, rupturas diversas en las instalaciones.
 - Arrastre y pérdida total de tramos de tubería.
- Estanques semi-enterrados: Estos estanques usualmente están ubicados en terrenos altos, de modo que los daños raramente ocurren, sin embargo se ha podido observar daños tales como:
 - Erosión de fundaciones, determinando grietas y/o derrumbe parcial de estanques sobre todo si son de mampostería que de hormigón armado).
 - Un estanque, si tiene gran parte de su cuba bajo el nivel del suelo, puede ser impulsado a flotar por una inundación combinada con alto nivel de la napa freática (lo que es muy probable, en ciertos terrenos a causa de lluvias prolongadas). El riesgo es mayor si el estanque no está lleno de agua.

- Equipos de bombeo e instalaciones eléctricas:
 - Si el nivel de inundación es suficiente puede producir daños al mojar motores eléctricos, moto-bombas, arrancadores o tableros de comando eléctrico de diverso tipo.
 - También es posible que se produzca la caída de líneas de baja o alta tensión, debido a erosión en la base de las postaciones, originando con ello daños, —en las líneas eléctricas de alta o baja tensión; —en los tableros eléctricos; y —en las subestaciones.
- Obras de toma, represas y construcciones ubicadas sobre el nivel del suelo: Si las fuerzas dinámicas de la inundación son suficientemente fuertes y no hay protecciones contra sus efectos, podría producirse erosión en el entorno de cualquier obra de este sector ubicada en las zonas donde la inundación es más violenta y que, además, están a una cota más baja que el nivel de la inundación. Las condiciones señaladas pueden afectar especialmente a construcciones tales como: obras de toma y obras complementarias a ellas como, por ejemplo, canales y conducciones de agua, casas de máquinas diversas, plantas de tratamiento, etc. los que debieran evaluarse por separado.
- Represas y Embalses: Es evidente la situación de alto riesgo de las represas y embalses situados en el curso de un río afectado por la crecida que está causando la inundación. Las represas diseñadas y construidas para el abastecimiento de agua potable son vulnerables a las inundaciones, especialmente si cuentan con escasa capacidad de rebosamiento. Además, si los vertederos y compuertas de desagüe son insuficientes, hay riesgo no sólo de que ocurran grandes daños, sino incluso de destrucción o colapso de la represa con el peligro consiguiente de generar un nuevo desastre y enormes pérdidas adicionales causadas por la avalancha del agua almacenada.

En resumen los principales efectos de las inundaciones que afectan a los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado son:

- Destrucción total o parcial de captaciones localizadas en ríos o quebradas.
- Azolve y colmatación de componentes por arrastre de sedimentos.
- Pérdida de captación por cambio del cauce del río.
- Rotura de tuberías expuestas en pasos de quebradas y/o ríos.
- Rotura de tuberías de distribución y conexiones en las áreas costeras debido al embate de marejadas y en áreas vecinas a cauces de agua.
- Contaminación del agua en las cuencas.
- Daño de equipos de bombeo al entrar en contacto con el agua.
- Colateralmente hay impactos indirectos como la suspensión de energía eléctrica, corte de caminos y comunicaciones.

Deslizamientos

Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predicción, rapidez de ocurrencia, y área afectada. Sin embargo, existen ciertos parámetros que ayudan a identificar y reconocer áreas potenciales de fallas, lo cual permite el tratamiento del talud para así eliminar o reducir a un mínimo el riesgo de falla. Es usual, por ejemplo, que la inspección de las líneas de conducción y obras componentes de un sistema se inicie por vía aérea, y el análisis aerofotogramétrico de las áreas adyacentes de la instalación, a escalas del orden de 1:25000 a

1:50000, permitan descubrir evidencias importantes sobre grandes deslizamientos en curso, los cuales deberán ser evaluados con posterioridad en el sitio.

