

Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales

Caso estudio Caracas, Octubre 1997

Memoria elaborada por: Ing. José Grades, Ing. Ivan Contreras, Ing. Gabriel Grases F.
Oficial responsable del proyecto: Ing. Marco Rondon OPS/OMS

Indice general

- Reconocimiento y agradecimiento
 - Resumen ejecutivo
 - Introducción y antecedentes
 - Amenazas naturales. Caracterización
 - Estabilidad de taludes
 - Vulnerabilidad de los componentes del sistema
 - Procedimientos para evaluar la confiabilidad del sistema y modelado
 - Caso estudio
 - Lecciones
-

Reconocimiento y agradecimiento

A lo largo de este trabajo se ha contado con el asesoramiento del Ing. VALDIS GRINSTEINS (Consultor de HIDROCAPITAL), la Teniente de Navío BETTY RAMIREZ (Candidata M.Sc., UCV), el Ing. ALFONSO MALAVER M.Sc. (CORAL 83) y la Dra. BEATRIZ CONTRERAS (HIDROCAPITAL). El Anexo G ha sido preparado por BETTY RAMIREZ y es una síntesis de un trabajo más extenso sobre las inundaciones del 11 de Julio de 1997.

Igualmente, el contenido de esta Memoria se ha enriquecido en reuniones sostenidas con personal de HIDROCAPITAL y de la OPS, así como con otros profesionales especializados en alguna de las múltiples disciplinas que requieren consideración en el problema estudiado. Entre ellos, deseamos agradecer en especial la colaboración del Ing. MARCO RONDON de la Oficina Panamericana de la Salud (Oficial Responsable de este Proyecto), al Dr. PEDRO ARNAL, Ing. JOSE GREGORIO HERNANDEZ, Dr. MARCELO GONZALEZ S. e Ing. CARLOS ARRIAGA G. Nuestro agradecimiento a la POLICIA METROPOLITANA por el vuelo en helicóptero sobre la región del Caso Estudio. contenido

Resumen ejecutivo

Este trabajo sintetiza los resultados de un estudio de vulnerabilidad cuantitativa de sistemas de agua potable y alcantarillado, siguiendo los lineamientos establecidos en estudios especializados sobre el tema. Para ello se han empleado métodos y procedimientos establecidos en las normativas de Ingeniería vigentes, con énfasis en los eventuales efectos desfavorables de la amenaza sísmica en sistemas de agua potable.

Se ha hecho particular énfasis en el tratamiento de los problemas propios de la estabilidad de taludes, presentándose una guía para identificar taludes y/o terrenos de pendiente moderada, potencialmente inestables; se ha incorporado allí el caso de las acciones sísmicas, así como la evaluación del potencial de licuefacción de suelos cuya metodología se presenta como Anexo. Con esto se ofrece a los usuarios herramientas de mitigación, que complementan metodologías recientemente propuestas por CEPIS/OPS.

La vulnerabilidad de los componentes del sistema es cuantificada en términos probabilísticos. Para ello se ha combinado: (a) la estadística disponible sobre los efectos conocidos en los componentes debido a sismos pasados; (b) los resultados de análisis dinámicos, en casos particulares, de la respuesta estructural a los sismos y vientos máximos esperados en la región y; (c) regresiones probabilísticas entre los movimientos máximos del terreno y los grados de la intensidad de Mercalli.

Se ha constatado que, para aplicar de modo confiable la metodología de los tiempos de rehabilitación con fines de cuantificación de la vulnerabilidad propuesta por CEPIS/OPS, es preciso disponer de una casuística de averías y/o interrupciones de servicio debidamente documentada con: tiempos de rehabilitación, costos, fuerza laboral, materiales y equipamiento. Esta recopilación se encuentra actualmente en vías de ejecución (Ref. 16).

La confiabilidad del sistema expresada en términos del complemento de la probabilidad de interrupción de servicio, es analizada para diferentes tipos de configuraciones de sus componentes: en serie, en paralelo o mixta. La extensión de estos conceptos básicos a los tiempos probables de rehabilitación (CEPIS/OPS) es inmediata; para ello se requiere la estadística de averías y/o interrupciones aludida en el párrafo anterior.

