

B. Análisis de riesgo sísmico

Este análisis sólo se verificó en relación a sismos dada la importancia que reviste este tipo de riesgo para la planta en estudio. Se seleccionó un período de vida útil de 30 años, un porcentaje de excedencia (P) de 50% y se determinó un riesgo anual de (qa) de :

$$q_a = 1 - (1 - 0,5)^{1/30} = 0,022$$

Con un período de vida de 30 años y un porcentaje de excedencia de un 50%, se obtuvo un sismo crítico de magnitud 8,7.

Analizados los efectos del sismo se consideraron los siguientes mecanismos de acción:

- a) Propagación de ondas. Utilizando los criterios indicados en 2.1 (Sismos), se obtuvo que esta magnitud correspondía a una intensidad de 11,5 grados (Mercalli), una aceleración aproximada de 1.000 cm/segundo al cuadrado y una velocidad de propagación de las ondas de 64 cm/s.
- b) Desplazamiento. Por estudios efectuados se sabe que:
 - la planta esta situada sobre un sistema regional de fracturas que se formaron y en algunos casos se reabrieron con motivo del último temblor;
 - es muy probable que una falla antigua cruce entre el tanque de decantación y los filtros y haya sido lo que controló la formación de las dos nuevas fracturas;
 - por la presencia de barrancos aledaños hay riesgo de aludes, si se producen filtraciones de agua debido a las fracturas;
 - La falla principal tiene un ancho de 2 a 30 cm y un potencial desplazamiento vertical de hasta 5 cm;
 - las fallas secundarias podrían tener un desplazamiento de hasta 1,36 cm.

Usando criterios y apreciaciones de carácter personal, se estimó los efectos detallados en la Tabla 3 - 6, en los diferentes componentes de la Planta de Tratamiento.

C. Análisis de vulnerabilidad sísmica.

Los parámetros de riesgo sísmico determinados son de tal magnitud que resulta antieconómico su uso como criterios de diseño estructural, sin embargo, se establecieron las siguientes medidas correctivas:

1. Diseño de las estructuras y de las unidades con las seguridades detalladas en el numeral A14.
2. Modificación del diseño y número de unidades de decantación tal como se indica en la Figura 3 - 10.

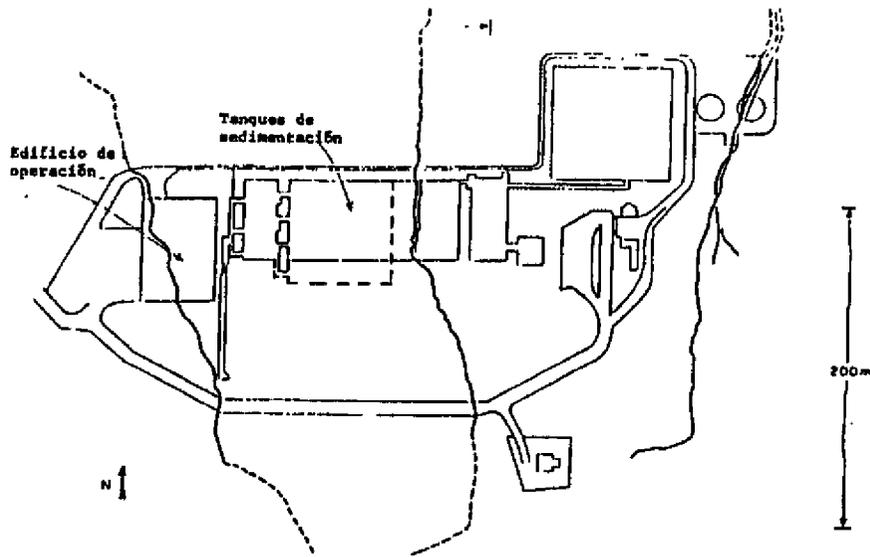


Figura 3 - 10
Planta en estudio - modificaciones debido a la presencia de fallas

Tabla 3 - 6

Componentes	Efectos estimados	Confiabilidad		
		CE	m	CE ¹
1. Obras de entrada	Grietas, movimiento de las rejillas, fugas.	0,80	1	0,80
2. Almacenamiento de químicos	Desplazamiento, giro y aún colapso de estructuras.	0,90	-	0,90
3. Dosificación	Falta de energía, paralización, caída de las unidades por falla de anclajes, desplazamiento.	0,80	2	0,96
4. Mezcla rápida	Grietas, fugas	0,90	2	0,99
5. Floculación	Grietas, destrucción parcial de pantallas	0,40	3	0,78
6. Decantación	Grietas, destrucción parcial de tabiques intermedios por torsión	0,40	4	0,87
7. Filtración.	Grietas en los muros	0,50	6	0,98
8. Desinfección	Desplazamiento, caída de unidades	0,50	2	0,75
9. Tanque de almacenamiento	Grietas, fugas.	0,80	1	0,80
10. Bombeo	Paralización, uniones rígidas	0,50	4	0,94
11. Tanques de recuperación	Grietas, fugas	0,60	2	0,84
12. Generador	Paralización	0,80	1	0,80

La confiabilidad sísmica del sistema de tratamiento es de:

$$C_s = \sqrt[12]{0,80 \times 0,90 \times 0,96 \times 0,99 \times 0,78 \times 0,87 \times 0,98 \times 0,75 \times 0,80 \times 0,94 \times 0,84 \times 0,80}$$

$$C_s = 0,86$$

APLICACION A LINEAS DE ADUCCION, TANQUES Y REDES DE DISTRIBUCION.