Antecedentes históricos

El conocimiento de la ocurrencia de deslizamientos en el pasado en el área de interés constituye un buen punto de partida para la detección y evaluación de potenciales deslizamientos en el futuro. En general, las áreas donde estos fenómenos ya han ocurrido en el pasado son altamente susceptibles a que los mismos se repitan. Entre las fuentes de información para conocer sobre deslizamientos en el pasado, están las reseñas de deslizamientos publicados en periódicos locales, revistas nacionales o internacionales especializadas en el tema, mapas de zonificación de casos ocurridos de inestabilidad geológica, inventarios de riesgos geológicos, entre otros.

Geología de la región

La geología representa un factor primordial en la estabilidad de un talud y existen muchos factores geológicos que ilustran el potencial del deslizamiento de taludes.

A nivel regional, la geología controla los aspectos genéricos del relieve y la topografía de un área lo cual permite estimar su susceptibilidad al movimiento. En general, los deslizamientos



José Graeses, 1997

Zonas inicialmente estables, pueden volverse inestables con la construcción de infraestructura, deforestación u otras razones.

pueden ocurrir en cualquier tipo de relieve si las condiciones están dadas. Sin embargo, la experiencia de trabajar y observar distintos tipos de terrenos ha demostrado que los deslizamientos son mas comunes en ciertos tipos de geografía y menos comunes en otros. Una breve descripción de las características de estos relieves se incluye a continuación.

- **Taludes escarpados:** En terrenos escarpados los deslizamientos pueden ocurrir en cualquier tipo de material geológico. Sin embargo, la causa mas común de un gran número de derrumbes que ocurren en taludes escarpados es el deslizamiento a lo largo de la zona de contacto de la roca con suelos residuales o coluviales.
- **Acantilados y bancos bajo la acción de corrientes de quebradas:** En acantilados y bancos objeto de ataque por corrientes de quebradas los deslizamientos son comunes. Si el banco está constituido por suelos o materiales no consolidados, el punto de deslizamiento mas débil está ubicado en el máximo punto de curvatura de la quebrada y es en este punto donde se recibe el mayor impacto del agua.
- **Áreas de concentración de drenaje y filtración:** Un estudio cuidadoso de la red de drenaje y áreas de concentración de agua es extremadamente importante. Filtraciones con el subsecuente

deslizamiento es probable que ocurra en áreas debajo de reservorios, canales de irrigación o depresiones con agua estancada. La importancia de reconocer el peligro potencial en áreas derivadas de drenaje superficial, especialmente en rocas porosas y fracturadas, necesita especial énfasis.

- **Áreas de terreno ondulado:** La presencia de terreno ondulado (pequeñas elevaciones o montículos) cuyas características sean inconsistentes con aquellas de los taludes generales del área y presentan escarpas en las elevaciones altas, son generalmente indicadores de un deslizamiento antiguo. Una vez que se encuentra un deslizamiento antiguo, sirve como advertencia de que el área en general ha sido inestable en el pasado y por lo tanto nuevas perturbaciones pueden reactivar el movimiento.
- **Áreas de concentración de fracturas:** El movimiento de taludes puede estar estructuralmente controlado por superficies o planos de debilidad tales como fallas, diaclasas, planos de deposición y foliación. Estas estructuras pueden dividir un macizo rocoso en una serie de unidades individuales las cuales pueden actuar independientemente una de la otra.

Topografía y estabilidad

Los mapas de topografía representan una excelente fuente de información para la detección de deslizamientos. Con frecuencia grandes áreas de deslizamiento se pueden identificar en mapas topográficos, mediante el análisis de condiciones particulares.

Pluviosidad

La pluviosidad tiene un efecto primordial en la estabilidad de taludes ya que influencia la forma, incidencia y magnitud de los deslizamientos. En suelos residuales, los cuales generalmente se encuentran no saturados, la pluviosidad tiene un efecto muy importante ya que el efecto acumulativo puede llegar a causar la saturación del terreno activando así un deslizamiento. Con respecto a la pluviosidad hay tres aspectos importantes:

- El ciclo climático sobre un período de años, por ejemplo, alta precipitación anual vs baja precipitación anual;
- La acumulación de pluviosidad en un año dado, en relación a la acumulación normal;
- Intensidades de una tormenta dada.