La información necesaria sobre las amenazas naturales para proceder al análisis del caso-estudio, es presentada en los Capítulos 2 y 3. La vulnerabilidad de los componentes del sistema y la selección de escenarios, se da en los Capítulos 4 y 5 respectivamente. En el Capítulo 6, último del trabajo, se describe el sistema estudiado, el área de ubicación, el entorno tectónico, así como antecedentes conocidos sobre inestabilidad de suelos y laderas como consecuencia de lluvias torrenciales; en los Anexos se describen e ilustran con más detalle algunos de estos casos. En la parte final del Capítulo 6, se calcula la confiabilidad del sistema a dos escenarios sísmicos diferentes: un evento cercano de magnitud moderada y un evento con epicentro a distancia intermedia seleccionado de entre los sismos históricos más intensos del área.

Entre los aportes de esta Memoria, destacan los siguientes:

(1) Con los procedimientos normativos disponibles y las guías que se incluyen aquí como Capítulo 3, se puede evaluar cuantitativamente la vulnerabilidad de sistemas de agua potable y alcantarillado;

(2) Es deseable emplear la metodología desarrollada por CEPIS/OPS, para lo cual se requiere información estadística adecuada (tiempos, personal, materiales y costos); su extensión a los conceptos de confiabilidad de sistemas es inmediata;

(3) Los procedimientos empleados para el cálculo de la confiabilidad, permiten seleccionar estrategias preventivas que reduzcan a valores tolerables el riesgo de interrupciones en el servicio;

(4) El acopio de información tanto instrumental como en el campo, sobre el origen, la intensidad y las consecuencia de eventos de naturaleza excepcional, debe ser hecha en forma sistemática para fundamentar de modo adecuado las estrategias de prevención y diseño. Esto se ilustra en este trabajo con las precipitaciones excepcionales del 10 y 11 de Julio de 1997 (Anexo G).

Vulnerabilidad de los sistemas de agua potable y alcantarillado frente a deslizamientos, sismos y otras amenazas naturales

Capítulo 1

1.- Introducción y antecedentes

1.1.- Introducción

La experiencia recabada sobre la afectación de los sistemas de agua potable y alcantarillado a consecuencia de las acciones de las amenazas naturales, revela que para reducir a valores aceptables la vulnerabilidad de estos, se requiere de acciones preventivas y de diseño de Ingeniería.

En esta Memoria se analizan aspectos específicos asociados a problemas en los sistemas de suministro de agua potable, algunos de los cuales son igualmente aplicables a los sistemas de alcantarillado aún cuando con grados de incidencia diferente.

De una manera general, el análisis de la posible afectación de un determinado sistema de agua y/o alcantarillado, requiere información confiable sobre la intensidad y frecuencia de las diversas amenazas naturales que pueden afectar la zona donde se encuentra ubicado el sistema. Este tipo de información se presenta en forma cualitativa en la Figura 1.1 con fines de ilustración y trata de ser representativa de las áreas ubicadas en la región norte-central de Venezuela.

La selección de: sismos, vientos y tormentas, aún cuando comunes, de intensidad diferente en países de la región, pueden afectar los componentes de sistemas como los estudiados y/o la calidad del suministro. Esto queda ilustrado en la Figura 1.2, la cual no se ha llevado a un mayor nivel de detalle para facilitar su comprensión.

En este trabajo se ha convenido enfatizar el análisis del problema particular de la inestabilidad de taludes y de la acción de los sismos, tomando en consideración la diversidad de sus posibles efectos y, en el caso de los sismos, el agravante que representa la simultaneidad de sus efectos en áreas muy extensas.

1.2.- Antecedentes

El terremoto de El Limón, Costa Rica, del 22 de Abril de 1991 ha sido ampliamente estudiado, muy especialmente en lo referente a la afectación de las líneas vitales y servicios de agua y alcantarillado, como consecuencia de la inestabilidad de los terrenos (Ref. 1 a 8). La experiencia recabada en ese y otros sismos que han impactado áreas urbanas, revela que las instalaciones que conforman los sistemas mencionados son vulnerables a las acciones sísmicas, lo cual genera problemas de abastecimiento de agua para consumo humano, así como para combatir incendios y el manejo de aguas servidas. De hecho, parte de los grandes incendios urbanos del presente siglo, asociados a terremotos destructores, se ha atribuido en menor o mayor grado a la disrupción del sistema de suministro de agua. Entre ellos destacan: el terremoto de San Francisco (1906), el terremoto de Kwanto (1923) y el terremoto de Kobe (1995).