Introducción.

Tal y como se ha visto en la Tercera Parte, Metodología General, el análisis de vulnerabilidad de los componentes de un sistema provee una metodología para determinar, ante una supuesta emergencia basada en la historia de la región, los daños posibles, la capacidad útil remanente y los componentes críticos del sistema. Estos elementos permitirán posteriormente elaborar un plan de acciones previas a la emergencia o desastre en forma planificada. Un sistema de abastecimiento de agua está formado por una serie de componentes físicos: captaciones, aducciones, tratamiento, tanques de almacenamiento y redes de distribución. Cada uno de estos componentes tiene una función específica y está integrado por un número variable de elementos, correspondiendo al sistema de distribución el hacer llegar el agua hasta los puntos de consumo en cantidad suficiente y conservando su calidad.

Además de los componentes físicos del sistema, se requiere de una infraestructura capaz de operar y mantener el sistema, compuesta por personal capacitado, energía, equipos, materiales, comunicaciones y organización administrativa.

El análisis de vulnerabilidad estima el grado en el cual el sistema es afectado en su función de hacer llegar el agua hasta los puntos de consumo, tanto en sus aspectos de daño físico como en su infraestructura de soporte.

Metodología de análisis.

Las situaciones de emergencia pueden ser relativamente simples, como la rotura de una tubería principal, o catastróficas como aquellas asociadas con terremotos y huracanes. Algunas situaciones son causadas por el hombre, sabotaje deliberado, y otras como las citadas son de origen natural y escapan al control del hombre.

El análisis de vulnerabilidad sólo se puede llevar a cabo en términos de un desastre anticipado supuesto, en función de la historia de la región, aplicado sobre un sistema de abastecimiento de agua potable. Sin embargo, llevando a cabo el análisis de vulnerabilidad sobre el sistema para varias condiciones posibles de desastre y luego comparando los resultados de los varios análisis, se pueden identificar los componentes más vulnerables del sistema, denominados componentes críticos.

Estos componentes necesariamente serán aquéllos a los que deberá dárseles mayor atención en el planeamiento previo para afrontar emergencias y durante la ocurrencia de una emergencia, si no se hubieran tomado las medidas previas de protección.

El análisis lógico y racional de vulnerabilidad, recordando que se lleva a cabo para un sistema dado y un desastre supuesto, comprende los siete pasos siguientes (Figura 3 - 11) que se discuten en detalle a continuación:

1. Identificar y caracterizar los posibles desastres en el área en cuestión, tema que se analiza en la SEGUNDA PARTE.
2. Identificar y describir, en forma separada, los componentes del sistema de aducción, almacenamiento y distribución.
3. Suponer un desastre o emergencia y sus características de acuerdo con el punto 1, por ejemplo: magnitud de un terremoto, velocidad del viento de un huracán, nivel máximo del agua en una avenida, etc. y estimar los efectos del desastre sobre cada componente del sistema, línea de conducción, tanques, redes, conexiones domiciliarias, etc.
4. Estimar la demanda de agua, tanto en cantidad como en calidad, y las prioridades de abastecimiento durante y después del desastre.

5. Con el análisis efectuado en el punto 3, determinar la capacidad útil remanente del sistema, en cuanto a abastecimiento de agua se refiere y compararla con la demanda estimada en el punto 4.
6. Si el sistema no es capaz de cubrir la demanda, identificar los componentes críticos del sistema que correspondan a los principales responsables de la falla y determinar los requerimientos adicionales de agua. Estos componentes aislados e identificados en este último paso, representan los componentes más vulnerables del sistema para las características del supuesto desastre.
7. Concluidos los pasos anteriores, se elaborará un informe de vulnerabilidad. Para realizar el análisis de vulnerabilidad, el primer paso consiste en identificar las posibles emergencias y desastres en el área en estudio (ver SEGUNDA PARTE) para lo cual se llevará una recopilación histórica de las emergencias y desastres naturales y causados por el hombre, que se hayan presentado en el pasado, la cual abarcará:
 - a) Tipo, frecuencia, intensidad y características. Por ejemplo, para huracanes se anotará: frecuencia de ocurrencia; trayectoria, velocidad y dirección del viento; distribución e intensidad y relaciones tiempo-duración de la lluvia; marejadas y alturas alcanzadas; reportes de daños ocasionados al sistema; Para temblores y terremotos se anotará: ocurrencia; intensidad; epicentros; parámetros obtenidos de los análisis de los sismogramas; reportes de daños ocasionados al sistema.
 - b) Estudios actualizados tales como mapas topográficos, geológicos, sísmicos (fallas activas, potencialmente activas o inactivas, epicentros, etc., mapas de áreas inundables, etc.).
 - c) Identificación de sitios de riesgo potencial, tales como áreas inundables, áreas que pudiesen ser afectadas por erupciones volcánicas, áreas sísmicas, es decir, todos aquellos aspectos que completen y complementen el punto (b) anterior.