Erosión

La erosión puede ser causada por agentes naturales y humanos. Entre los agentes naturales se pueden incluir: el agua de escorrentía, aguas subterráneas, olas, corrientes y viento. La erosión causada por agentes humanos incluye cualquier actividad que permita un incremento de la velocidad del agua, especialmente en taludes sin protección; entre los principales está la tala de árboles, el sobrepastoreo y la presencia de ciertos tipos de vegetación que no permiten mantener el suelo en sitio.

La erosión puede causar la pérdida de soporte de fundación de estructuras, pavimentos, rellenos y otras obras de ingeniería. En terrenos montañosos, la erosión incrementa la incidencia en la inestabilidad de taludes pudiendo resultar en la pérdida de vías u otras estructuras.

Licuefacción debido a sismos

La falla de taludes y licuefacción de suelos constituyen uno de los principales efectos causados por

los sismos, que puede afectar de modo desfavorable obras hechas por el hombre generando grandes pérdidas materiales y hasta humanas. La gran mayoría de las fallas de taludes durante sismos se deben al fenómeno de licuefacción en suelos no-cohesivos. Sin embargo, fallas en suelos cohesivos también han sido observadas durante eventos sísmicos.

Tipos más importantes de deslizamientos

Los principales factores que influyen en la clasificación de los deslizamientos son:

- forma del movimiento
- forma de la superficie de falla
- coherencia de la masa fallada
- causa de la falla
- desplazamiento de la masa
- tipo de material
- tasa de movimiento

Desprendimientos

Son fallas repentinas de taludes verticales o casi verticales en las cuales se produce el desprendimiento de un bloque o múltiples bloques, los cuales descienden en caída libre. El volcamiento de bloques de rocas, generalmente desencadena un desprendimiento.

En suelos, los desprendimientos son causados por socavaciones de taludes debido a la acción de la erosión de quebradas o del hombre. En macizos rocosos son causados por socavación debido a la erosión, un incremento de la presión debido a la presencia de agua. En algunos casos los desprendimientos son el resultado de meteorización diferencial.

Los desprendimientos o caídas son relevantes en este tipo de sistema debido a que se trata de la caída de un bloque o varios bloques, los cuales pueden ocasionar daños a estructuras o a otros taludes que se encuentren en la parte inferior.

Derrumbes planares

Los derrumbes planares consisten en el movimiento de uno o más bloques de suelo o roca a lo largo de una superficie de falla plana bien definida. Estos derrumbes pueden ocurrir de una forma lenta a rápida.

Los deslizamientos en bloque pueden ser destructivos. En regiones montañosas los deslizamientos masivos de roca resultan desastrosos especialmente en períodos lluviosos, y en muchos casos no pueden ser prevenidos.

Derrumbes rotacionales

Los derrumbes rotacionales tienden a ocurrir lentamente, en forma de cuchara, y el material comienza a fallar por rotación a lo largo de una superficie cilíndrica; aparecen grietas en la cresta del área inestable y abombamientos al pie de la masa deslizante. Al finalizar, la masa se ha desplazado sustancialmente dejando un escarpe en la cresta.

La principal causa de este tipo de falla es un incremento en la inclinación del talud, meteorización y fuerzas de filtración. Las consecuencias de este tipo de falla generalmente no son catastróficas, a pesar de que el movimiento puede causar severos daños a estructuras que se encuentren en la masa

deslizante o sus alrededores. Cuando se presentan algunos signos tempranos de falla los taludes pueden ser estabilizados.

Desprendimiento lateral

Las fallas por desprendimiento lateral son una forma de falla planar que ocurre en suelos y rocas. La masa se deforma a lo largo de una superficie plana la cual representa una zona débil, los bloques se separan progresivamente por tensión y retroceden.

Este tipo de falla es común en valles de ríos y se asocia también a arcillas firmes y duras fisuradas, lutitas y estratos con buzamiento horizontal con una zona continua de debilidad. También se presenta en coluvios con pendientes suaves los cuales se encuentran sobre suelos residuales o rocas.