Las estadísticas sobre daños debidos a sismos pasados en los sistemas de transporte, almacenamiento, tratamiento y distribución de agua y alcantarillados, son una valiosa fuente de información, pues orienta sobre aspectos críticos a ser analizados con más detenimiento en este tipo de sistemas. En la Tabla 1.1 se presenta un resumen de una muestra de casos identificados en la literatura sobre el tema (Ref. 16).

En la Referencia 3, CEPIS / OPS / OMS, la más reciente de las que se han citado sobre el terremoto de El Limón, se presentan además Guías para el Análisis de la Vulnerabilidad de Sistemas de Abastecimiento de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario, las cuales serán mencionadas en este trabajo como: Guías de la Ref. 3.

En adición a la Ref. 3, en los aspectos metodológicos se han seguido recomendaciones y criterios establecidos en las Referencias 9 a 14, los cuales se sintetizan en los Capítulos 2, 3, 4 y 5. La ejemplificación con la aplicación a un sistema específico y la discusión de los resultados obtenidos, es presentado en el Capítulo 6; buena parte de la información básica empleada en los cálculos también es descrita en los correspondientes Capítulos 2 a 5.

Se acompañan como Anexo Guías y Documentos citados a lo largo de la Memoria.

Tabla

1.1

Sismos que han afectado sistemas de agua potable, transporte de líquidos y alcantarillado (fuente: ref. 16)

EVENTO	MAG Ms	BREVE DESCRIPCION DE EFECTOS
Santa Rosa, Cal 01-10-69	5,7	Daños en sistema de distribución y en tanques de almacenamiento; represa fisurada.
San Fernando, Cal 09-02-71	6,6	Daños en represas, interrupción de suministro, tanques dañados y afectación en calidad del agua.
Managua 23-12-72	6,2	Movimiento de fallas activas dentro de la ciudad, ocasionó 100 roturas en las tuberías principales de distribución y en tanques.

Cotabato, Filipinas 17-08-76	7,9	Roturas en juntas de tuberías: falta de agua para combatir el fuego.
San Juan, Argentina 23-11-77	7,4	Daños en los sistemas por fenómenos generalizados de licuefacción del terreno.
México 19-09-85	8,1	Daños en tuberías subterráneas en la red de 72.000 km de la ciudad, por movimientos del terreno. Alrededor de 5.000 roturas en el acueducto de Xochimilco y daños en acueductos de suministro provenientes del sur.
San Salvador 10-10-86	5,4	Daños en la red de agua potable (2400 roturas y alcantarillados, por asentamientos diferenciales.
Spitak, Armenia 07-12-88	6,8	Daños en planta de tratamiento y en las tuberías del sistema principal de aducción de agua; estos últimos por deslizamientos de rocas.
Loma Prieta 17-10-89	7,1	Sistema afectado por interrupción de suministro de energía eléctrica. Daños en planta de pre-tratamiento. Daños en tuberías que cruzan fallas geológicas y en suelos aluvionales.
Limón, Costa Rica 22-04-91	7,4	Daños en fuentes de abastecimiento y muy elevada perturbación en la turbiedad (hasta 100.000 UNT), lo cual anuló las plantas de tratamiento. En 60% del área de una de las cuencas de abastecimiento, hubo desestabilización generalizada que tardará unos 8 años en recuperarse.
Erzincan, Turquía 13-03-92	6,8	Daños menores en el sistema de aducción y más importantes en el de distribución.
Northridge, Cal 17-01-94	6,7	Destrucción de tuberías matrices de concreto de hasta 120" de diámetro, que surten plantas de tratamiento de Los Angeles. Igualmente, rotura de tuberías de acero de 120" de diámetro, con fugas considerables. Daños menores en plantas de tratamiento y en túneles de aducción, y más graves en tanques de almacenamiento.
Kobe, Japón 17-01-95	7,2	Tuberías matrices de suministro de agua a la ciudad colapsaron. Tuberías subterráneas de distribución destruidas por asentamientos. Los incendios no pudieron ser apagados, en parte por falta de agua.