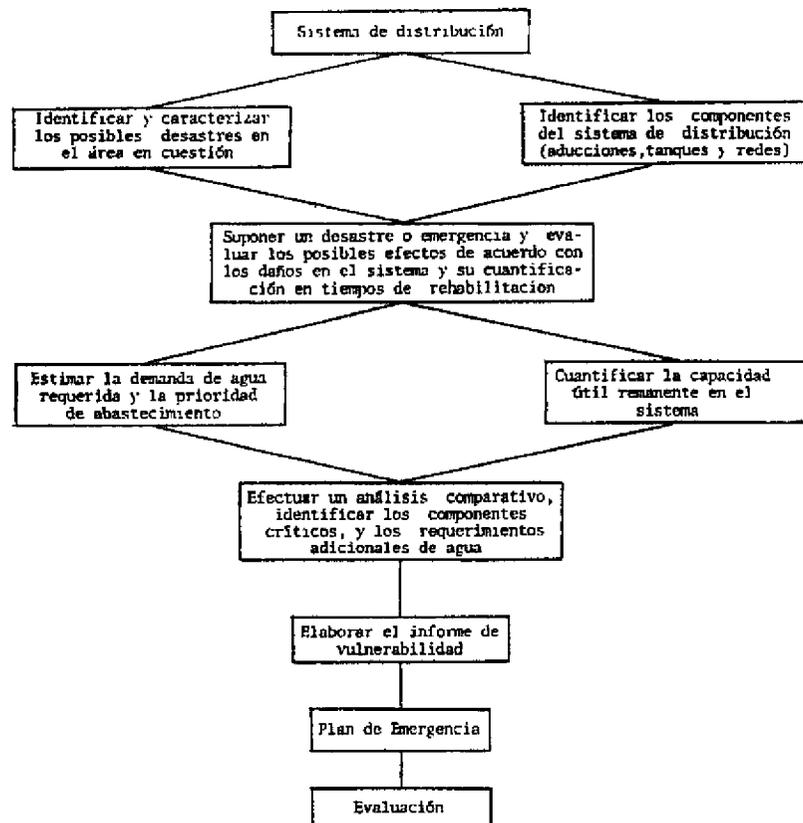


Figura 3 - 11
Secuencia de actividades del análisis de vulnerabilidad

Identificación de los componentes del sistema de distribución.

Para cada sistema de distribución se identificarán sus componentes en forma separada a efecto de poder evaluar posteriormente los daños ocasionados al mismo por un posible desastre. La Tabla 3 - 7 ilustra una forma general de desglosar un sistema de distribución en sus componentes.

*Tabla 3 - 7
Componentes del sistema de distribución
y matriz de identificación de daños.*

Componentes del Sistema	Desastres	Terremoto	Huracán	Inundación	Tornado	Tsunami	Desórdenes civiles	Guerre
CONDUCCIONES:								
Conducción A								
- Tramo 1 - 2:	H.F. enterrado	x						x
- Tramo 2 - 3:	Paso bajo Río A	x	x	x				x
- Tramo 3 - 4:	H.F. enterrado	x						x
- Tramo 4 - 5:	Puente sobre Río B	x	x	x		x	x	
Conducción B								
- Tramo 1 - 2:	A.C. enterrado	x						x
- Tramo 2 - 3:	Acero expuesto sobre columnas de concreto	x			x		x	x
- Tramo 3 - 4:	A.C. enterrado	x						x
TANQUES:								
- Tanque A:	Acero elevado, drenaje al alcantarillado pluvial, 1.000 m ³	x	x		x		x	x
- Tanque B:	Concreto postensado, drenaje a una acequia, 5.000 m ³	x						x
- Tanque C:	Acero asentado sobre el terreno, drenaje a un río cercano.	x					x	x
ESTRUCTURAS ESPECIALES:								
-	Válvula reductora de presión A, caja de concreto.	x					x	x
-	Estación de medición B, estructura de concreto.	x					x	x
REDES DE DISTRIBUCION:								
- Zona de Presión A								
	Línea matriz AA	x						x
	Línea matriz BB	x						x
	Red: P.V.C.	x						x
	Hidrantes	x	x				x	x
	Conexiones domiciliarias: P.V.C.	x					x	x
- Zona de presión B								
	Línea matriz B1	x						x
	Línea matriz B2	x						x
	Red: H.F.	x						x
	Hidrantes	x	x				x	x
	Conexiones domiciliarias: A.G.	x					x	x

Nota H.F = Hierro fundido, A.C. = Asbesto cemento y P.V.C. = Cloruro de polivinilo.

A. Aducciones o conducciones, Para identificar mejor la vulnerabilidad, es conveniente separar las aducciones o conducciones por tramos que correspondan a determinada condición. La información necesaria a recabar es la siguiente:

- a) Alimentación.
 - Fuente que alimenta la aducción
 - Area que abastece la aducción
- b) Material y características de la tubería
 - Material
 - Diámetro interior y exterior
 - Presión de diseño
 - Tipo de uniones
- c) Condiciones de instalación
 - Condición de enterramiento (camas)
 - Tuberías expuestas, tipo de soporte
 - Geología (roca, sedimentos granulares finos o gruesos)
- d) Estructuras especiales (válvulas, estaciones de medición, derivaciones, etc.).