Avalanchas

Las avalanchas son el movimiento rápido de escombros de suelo y roca, el cual puede o no comenzar con la ruptura a lo largo de una superficie de falla, especialmente en presencia de agua. Toda la vegetación, el suelo y la roca suelta pueden ser arrastrados. Las principales causas de avalanchas son: las altas fuerzas de filtración, alta pluviosidad, derretimiento de nieve (Nevado del Ruiz, 1985), sismos y cedencia gradual de los estratos de roca. Las avalanchas ocurren de manera brusca sin previo aviso y generalmente son impredecibles. Los efectos han llegado a ser desastrosos sepultando extensas áreas al pie del talud, llegando a perturbar las cuencas naturales de drenaje (véase: CEPIS/OPS/OMS, 1996).¹⁵

Repteo

El repteo consiste en un lento e imperceptible movimiento o deformación del material de un talud a bajos niveles de esfuerzos, lo cual generalmente sólo afecta a las porciones más superficiales del talud aunque también puede afectar a porciones profundas en aquellos casos donde exista la presencia de un estrato poco resistente. El repteo es el resultado de la acción de fuerzas de filtración o gravitacionales y es un indicativo de condiciones favorables para el deslizamiento.

Efectos generales de los deslizamientos

Dependiendo de la magnitud de los deslizamientos, los daños pueden ser muy serios, pudiendo quedar enterrado todo el sistema y la ciudad como en el caso de la avalancha de Yungay, Perú en 1970. La magnitud del impacto de los deslizamientos depende principalmente del volumen de la masa en movimiento y de la velocidad de la misma, pero también de la extensión de la zona inestable y de la disgregación de la masa en movimiento.

Los deslizamientos más comunes son: la caída de rocas desde los escapes de macizos rocosos muy fracturados, los deslizamientos de tierra en laderas y taludes, los flujos y avalanchas de lodo y escombros que pueden transitar grandes distancias por valles y cauces, y la reptación de laderas que puede abarcar grandes superficies. Las caídas de rocas, flujos y avalanchas afectan solamente a las obras dispuestas en la superficie, mientras que los deslizamientos afectan también los elementos enterrados. Los más peligrosos son los fenómenos de aparición repentina y movimiento con altas velocidades (caídas de rocas, flujos y avalanchas). Los deslizamientos generalmente presentan signos precursores (grietas, ondulaciones del terreno, etc.) y pueden ser de aparición repentina o lenta con velocidades muy gran-

¹⁵ Estudio de Caso. Terremoto del 22 de Abril de 1991, Limón, Costa Rica . OPS/CEPIS/OMS Pub/96.23, Lima, 177p..

des o pequeñas. La reptación involucra solamente la parte muy superficial de los suelos y es muy lenta.

Daños producidos por los deslizamientos

- **Captación** . Los elementos de captaciones superficiales (azudes, derivaciones, compuertas) ubicados en zonas montañosas pueden quedar



José Grases, 1997

Las vías de acceso a los sistemas pueden obstruirse por deslizamientos locales, lo cual impide y retarda la inspección de los componentes en caso de desastre.

enterrados o ser arrastrados por el impacto de flujos, avalanchas y deslizamientos. Las represas de tierra o escollera construidas para abastecimiento de agua pueden fallar por deslizamiento de sus taludes o por overtopping provocado por deslizamientos en el embalse. Un daño importante se refiere a la contaminación del agua por aumento de la turbidez, debido a deslizamientos en las áreas de captación superficial de zonas montañosas. Este daño llega a ser de gran magnitud en el caso de deslizamientos provocados por sismos o lluvias excepcionales, pues las áreas devastadas llegan a ser muy grandes. En el terremoto de Limón, Costa Rica (22 de abril de 1991), se afectaron varias cuencas por deslizamientos con porcentajes de devastaciones no menores al 30%. En solamente una de ellas esto significó 8000 hectáreas devastadas, y en otra que servía como la principal fuente de abastecimientos del sistema de agua potable de la ciudad de Limón, se detectaron hasta 27 deslizamientos que provocaron un aumento inesperado en los niveles de turbiedad del agua, nivel que iba más allá de la capacidad de la planta de tratamiento, lo cual hizo necesario sacar de operación la toma de aguas por bombeo localizada en el río.¹⁶