1.3.- Objetivos y alcance

El contenido de esta Memoria se ha ajustado en lo posible a la estrategia de análisis de la vulnerabilidad de sistemas establecida en la Ref. 3, la cual se puede organizar en las dos fases siguientes:

1ra. Fase: Reconocimiento e inspección del sistema, identificando situaciones que pueden comprometer sus componentes. Para ello se seleccionó como Caso Estudio un sistema de producción de agua potable (Capítulo 6), limitando la evaluación de su vulnerabilidad a las amenazas naturales con énfasis en las de origen geológico e hidrometeorológico. En las Figuras 1.2 y 1.3 se reproducen los mapas de zonificación sísmica y eólica de las normas vigentes en el país (Ref. 35 y 18). Entre los resultados importantes de esta evaluación preliminar, destaca la necesidad de proceder a estudios más detallados y especializados los cuales forman parte de la Segunda Fase. **2da. Fase:** Los estudios propios de esta segunda Fase o Nivel, son de naturaleza especializada y usualmente son respaldados por: (a) las normativas vigentes; (b) las estadísticas de efectos registrados; (c) la participación de profesionales especializados. En el caso que nos ocupa, aspectos fundamentales de la evaluación como son: el cálculo de la estabilidad de taludes y el potencial de licuefacción, no se encuentran en las normativas razón por la cual se han elaborado Guías ad-hoc que acompañan esta Memoria (véase Capítulo 3). Los resultados de los estudios anteriores y las evaluaciones hechas tienen por finalidad la cuantificación, usualmente probabilística, tanto de las amenazas naturales (Capítulo 2), como de la caracterización de la vulnerabilidad física y operacional de los componentes del sistema (Capítulo 4). Obviamente, para el estudio detallado de sistemas constituidos por múltiples componentes disímiles, expuestos a amenazas naturales de origen muy diferente (sismos, vientos o tormentas tropicales), se requiere la participación de un equipo de especialistas que escapa al alcance de la presente Memoria. No obstante y con fines didácticos, la configuración y particularidades de los componentes esenciales que conforman el sistema de producción de agua seleccionado como caso estudio (Capítulo 6), ha sido modelado y su confiabilidad en escenarios sísmicos ha sido evaluada cuantitativamente de acuerdo a los procedimientos que se dan en el Capítulo 5.

La contribución que aquí se hace sobre el problema del manejo de cuencas para reducir el arrastre de sedimentos y mejorar la calidad del agua, es limitada.

Esta Memoria constituye un paso adicional a los que ya se han adelantado en las Guías CEPIS /OPS/ OMS (Ref. 3); su aplicación con arreglo a las dos fases señaladas más arriba, ha facilitado la sistematización del análisis de la vulnerabilidad de sistemas.

2.- Amenazas naturales. Caracterización

Se discute a continuación aspectos relativos a las diferentes amenazas mencionadas en la Figura 1.2, incluyendo la necesaria caracterización para el análisis del sistema que se estudia en el Capítulo 6. De una manera general, en la Tabla 2.1 se anotan las amenazas naturales más importantes a considerar. En las próximas secciones se tratan aspectos particulares sobre la caracterización de los sismos (Sección 2.1), vientos (Sección 2.2) y

amenazas hidrometeorológicas (Sección 2.3). El Capítulo 3 se dedica a los aspectos geotécnicos, estabilidad de taludes y eventuales correctivos.

Tabla 2.1. Amenazas naturales a considerar

ORIGEN	ACCIONES Y VARIABLES
Inestabilidad de taludes	<ul style="list-style-type: none"> • Gravitatorio; repteo de bloques • Sismo: instantáneo o progresivo • Lluvia; deslave; turbiedad
Vibraciones debidas a sismos	<ul style="list-style-type: none"> • Amplitud y contenido de frecuencias • Efectos locales • Desplazamientos temporales
Desplazamientos permanentes	<ul style="list-style-type: none"> • Movimientos de fallas geológicas • Inestabilidad de soportes • Arrastre por crecidas de ríos
Viento	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerzas laterales

2.1.- Sismos

- Movimientos vibratorios:

Para los análisis de los movimientos vibratorios del terreno, se han seguido los criterios y requerimientos de la Norma Venezolana COVENIN 1756 (Ref. 35), con la diferencia de que los espectros de revisión se han anclado a valores de la aceleración máxima del terreno (A_0) que se obtienen de estudios regionales que abarcan el sistema a estudiar (Ref. 36). De acuerdo a ese trabajo, las tasas de excedencia de los movimientos máximos del terreno no se han cuantificado de acuerdo a la expresión:

$$(\lambda) = (A_0/a^*)^{-\alpha} (1/año) \quad (2.1)$$

donde (a^*) y (α) son parámetros característicos obtenidos en mapas ad-hoc (Figuras 2.1 y 2.2). A los fines de la evaluación de la confiabilidad de los elementos del sistema, se adoptó un modelo Poisson sin memoria según el cual, la probabilidad (P) de que la la aceleration máxima (A_0) sea excedida en (t) años vale:

$$P [A > A_0, t] = 1 - e^{-t(A_0/a^*)^{-\alpha}} \quad (2.2)$$

donde (t) es la vida útil del sistema. Para la consideración de los eventuales efectos topográficos sobre A_0 , se han seguido las recomendaciones establecidas en la Ref. 15; para

los casos de topografía más desfavorable; la máxima amplificación es igual a 1,4 (Figura 2.3).

$l = \text{tg } a ; i = \text{tg } g$	
$W = l - i$	
A el mayor entre: $20l$ (m) ó $(H + 10) / 4$ (m)	
$a = H/3$ $b =$	$H/4$
W	t m
$\leq 0,40$	1,00
$\geq 0,90$	1,40
$> 0,40$	$1 + 0,8 (W - 0,40)$
$< 0,90$	

Figura 2.3 Factor t de amplificación topográfica, válido para $H > 10$ m. Los valores de amenaza sísmica utilizados en el Capítulo 6, varían a lo largo de los 34 km de largo del sistema como consecuencia de la distribución de fallas geológicas en el área (véase Figura 6.1). La variación de las tasas de excedencia, expresadas por su inversa - el período de retorno - o por el doble logaritmo neperiano de la probabilidad de no excedencia anual, para los puntos extremos del sistema, se da en la Figura 2.4.

Incorporación de la Intensidad Modificada de Mercalli

Por múltiples razones, el empleo de los grados de la escala de Mercalli (IMM) no puede obviarse. Para ello se emplearon las correlaciones con A_0 propuestas en la Ref. 15 (Figura 2.5) que son las siguientes:

$$\log_{10} (A_0) = 0,30 \text{ (IMM) media (2.3a)}$$

$$\log_{10} (A_0) = 0,30 \text{ (IMM + 1) media + 1s (2.3b)}$$

$$\log_{10} (A_0) = 0,30 \text{ (IMM + 2) media + 2s (2.3c)}$$

La regresión anterior ha sido utilizada respetando la distribución log-normal de A_0 respecto de (IMM). Por ejemplo, para el grado (IMM) = VIII, las probabilidades de excedencia de las aceleraciones A_0 son las indicadas en la Figura 2.6.

Función de densidad de probabilidades (f.d.p.) de las aceleraciones máximas del terreno para la intensidad modificada de mercalli (IMM) grado VIII

base a la interpretación de los efectos conocidos de sismos sucedidos en tiempos históricos, para el área estudiada en el Capítulo 6 se han adoptado las tasas medias anuales de ocurrencia de Intensidades de Mercalli en suelos competentes, que se dan en la Tabla 2.2.

Tabla 2.2. Tasas medias anuales de ocurrencia de intensidades de mercalli en suelos competentes

GRADO DE MERCALLI (IMM)	TASA MEDIA ANUAL (1/año)	
	AREAS HASTA UNOS 15 KM AL SUR DEL VALLE DE CARACAS	AREAS A UNOS ± 20 KM DEL RIO TUY
VI	0,03	0,025
VII	0,011	0,008
VIII	0,006	0,001
IX	0,003	0,0004 (*)
X	0,001 (*)	---

(*) No asignado en tiempos históricos.

Desplazamientos Máximos en Fallas Activas

Tomando en consideración que el sistema de tuberías estudiado cruza fallas activas, predominantemente transcurrentes, se decidió emplear las correlaciones entre longitud de falla, magnitud M_s y desplazamiento máximo dadas en la Ref. 17. De acuerdo a esas relaciones y a las longitudes reconocidas de las fallas geológicas activas anotadas en la Figura 6.1 se han estimado los valores de magnitud Richter M_s y los desplazamientos máximos que se anotan en la Tabla 2.3.

Potencial de Licuefacción

Dado que en las normas consultadas sólo se hacen advertencias generales sobre este problema, se consideró necesario tratar este aspecto en el Capítulo 3, con el fin de poder identificar tales tipo de suelos; en el Anexo , se incluye una guía y un ejemplo de aplicación. Con la información disponible, en el área estudiada no se identificaron suelos potencialmente licuables.