El punto (a) es de importancia para determinar, en caso de falla, las áreas que quedarán sin servicio, total o parcialmente. El punto (b) es importante para determinar las piezas de reparación necesarias. El punto (c) establecerá la resistencia de las tuberías a fenómenos tales como movimientos sísmicos y derrumbes. Las estructuras especiales (punto d) deben identificarse por separado y claramente, ya que constituyen puntos vulnerables.

B. Tanques.

Los tanques en el sistema deberán identificarse indicando:

- Ubicación
- Aducción que los alimenta
- Líneas de salida y zonas que abastecen
- Líneas de rebalse y desagüe indicando puntos de descarga y capacidad.
- Tipo de tanque: elevado, asentado sobre el terreno, enterrado, semienterrado.
- Método constructivo y materiales
- Volumen
- Válvulas de control
- Caminos y calles de acceso.

C. Estructuras especiales.

las estructuras especiales de la red se refieren a estructuras tales como cajas de válvulas grandes de compuerta, reductoras de presión, estaciones de medición, etc. Cada una deberá identificarse precisando:

- a. Tipo de estructura: enterrada, semienterrada, expuesta, etc.
- b. Conducción, dónde está instalada.
- c. Material de que está construída.
- d. Aspectos constructivos: juntas de construcción, uniones con las tuberías, etc.

D. Redes de distribución.

En general, las redes de distribución deben separarse e identificarse por zonas de presión o de abastecimiento de agua y distinguirse, dentro de las mismas para efectos del análisis posterior: las tuberías matrices, la red propiamente dicha y las conexiones domiciliarias, por cuanto la falla de cada uno de estos componentes determinará, a la interrupción del servicio, la vulnerabilidad de un área de abastecimiento, de un tramo de la red o de los domicilios. Las tuberías matrices deberán identificarse de la misma forma que las conducciones o aducciones. Las redes de distribución deberán identificarse en función de las tuberías matrices que las abastecen, del área que sirven y de los materiales de que están compuestas, y las conexiones domiciliarias deberán identificarse en función de los elementos y materiales que las componen.

Posibles efectos de los fenómenos en el sistema.

Efectuada la identificación de los desastres posibles (SEGUNDA PARTE) y los componentes del sistema de distribución, el paso siguiente consiste en suponer una emergencia o desastre de magnitud establecida y evaluar los posibles efectos en el sistema. Así por ejemplo, para el análisis del impacto de un terremoto, se supondrá la magnitud de la intensidad del sismo, de acuerdo con la experiencia histórica de la zona, y se estimarán los daños que pudiese causar el sismo en cada uno de los componentes que se han identificado y también los que pudiese ocasionar el agua al producirse la falla, como en el caso de rotura de un tanque o de una tubería de aducción, determinando en un plano el área a ser dañada.

Para la identificación de daños, resulta útil la confección de una matriz tal como se presenta en la Tabla 3 - 7.

A. Huracanes y tornados.

En general, respecto a estos fenómenos, las tuberías de las conducciones y redes y demás elementos que las conforman, se encuentran protegidas ya que normalmente están enterradas; sin embargo, los efectos pueden ser los siguientes:

1. Rotura de tuberías, en pasos expuestos, tales como ríos y quebradas, debido a correntadas o avenidas.
2. Roturas de tuberías de distribución y conexiones en las áreas en que las vías son destrazadas o seriamente dañadas, principalmente en calles costeras, debido al embate de las marejadas, calles vecinas a cauces abiertos de agua y calles de material fácilmente erosionable por las aguas.
3. Roturas y desacoples de tuberías en zonas montañosas por deslizamiento de tierras y correntadas de agua.
4. Roturas en los hidrantes.
5. Roturas y daños en las tapas de los tanques elevados y asentados sobre el terreno.
6. Contaminación del agua en los tanques y tuberías como consecuencia de los cinco puntos anteriores.
7. Daños en los planteles y edificios tales como roturas de ventanas, techos, inundaciones, etc.
8. Estos desastres impactan fuertemente los sistemas de transmisión y distribución de energía eléctrica, lo que se refleja en falta de energía en el bombeo de agua y en la suspensión de las comunicaciones.

B. Ondas frías.

Las temperaturas anormalmente bajas pueden congelar el suelo hasta una profundidad considerable; a consecuencia de ello, pueden reventar las tuberías de agua y alcantarillado. La obstrucción de tomas de agua y el congelamiento de depósitos, tanques y filtros abiertos pueden dificultar el funcionamiento. Los efectos de las heladas severas consisten en roturas de tuberías, principalmente conexiones domiciliarias, medidores e hidrantes, por congelamiento del agua y roturas y desacoples de tuberías expuestas por expansión y contracción de estructuras de puentes.

C. Ondas cálidas.

Los efectos de las ondas cálidas en los sistemas de distribución están asociados con:

1. Incremento de la demanda de agua que puede traer como consecuencia bajas en la presión de servicio e interrupciones que pueden llegar a ser muy considerables en el servicio.
2. Desperdicio del agua a través de los hidrantes.