- **Daños en la conducción** . El principal daño se refiere al arrastre y destrucción de tramos de tuberías, canales de conducción, válvulas e instalaciones de bombeo ubicados sobre o en el trayecto de deslizamientos, flujos y avalanchas. Si se trata de movimientos lentos el arrastre de la tubería o el canal puede tomar bastante tiempo hasta llega a su ruptura, de tal manera que el tramo puede ser relocalizado. Sin embargo, se debe considerar que las infiltraciones de agua a través de las fisuras formadas en la estructura de los canales aceleran los deslizamientos. En el caso de deslizamientos abruptos la conducción será arrastrada en forma violenta y la destrucción del tramo será total.

Este daño puede ser puntual en el caso de un deslizamiento localizado o restringido a un talud o ladera, o de gran extensión, el caso de deslizamientos provocados por sismos o lluvias excepcionales en zonas montañosas o en zonas planas con terrenos licuables o expansibles. En estos casos las tuberías y canales ubicados en media ladera o hacia las cuchillas de laderas fuertemen-

¹⁶ OPS/CEPIS 23 Estudio de caso: Terremoto del 22 de abril de 1991, Limón, Costa Rica , Lima 1996

te inclinadas, serán los más afectados, al igual que los pasos aéreos sobre ríos y quebradas. También es común en zonas montañosas, la destrucción u obstrucción de canales abiertos y tuberías no enterradas localizadas al pie de escarpes rocosos debidos a la caída de rocas, al igual que las roturas periódicas de la conducción ubicada en zona de macrodeslizamientos.

Las tuberías o canales ubicados hacia el pie de deslizamientos rotacionales son desplazadas y levantadas de su posición original, mientras que las situadas hacia la corona perderán los terrenos de apoyo por el desplazamiento de los mismos. En estos deslizamientos las tuberías ubicadas hacia el pie, están sujetas a compresión y las ubicadas hacia la corona a tensión.

En caso de movimientos lentos o de poco desplazamiento las tuberías flexibles dispuestas en forma sinusoidal son las más adaptables aunque puede desacoplarse en las uniones.

Debido a la longitud generalmente grande de la conducción, los daños por deslizamiento son generalmente más frecuentes que en la captación.



José Grasses, 1997

Las tuberías ubicadas sobre laderas están expuestas a deformaciones y roturas, debido a repteo de laderas y/o deslizamientos.

- **Planta de tratamiento.** Los daños en la planta se ocasionan solamente cuando la misma ha sido ubicada sobre o en la trayectoria de un deslizamiento, flujo o avalanchas, debajo de un escarpe rocoso, al pie de taludes sin protección, en zona de rellenos, o terrenos expansibles o licuables. En caso de flujos y avalanchas las instalaciones quedan llenas de tierra y piedras, por licuación puede ser destruida toda la planta, por deslizamientos lentos y terrenos expansibles los desniveles de la superficie del terreno afectan tuberías, uniones, la cimentación de edificaciones o de generadores de energía eléctrica.

Los efectos esperados con la ocurrencia de deslizamientos en zonas donde se encuentran ubicados los componentes de los sistemas de agua potable y alcantarillado son:

- Destrucción total o parcial de todas las obras en especial de captación y de conducción ubicadas sobre o en la trayectoria principal de deslizamientos activos, especialmente en terrenos montañosos inestables con fuerte pendiente o en taludes muy inclinados o susceptibles a deslizamientos.
- Contaminación del agua en las áreas de captación superficial en zonas montañosas.
- Colateralmente a impactos indirectos como la suspensión del servicio eléctrico, corte de caminos y comunicaciones.

Erupciones volcánicas

Los volcanes son estructuras compuestas de materiales que se acumulan sobre la tierra y tienen un conducto llamado chimenea que comunica la superficie de la tierra con el interior de la corteza terrestre. Este conducto sigue una dirección más o menos vertical y en la boca del mismo se presenta un orificio denominado cráter.