Tabla 2.3. Magnitudes Richter (ms) y desplazamientos máximos (d) asociados a las fallas geológicas de la figura 6.1

FALLA GEOLOGICA	Ms	D(m)
San Antonio San Diego Pichao	6,4 - 6,6	0,4 - 0,8
Tácata El Avila Aragüita	6,5 - 6,7	0,5 - 1,0
Aragua	6,8 - 7,0	0,7 - 1,2
San Sebastián	7,6 - 7,8	2,0 - 3,3

- Deslizamientos (Información Estadística)

Durante la ocurrencia de un sismo, hay dos acciones fundamentales que pueden dar lugar a inestabilidad de zonas con fuerte pendiente: (a) las fuerzas inerciales pueden generar esfuerzos que exceden temporalmente la resistencia al corte y producir un desplazamiento pendiente abajo; (b) las deformaciones causadas por las sacudidas pueden producir pérdida de resistencia en materiales frágiles (por ejemplo rocas cementadas) (véase el Capítulo 3). En base a las estadísticas de Keefer (Ref. 20) y los umbrales de deslizamientos dados en los diferentes Grados de las escalas de Intensidad (Ref. 45; 46) se ha elaborado la Tabla 2.4.

Tabla 2.4. Umbrales de intensidad sísmica para diferentes tipos de deslizamientos (ref 45 y 46)

TIPOS DE DESLIZAMIENTOS O FALLAS	UMBRAL DE INTENSIDAD SISMICA
Caída o deslizamientos de rocas y pequeños deslizamientos de suelos.	Eventos cercanos, de baja magnitud Richter (4 a 4,5) con IMM del orden de
Deslizamientos repentinos de bloques de suelos; casos aislados.	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 del orden de VII o más.
Avalanchas de rocas o suelos. Agrietamientos y roturas en paredes libres de roca sólida.	Magnitudes Richter del orden de 6,5, con IMM del orden de VIII o más.
Deslizamientos y desprendimientos importantes de suelos y/o roca, frecuentes en topografías irregulares.	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.

La identificación de áreas en las cuales pueden presentarse situaciones como las descritas en la Tabla 2.4, requieren estudios de sitio detallados y la aplicación de los conceptos que se dan en el Capítulo 3 de la presente Memoria. En todo caso, las correlaciones entre magnitud Richter (M) y la distribución de deslizamientos, revela que la probabilidad de que ocurran deslizamientos para magnitudes del orden de 4 es prácticamente nula. Con los datos recopilados en la Ref. 20, el área (A) en km² que como máximo es afectada por deslizamientos de tierra, está aproximadamente relacionada a la magnitud (Ms) por la ecuación:

$$\log A = 1,78 + 1,29 (M_s - 5)^{0,829} \quad 5 \leq M_s \leq 8 \quad (2.4)$$

Aún cuando estas áreas generalmente no son circulares, a los fines de las evaluaciones de escenarios se supondrán circulares. De ese modo, la regresión anterior se puede expresar en función de la distancia epicentral (D) en (km) como:

$$\log D = 0,94 + 0,64 (M_s - 5)^{0,829} \quad (2.5)$$

En cuanto a las intensidades de Mercalli, los resultados de las estadísticas de Keefer sugieren que los deslizamientos pueden ocurrir para grados de intensidad inferiores a los valores indicados en la Escala de Mercalli. En la Tabla 2.5 se sintetiza la estadística presentada por Keefer para tres tipos de inestabilidad del terreno: deslizamientos menores, agrietamientos en paredes de roca sólida y desparramamiento lateral de suelos. El grado de intensidad según la Escala de Mercalli, para el cual ese efecto particular es esperado en término medio, se indica con un (*) en la Tabla 2.5.

Deslizamiento o Inestabilidad de Taludes (Métodos Analíticos)

En la Ref. 38 se recomiendan estrategias de planificación y mitigación en áreas potencialmente afectadas por deslizamientos.

En todo caso, en el Capítulo 3 el tema es tratado con mayor nivel de detalle.