D. Sequías.

Las sequías y los efectos prolongados del verano pueden transformarse en verdaderas emergencias y desastres que debe enfrentar el sistema de distribución que tiene contacto directo con los usuarios. Los efectos están asociados principalmente con:

1. Distribución de agua por otros medios que no son las tuberías, como por ejemplo en camiones tanque y a través de fuentes públicas, con los problemas consecuentes de cantidad y calidad del agua.
2. Operaciones continuas de válvulas en las redes y tanques de las líneas afectadas.
3. Actos de vandalismo como reacción ante el problema, que afectan camiones distribuidores, hidrantes, instalaciones de medidores y otras estructuras.
4. Desperfectos en válvulas por operación muy frecuente, en racionamientos o suministro de agua por sectores, y roturas de tuberías asociadas con golpes de ariete.
5. Contaminación en las redes por succión al operar las tuberías en forma intermitente.
6. Normalmente restablecido el servicio después de un período de sequía, se presenta una mayor incidencia de fugas cuyo origen es la operación intermitente y las diferencias de presión durante la misma.

E. Inundaciones.

La causa básica de la mayoría de las inundaciones es la incidencia de fuertes lluvias, la ocurrencia de deshielos o la combinación de ambos. Pero no todas las inundaciones serias y los efectos de las mismas tienen origen en fenómenos hidrometeorológicos. En muchas ocasiones están asociadas con obstrucciones en los cauces de los ríos ocasionados por el hombre y otros accidentes que incluyen fallas en presas y deslizamientos de tierra. Los peligros que crean las aguas en las inundaciones se definen con diferentes parámetros, no necesariamente independientes entre sí pero que crean diferentes tipos de peligros que claramente pueden ser reconocidos. Estos parámetros son:

1. Profundidad del agua: parámetro asociado con la profundidad que alcanza el agua.
2. Duración: parámetro asociado con la seguridad estructural, efectos en interrupción de las comunicaciones, actividad industrial y servicios públicos.
3. Velocidad de las aguas: parámetro asociado con las fuerzas altamente erosivas que producen fallas totales o parciales de estructuras al crear inestabilidad en las fundaciones y soportes.
4. Tiempo de ocurrencia: parámetro asociado con la rapidez con que se produce la avenida e inundación, aspecto importante desde el punto de vista de alarma para emergencia.
5. Frecuencia y períodos de ocurrencia: parámetros íntimamente ligados con los efectos dañinos.

La magnitud de los parámetros anteriores aclaran los posibles efectos en los sistemas de distribución que son prácticamente los mismos señalados en el párrafo A, a los que deben agregarse los problemas asociados con contaminación de aguas provenientes de alcantarillados sanitarios, y con el hecho de que en áreas inundadas es prácticamente imposible la reparación de tuberías.

F. Avalanchas.

Las avalanchas se producen en todas las zonas montañosas del mundo en donde la inclinación de las laderas sea suficientemente acentuada y exista una gran proporción de precipitación en forma de nieve. Las avalanchas han venido adquiriendo cada vez más importancia como desastre natural a causa del crecimiento de la población en los países en desarrollo que poseen altas cordilleras como los Andes, lo cual pone en peligro a mayor número de personas.

Los efectos de las avalanchas en sistemas de acueductos se manifiestan básicamente en las áreas de captación en las cuencas y en aquellas estructuras que están ubicadas en sitios propensos a deslizamientos. Las conducciones de agua ubicadas en terrenos montañosos pueden ser afectadas por deslizamientos cuyos efectos pueden llegar a ser catastróficos.

En términos generales se puede anotar que las redes de distribución no están expuestas a riesgos de avalanchas, salvo en casos muy especiales y esporádicos. Por ejemplo como ocurrió en Yungay, Perú, en 1970.

G. Terremotos.

En general, los efectos de los terremotos se manifiestan en los sistemas de abastecimiento de agua en la siguiente forma:

1. Destrucción total o parcial de las obras de captación, conducción, tratamiento, almacenamiento y distribución.
2. Rupturas de tuberías de conducción y distribución de agua, con el consiguiente desperdicio de agua.
3. Agrietamiento y/o destrucción de obras civiles e instalaciones.
4. Interrupción de la corriente eléctrica y de las comunicaciones.
5. Incendios que requieren de un elevado consumo de agua para su control.
6. Interrupción total o parcial de los servicios de aprovisionamiento de agua.
7. Modificación de la calidad del agua y contaminación en el sistema de distribución.

Las fallas de tuberías durante los terremotos son más frecuentes de lo que en realidad se cree y en algunos casos afectan muy seriamente los servicios. Los análisis de los efectos de los terremotos de Alaska en 1964; San Fernando, California en 1971 y otros, han demostrado que la intensidad y distribución de daños y tipos de daños que sopotan las tuberías durante un terremoto son:

- a. Función principalmente de la geología que rodea la tubería.
- b. Función del material de la tubería.

Durante un terremoto, un sistema de tuberías está sujeto a efectos directos e indirectos.

Los efectos directos incluyen:

1. Levantamientos y hundimientos regionales.
2. Desplazamientos de fallas.
3. Movimientos sísmicos.

Los efectos indirectos incluyen:

1. Deslizamientos.
2. Fracturas
3. Desplazamientos laterales de sedimentos.
4. Asentamientos diferenciales de sedimentos.
5. Compactación de sedimentos.