Los volcanes se clasifican por el tipo de erupción que emanan. Por ejemplo, el tipo hawaiano erupción magma fluido constituido por torrentes delgados y a menudo muy extensos de lava fluida. La naturaleza de la actividad depende en gran parte de dos factores: la viscosidad del magma y la cantidad de gases desprendidos. Los gases pueden producirse dentro del magma o ser consecuencia del contacto de ese magma con aguas subterráneas o superficiales que producen vapores. Los materiales de erupción varían desde fuertes torrentes de lava fluida, bombas de materiales incandescentes, nubes ardientes de gases, gases y cenizas de varios tamaños.

Los torrentes de lava que se generan, varían en volumen, extensión, espesor y velocidad de avance. La extensión y espesor depende del volumen, fluidez y la posibilidad de que pueda expandirse o no lateralmente. Estos torrentes dependen de la topografía subyacente pero pueden producirse desviaciones en sus trayectorias por valles poco profundos, especialmente cuando se trata de torrentes más viscosos.

La actividad de erupción de los volcanes puede durar días y hasta años, como el caso del volcán Irazú en Costa Rica que erupción ceniza sobre la ciudad de San José durante dos años.

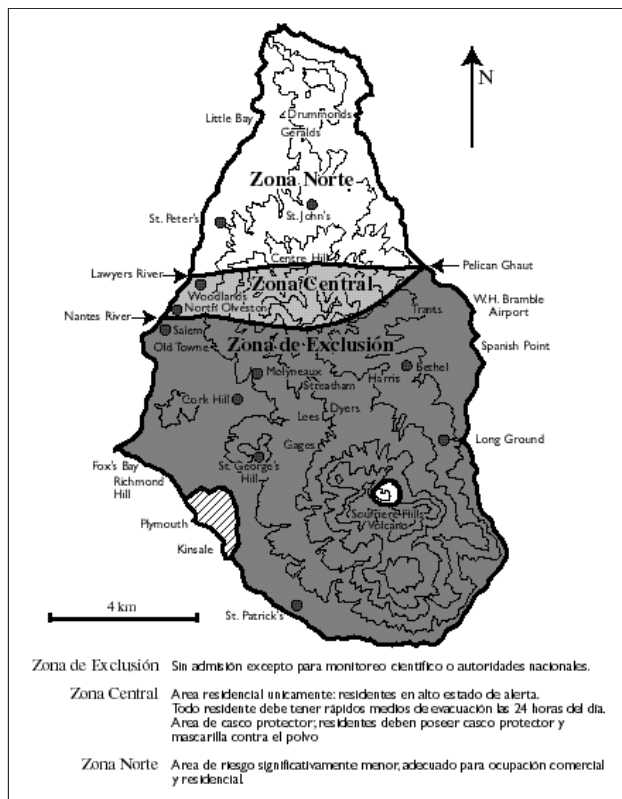
Áreas de impacto

La información sobre las áreas de impacto directo se obtendrán del análisis histórico de ocurrencia de eventos; éstas son aquellas que pueden quedar cubiertas con lava o las afectadas por lluvias ácidas y cenizas, así como los cursos de agua afectados por los mismos materiales. En la Figura 3.11 se reproduce el mapa con las áreas de impacto esperado, en base al estudio prospectivo de erupciones del volcán de la isla de Montserrat.

Evaluación de la amenaza

La evaluación de la amenaza con-

Figura 3.11
Mapa de riesgo volcánico. Isla de Montserrat
(OPS/OMS, 1997a)¹⁷



¹⁷ Vulnerability assessment of the drinking water supply infrastructure of Montserrat Barbados, July, 50p + anexos.

siste en elaborar mapas como el de la Figura 3.11, incorporando los posibles efectos en poblaciones, cursos de ríos, infraestructura, etc.