Tabla 2.5 Riesgo de inestabilidad de taludes y desparramamiento de suelos

CASO DE	PORCENTAJE DE CASOS OBSERVADOS CON						
	IMM IGUAL O MENOR QUE:						
INESTABILIDAD	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X
Pequeños deslizamientos en depósitos de arena y grava.	5	33	76	90 (*)	100		
Agrietamiento y rotura de paredes de roca sólida.		12	40	72 (*)	96 (*)	100	
Desparramamiento lateral de terrenos planos. Fisuras apreciables.		14	36	77	91	100	(*)

(*) Caracterización como grado de intensidad en la Escala de Mercalli

2.2.- VIENTOS

Distribución de valores Extremos

Es bien sabido que la distribución de velocidades máximas de viento, depende de la duración del registro. A fin de poder comparar los datos suministrados a partir de estaciones venezolanas (Ref. 18), con datos de las Antillas Menores (Ref. 19), se adoptó como velocidad el valor promedio durante 10 minutos de registro continuo; obviamente, en el cálculo de las solicitaciones se aplican los factores de ráfaga que especifican las normas para esa duración de registro. En la Figura 2.7 se comparan las distribuciones correspondientes a 5 localidades: Dominica (Ref. 19), Güiría (Ref. 71), Maiquetía y Maracay (Ref. 18) y Milano (Ref. 72). La línea gruesa correspondiente a los Valles del Tuy donde se encuentra el Caso-Estudio y en la cual no se dispone de registros, se ha aceptado como distribución característica de la zona (Capítulo 6); esta distribución puede considerarse conservadora si se compara con los valores normativos (véase Figura 1.3).

La distribución recién mencionada para los Valles del Tuy queda descrita por una función de valores extremos Tipo Gumbel I igual a:

$$F(V, t) = P(V \leq v, t) = e^{-t/a} - 0,282(v-10) \quad (2.6)$$

Donde:

v = Valor particular de la variable aleatoria V (m/seg);
t = Vida útil considerada (años);
0,282 y 10 (cm/seg) = Valores característicos del área de los Valles del Tuy.

En la parte superior de la Figura 2.7 se puede leer el período medio de retorno.

- Cálculo de Esfuerzos Debidos a Viento

Para el cálculo de las solicitaciones debidas a vientos se han empleado los procedimientos establecidos en las Ref. 17 y 18. Estos han sido aplicados para el caso particular de estructuras tipo chimenea de gran altura.

2.3.- Amenazas hidrometeorológicas

- Caudales Extremos

Para la evaluación de la seguridad de los puentes más importantes del sistema se requiere conocer los caudales extremos. Dado que dos de los puentes del sistema estudiado en el Capítulo 6 se encuentran sobre el Río Guaire, se obtuvo la variación de caudales hasta períodos de retorno de 1000 años (Figura 2.8; Ref. 73). En la Foto 2.1b se ilustran señales de crecientes de 6 a 8 m por encima de la cota de agua existente para el momento de la fotografía.

Pluviometría

Para el cálculo de los volúmenes de agua a drenar por las cuencas que alimentan los embalses y tomas del sistema, se requiere información sobre la distribución de precipitaciones (véase Anexo G).

En la Figura 2.9 se dan los valores medios de la precipitación mensual en la estación: Observatorio Cagigal, para un lapso de observación de 50 años (1947-1996) (Ref. 74). Obsérvese que en término medio, la precipitación acumulada anual alcanza 828 mm.

Arrastre de Sólidos

Los problemas propios de los arrastres de sólidos asociados al régimen de precipitaciones no se tratan en esta Memoria. Al respecto pueden consultarse las Ref. 65 y 66.

Parte del problema está relacionado a la estabilidad de taludes - naturales o artificiales lo cual se discute y ejemplifica en la Sección 3.

3.- Estabilidad de taludes

Guía para identificar problemas de deslizamientos

3.1.- Objetivos y alcance

En este capítulo se establece una guía para detectar y prevenir posibles problemas en áreas propensas a deslizamientos, mediante:

1. La identificación de los mecanismos de falla más comunes en los distintos tipos de materiales geológicos.
1. El establecimiento de criterios para la selección del mejor lugar para recolectar información.
2. La búsqueda e interpretación de efectos claves para la identificar posible inestabilidad de taludes.

Adicionalmente se presentan algunas de las medidas correctivas comúnmente utilizadas para lograr la estabilización de taludes fallados.

3.2.- Clasificación del tipo de fallas de taludes

Este capítulo presenta una clasificación de tipos de falla de taludes basada en el reconocimiento de los factores geológicos que condicionan la falla. Los deslizamientos de taludes ocurren de muchas maneras y aún persiste cierto grado de incertidumbre en su predictibilidad, rapidez de ocurrencia, y área afectada. Sin embargo, existen ciertos patrones