Se ha comprobado que los daños ocasionados por los terremotos a las tuberías tanto por los efectos directos como indirectos anotados, son menores en camas de roca, intermedios en sedimentos granulares gruesos y mayores en sedimentos granulares finos. Las Tablas 3 - 8 y 3 - 9 resumen las experiencias descritas.

Obviamente, la mayor incidencia de tuberías rotas se presenta en fallas geológicas. Durante el terremoto de 1971 en California prácticamente todas las tuberías que cruzaban una falla mayor, sufrieron daños considerables o fallaron, y el 25% de las roturas se debieron a roturas en fallas.

Otros efectos de los terremotos, tales como deslizamientos y liquefacción también causan serios daños a las tuberías. De un informe sobre los daños causados por el terremoto de Managua, Nicaragua, en 1972, de magnitud 6,5 grados en la escala Richter, se extracta lo siguiente:

La red de distribución sufrió daños de tipo fractura, principalmente en la región central de la ciudad por donde pasan las fallas activas. La tubería de asbesto-cemento fue la más afectada y falló casi totalmente por cortante y por dislocamiento de sus juntas. Roturas similares ocurrieron en tuberías viejas de hierro fundido de 2 y 4 pulgadas de diámetro. Las tuberías de hierro fundido con junta de plomo fallaron en sus juntas, desprendiéndose el tubo de la campana; las juntas de flanger, (bridas) y dresser (unión flexible) se comportaron satisfactoriamente. El mejor comportamiento lo tuvo la tubería de hierro dúctil de diámetro igual o mayor a 16", con uniones de empaque de hule; en este caso la tubería no se fracturó sino que, debido al movimiento, se abrió la junta y se salió la espiga. El PVC se comportó satisfactoriamente; sus fallas se detectaron en las juntas.

Tabla 3 - 8

Ocurrencia relativa de efectos directos e indirectos de los terremotos sobre tuberías colocadas en camas de roca y sedimentos no consolidados.

Efectos	Camas	Sedimentos	
	Roca	Granulares finos	Granulares gruesos
Directos:			
Levantamientos regionales	Común	Común	Común
Hundimientos regionales	Común	Común	Común
Desplazamientos de terreno	Común	Común	Común
Fracturas tectónicas	Común	Común	Común
Movimientos sísmicos	Común	Común	Común
• Alta frecuencia	Abundante	Raro	Raro
• Baja frecuencia	Raro	Abundante	Abundante
Indirectos:			
Deslizamiento(rotacional)	Común	Común	Raro o común
Deslizamiento(translacional)	Ninguno	Abundante	Ninguno
Asentamiento diferencial	Ninguno	Abundante	Común
Desplazamiento lateral	Ninguno	Abundante	Común
Compactación	Ninguno	Abundante	Común
Fracturas	raro	Abundante	Raro o común

Las conexiones domiciliarias fallaron en número considerable por roturas. El mejor comportamiento lo tuvo las conexiones de tubos de cobre, luego las de hierro galvanizado. La tubería de PVC sufrió fallas de desprendimiento con el medidor y la llave municipal. En tuberías de hierro fundido se desprendió la llave municipal afectando la tubería matriz. Se estima que un 75% de los servicios quedaron filtrando.

De los cuatro tanques de distribución de 2,5 millones de galones cada uno, dos de ellos de la zona de servicio bajo y ubicados en el Barrio San Cristóbal y otros dos del servicio alto, en el Reparto de Altamira, sufrieron daño en las juntas perimétricas del fondo, agrietamiento y cierto grado de asentamiento en las fundaciones de las paredes. Los tres tanques que contenían agua en 5/6 de su altura en el momento del sismo,(un tanque de San Cristóbal estaba fuera de servicio para ser

limpiado y reparado), perdieron el agua a través de la junta perimétrica del fondo y a través de roturas en las conexiones de las líneas de conducción.

Tabla 3 - 9
Intensidad relativa de daños sobre tuberías colocadas en camas de roca y sedimentos no consolidados.

Causa del daño	Camas		
	Roca	Sedimentos no consolidados Grano fino Arcilla/arena	Grano grueso Grava
Levantamientos regionales	Ninguno a leve	Ninguno a leve	Ninguno a leve
Hundimientos regionales	Ninguno a leve	Ninguno a leve	Ninguno a leve
Desplazamientos tectónicos y fracturas	Moderado a intenso	Moderado a intenso	Moderado a intenso
Fracturas(no tectónicas)	Leve	Moderado a intenso	Moderado
Movimientos sísmicos	Leve	Intenso	Moderado a intenso
Desplazamientos(rotación)	Moderado	Moderado a intenso	Moderado a intenso
Desplazamiento (translacionales)	Ninguno	Intenso	Ninguno a leve
Desplazamientos laterales • Tuberías enterradas	Ninguno	Leve a moderado	Leve
• Tuberías expuestas		Moderado a intenso	Moderado
Asentamientos diferenciales	Ninguno	Moderado	Leve
Compactación	Ninguno	Moderado	Leve

En el kilómetro 8 de la Carretera Sur estaban localizados cuatro tanques de almacenamiento de acero (tipo Standpipe) de 162.000 galones cada uno. Dos de ellos eran viejos, de acero remachado de 1/8" de espesor. En el kilómetro 9 de la misma carretera estaban dos tanques similares de acero de 126.000 galones, uno viejo remachado de 1/8" de espesor y el otro nuevo, soldado de 1/4". Estos seis tanques de almacenamiento pertenecen al servicio alto superior. Los tres tanques viejos de paredes delgadas sufrieron deformación, achatándose en la parte inferior y separándose las líneas de entrada y salida.