Recurrencia

En base al registro histórico y prehistórico, se ha constatado que la frecuencia de erupciones puede ser muy errática. Hay volcanes como el Mount St. Helens (USA) o el Chichón (México), en los cuales se han reconocido de 1 a 2 erupciones por década, a diferencia de las grandes erupciones por ejemplo del Mont Peleé en el cual se han identificado 23 grandes erupciones a lo largo de los últimos 84 siglos; de las 5 erupciones post-colombinas de este volcán, las dos últimas han sido destructoras.

Efectos generales de erupciones volcánicas

Una erupción volcánica puede generar desastres “en cadena” cuyas consecuencias pueden ser mayores que los de la propia erupción, y que pueden incluir:

- ◆ efectos sísmicos generados a partir de volcán en erupción;
- ◆ Inundaciones y/o deslizamientos de nieve, tierra o fango producidos por calentamiento del terreno y vibraciones locales.
- ◆ Por otra parte, la erupción propiamente tal puede significar erupción de cenizas, polvo o gases, erupción de rocas o piedras o de lava.

Daños producidos por erupciones volcánicas:

- ◆ Contaminación de las fuentes superficiales de agua potable por depósitos de ceniza, efecto de gases o sustancias tóxicas, por muerte de animales en la cercanía de las obras de toma o en los canales abiertos de conducción del agua captada.
- ◆ La contaminación de las fuentes de aguas subterráneas es relativamente improbable, a menos que la caída de ceniza sea tan abundante y/o contenga materias muy contaminantes, o si entre por la boca de los pozos (si están sin tapas de protección) y ensucie el agua captada.
- ◆ Se puede producir contaminación en plantas de filtros o de tratamiento de agua potable, por caída de ceniza volcánica sobre los estanques de coagulación, decantación o de los filtros, contaminando el agua o inutilizando los filtros con la propia ceniza que puede arrastrar el agua.
- ◆ Contaminación de estanques o depósitos abiertos.
- Cañerías, estanques semi-enterrados e instalaciones anexas. El escurrimiento de lava, si es abundante y de capacidad erodante suficiente, puede producir daños incluso en instalaciones enterradas tales como:
 - cañerías de agua potable o alcantarillados. Podría desenterrar, desplazar, llevarse y/o aplastar cañerías, cámaras y válvulas;
 - estanques semi-enterrados: destrucción parcial o total.
- Obras y edificaciones ubicados sobre el nivel del suelo. La erupción de corrientes de lava, de piedras o grandes rocas que pueden ser lanzadas a gran distancia pueden producir daños en prácticamente cualquier tipo de obras de estos sistemas. Según la violencia de la erupción, la distancia de las obras al foco de ésta y factores aleatorios, los daños en las obras podrán ir desde los leves hasta la destrucción total de cualquiera de ellas.

Los principales efectos de las erupciones volcánicas en los sistemas son:

- Destrucción total de los componentes en las áreas de influencia directa de los flujos, generalmente restringidas al cauce de los drenajes que nacen en el volcán.
- Obstrucción de las obras de captación, desarenadores, tuberías de conducción, floculadores, sedimentadores y filtros, por caídas de cenizas.
- Modificación de la calidad del agua en captación de agua superficial y en reservorios por caída de cenizas.
- Contaminación de ríos, quebradas y pozos en zonas de deposición de los lahares.
- Destrucción de caminos de acceso a los componentes y de las líneas de transmisión de energía eléctrica y de comunicación.
- Incendios.

Sequías

Efectos generales de las sequías.

La sequía, a diferencia de otros desastres naturales, no ocurre de forma súbita, se produce por la falta o insuficiencia de lluvias o nieve durante meses y, a veces, durante años. Sus efectos principales se refieren a la disminución o extinción de fuentes de abastecimiento de agua potable. Los cursos de agua superficial, tales como ríos y esteros, sufrirán usualmente el efecto de la sequía mucho antes que las napas de agua subterránea, debido a dos factores principales:

- ◆ El agua de los cursos superficiales escurre generalmente a velocidades mucho mayores que las del agua subterránea. Esto implica que el agua de origen pluvial o del derretimiento de nieves llegará al mar, por los ríos, mucho más rápidamente¹⁸ que el agua infiltrada al subsuelo. Por lo señalado, el caudal de los ríos es más rápidamente afectado por sequías (o por grandes lluvias) a menos que existan lagos o embalses artificiales que regulen la variación anual del nivel de las lluvias y regularicen el caudal del río correspondiente.
- ◆ El agua subterránea cuenta con dos características muy eficaces para aminorar y postergar el efecto de la sequía (en particular si las características hidrogeológicas son favorables): una gran capacidad de almacenamiento de agua en los poros del terreno permeable y una lenta velocidad de escurrimiento para finalmente ir a desembocar en el mar. Esa velocidad, del orden de unos pocos metros por día¹⁹, implica que su caudal de escurrimiento es el resultado de la infiltración de lluvias de muchos años consecutivos y, por lo tanto, sus fluctuaciones dependen menos de los cambios anuales en el nivel de las precipitaciones.

Daños producidos por las sequías

- Fuentes superficiales de agua potable : De acuerdo a las características de la o las fuentes superficial(es) de agua potable y a la forma en que se presenta la sequía, podrían producirse:
 - La disminución del caudal normal de abastecimiento de agua potable podría determinar, según su gravedad:

¹⁸ Con una velocidad en el río de sólo 0,1 m/s, por ejemplo, el agua superficial recorrería 8,64 km./día y tardaría unos 12 días en recorrer 100 km.

¹⁹ Con una velocidad usual, del orden de 1 m/día, se demoraría unos 274 años en recorrer 100 km.

- una restricción moderada de los consumos;
 - su racionamiento, desde mediano hasta muy agudo;
 - la extinción total de algunas fuentes.
- Contaminación de las fuentes de agua potable debido a factores tales como:
- disminución de la capacidad de autopurificación de ríos o esteros, debido a la disminución de su caudal;
 - aumento de concentración de pesticidas, insecticidas o residuos industriales, debido a ese mismo fenómeno;
 - contaminación causada por peces muertos al disminuir, por ejemplo, el oxígeno libre;
 - contaminación por animales muertos en las cercanías de las tomas de agua potable;
 - lo anterior puede determinar la necesidad de incrementar o variar los agregados químicos al agua para disminuir riesgos sanitarios o turbiedad;
 - necesidad de construir (o poner en operación) fuentes alternativas de agua potable²⁰.
- Fuentes de aguas subterráneas: De acuerdo a la duración del período de sequía, según las características hidrogeológicas locales puede haber nuevas demandas de aguas subterráneas:
- para los abastecimientos de emergencia de agua potable y también;
 - para el abastecimiento alternativo de industrias o usos agrícolas;
 - lo señalado puede implicar: una disminución relativa del nivel freático de la napa lo que produciría una disminución del rendimiento de los pozos y una mayor altura de bombeo para obtener el caudal necesario.
- La situación anterior puede involucrar mayores costos de operación en los pozos de captación de agua que ya existían, incluyendo probablemente una disminución del rendimiento de los equipos de bombeo e inclusive—en ciertos casos—el riesgo de tener que pagar multas a la compañía eléctrica por corriente dewattada.
- Fuentes alternativas de agua potable: La necesidad de disponer de fuentes alternativas de agua potable (debido a la menor capacidad de las fuentes superficiales) puede llevar a la necesidad de:
- construcción de pozos de emergencia y equiparlos en forma urgente para suplir el abastecimiento de agua potable;
 - utilizar pozos existentes de otros usos (industrial, deportivo o agrícola, por ejemplo) volcándolos al abastecimiento indispensable de agua potable para el servicio público.

En resumen, los efectos esperados en los sistemas de abastecimiento de agua potable son:

- Pérdida o disminución del caudal de agua superficial y/o subterránea.
- Racionamiento y suspensión del servicio.
- Necesidad de consumo de agua que llega en camiones tanque, con la consecuente pérdida de calidad del agua y el incremento en los costos.
- Abandono del sistema.

²⁰ En muchos casos pueden con captaciones de aguas subterráneas como pozos profundos.