Las fallas en las tuberías de agua fueron causadas principalmente por movimientos de tierra laterales y verticales que llegaron en algunos sitios hasta 10 y 20 cm. Las fallas en tuberías de asbesto cemento fueron más que todo fallas en cortante. Fallas similares se presentaron también en tuberías viejas de hierro fundido de 2 y cuatro pulgadas de diámetro. Las fallas en tuberías de diámetros mayores de hierro fundido y dúctil no fueron causadas por roturas, sino más bien por separación de uniones.

Las fallas en las tuberías de servicios o conexiones domiciliarias, ocurrieron en la válvula de incorporación y en las conexiones a la caja del medidor.

En el terremoto de Guatemala en 1976, de magnitud 7,2 en la escala de Richter, en lo que respecta a redes de distribución de agua potable, se reporta:

Los daños más relevantes en las redes de distribución por su magnitud y número de roturas fueron a lo largo de fallas visibles y en otros sectores donde no tenían anclaje correcto. La forma y número de roturas dependió principalmente del material y del tipo de unión de las tuberías. La tubería más afectada fue la de asbesto-cemento, siguiendo en orden la de hierro fundido de campana y espiga con junta de plomo.

El mejor comportamiento lo tuvo la tubería de hierro dúctil y la tubería plástica de PVC se comportó también muy satisfactoriamente. Las fallas ocurridas en las tuberías de hierro fundido se debieron al desplazamiento longitudinal provocado por el sismo que desalojó el extremo de la espiga; las juntas mecánicas de los accesorios se comportaron satisfactoriamente debido a su flexibilidad y en las juntas de flanger (bridas) de las válvulas y en las juntas dresser (uniones flexibles) no se detectaron fallas.

Con respecto a la tubería de asbesto-cemento, se comprobó que fueron las más afectadas, reportándose muchos daños, consistiendo éstos en roturas en las coplas o accesorios debido a choques de los extremos de los tubos con dichas juntas. Las conexiones domiciliarias fallaron en número considerable, manifestando mejor comportamiento la tubería de cobre que hace muchos años era usual, siguiendo la tubería de hierro galvanizado, fallando en partes oxidadas expuestas a esfuerzos; la tubería de PVC sufrió fallas de desprendimiento con la llave municipal, posiblemente por estar mal instalada en la caja del medidor y en algunos casos donde se hace la toma de abonado, por falta de una adecuada abrazadera inoxidable.

Los tanques que tienen muros de mampostería y que estaban llenos al momento del terremoto, debido a la hora del mismo, 3:30 de la mañana, fueron seriamente dañados, comprobándose que los que se encontraban vacíos sufrieron daños menores relativamente a los que estaban llenos.

Los daños en los tanques consistieron en grietas visibles en las paredes más o menos verticales y muchas localizadas en las esquinas; dichas grietas profundas, afectaron seriamente las estructuras del tanque.

Los tanques con losa de concreto y muros donde están conectados entre ellos, y se previó junta deslizante (plástico o chaparote) no sufrieron daños en esas partes.

El piso de la mayoría de los tanques es de mampostería y son independientes de los muros; estas juntas fallaron durante el sismo provocando fugas de agua en el fondo del tanque, ocasionando deslaves del suelo de fundación abajo del piso.

Un informe sobre el terremoto que asoló la ciudad de Los Angeles, en California, el 9 de febrero de 1971, reporta que los daños en las tuberías de entrada y salida en tanques y estaciones de bombeo, se debieron principalmente a falta de flexibilidad en las uniones.

En las áreas propensas a la actividad sísmica es necesario analizar la vulnerabilidad sísmica de las tuberías colocadas, y conocer la mecánica del comportamiento de las tuberías a las ondas sísmicas para efectos de diseño.

H. Erupciones volcánicas.

La actividad volcánica varía entre una suave emisión de lava y explosiones violentas que arrojan grandes volúmenes de fragmentos de roca a gran altura. En general los daños y efectos de los productos volcánicos inciden en mayor grado en un sistema de agua potable en las obras de captación de agua superficial y tratamiento, que en los componentes de conducción y distribución, quedando disponibles las fuentes de agua subterránea que no se encuentren en áreas fuertemente afectadas. Las cenizas en el agua obstruyen las obras de captación, desarenadores y tuberías de conducción de agua cruda, así como a los floculadores, sedimentadores y filtros.

I. Tsunamis.

Durante el terremoto de Alaska de 1964, las más espectaculares fluctuaciones de agua generadas por el terremoto fueron los tsunamis u ondas marinas, que alcanzaron alturas estimadas en más de 9 metros y los mayores daños a las estructuras de agua potable y alcantarillado ocurrieron en las áreas continentales a lo largo de la costa. En estas áreas el balanceo y los hundimientos generaron fisuras, levantamientos, deslizamientos y fallas como efectos secundarios del terremoto. La ruptura de tuberías, de encamizados de pozos de estaciones de bombeo y de tanques de agua fueron numerosas.

1. Guerras.

Los impactos del estado de guerra en los sistemas de agua potable están asociados con: ausencia de personal, dificultades de comunicación, problemas de movilización, daños a las instalaciones y sabotaje; en los sistemas de distribución en especial problemas asociados con: obtención de información rápida y exacta de cualquier daño a las tuberías e instalaciones; movilización rápida hacia el lugar del daño a fin de cerrar las válvulas y aislar las tuberías rotas; reparación de daños en situación de peligro; reparaciones provisionales y de emergencia y tapones de tuberías; contaminación de tuberías de agua potable con aguas residuales; mantenimiento del sistema de abastecimiento de agua para combatir incendios y mantenimiento del abastecimiento a instalaciones como hospitales, refugios, etc.

K. Desórdenes civiles: vandalismo, terrorismo, huelgas.

El vandalismo, terrorismo y las huelgas se han venido incrementando cada vez más. Sus efectos en los sistemas de distribución están asociados con paralización de las labores rutinarias por huelgas, con la consiguiente interrupción de la operación y el mantenimiento, interrupción del abastecimiento de agua que perjudica tanto a los domicilios como al combate de incendios. Las personas involucradas en desórdenes civiles ven en forma fascinante las ideas de contaminar el agua; destruir una estación de bombeo; romper y abrir los hidrantes para desperdiciar el agua. En resumen, colectivamente estas acciones inducidas por la gente, pueden causar: contaminación del agua; desperdicio del agua; daños a las estaciones de bombeo, de tratamiento y tanques e interrupción de las actividades de operación y mantenimiento; reducción del servicio; destrucción de las áreas en las cuencas (incendios por ejemplo); daño físico al personal; destrucción de la propiedad e interrupción en el tratamiento de agua por limitaciones en la disponibilidad de reactivos químicos.

L. Fallas de construcción.

Las fallas de construcción y diseño, aún cuando en muchas oportunidades están más íntimamente ligadas al funcionamiento de los sistemas que a los aspectos físicos del mismo, son causa de muchas emergencias. Se pueden citar fallas estructurales de anclajes de tuberías, válvulas y tapones como las más frecuentes. Los descuidos en la limpieza durante la instalación de tuberías son causa de obstrucciones frecuentes.

M. Incendios.

Un incendio es de por sí una emergencia en cualquier sistema de distribución de agua potable. El combate del fuego demanda grandes cantidades de agua, que es el mejor agente extinguidor. Dentro de los problemas asociados con el combate de incendios en los sistemas de distribución se pueden citar los siguientes: aumento de demanda; baja presión en el área; posibilidad de contaminación de la red por succión o conexión con sistemas de booster de equipos de bomberos; roturas de tuberías asociadas con golpes de ariete por cierres y aberturas violentas de válvulas; daños causados a las válvulas e hidrantes por uso de herramientas no adecuadas para operarlos.

N. Explosiones.

Los posibles daños que las explosiones puedan causar en los sistemas de distribución están asociados con horadaciones en las calles y aceras que traen como consecuencia roturas de pavimentos y de hidrantes y con menor frecuencia de tuberías de acueducto. En este caso es muy probable la rotura simultánea de tuberías de acueducto y de alcantarillado.

O. Roturas de tuberías.

Las roturas de tuberías que a diario se presentan en un sistema de distribución causadas por falla de materiales, operaciones y accidentes, tienen como consecuencia el dejar a toda o parte de la población sin agua y contaminar las tuberías, sobre todo cuando se presentan simultáneamente roturas de tuberías de agua potable y de alcantarillado sanitario, o una como consecuencia de otra.

La contaminación de tuberías de acueducto por aguas servidas de alcantarillado como resultado de fracturas simultáneas constituye el mayor peligro que debe enfrentar el sistema de distribución.

P. Derrames

Los cursos de agua son vulnerables a contaminación por derrames de materiales tóxicos de uso comercial e industrial, causados por accidentes, errores humanos y desastres naturales. Con el desarrollo de la industria, cada vez se transportan y almacenan mayores cantidades de combustibles y sustancias químicas con el consiguiente aumento del riesgo a derrames. Si bien desde el punto de vista de un acueducto, la posibilidad de contaminación es mayor en los cursos abiertos de agua que afectan en mayor grado a los sistemas de tratamiento, si la contaminación no es detectada a tiempo antes de su llegada a la planta y aún en el caso de que lo haya sido, la misma puede llegar al sistema de distribución.

Normalmente, la evidencia la dan los usuarios afectados al quejarse de la calidad del agua. La investigación del origen y características de la contaminación y el lavado sistemático del sistema afectado son acciones que deben llevarse a cabo a la brevedad posible.

Q. Falta de agua, baja presión.

Las quejas de los usuarios por falta de agua o baja presión se originan en muchas ocasiones cuando no están asociadas con sequías o roturas mayores, a desperfectos tales como válvulas con compuertas caídas y obstrucciones en las tuberías, con las consecuencias subsiguientes de contaminación, además de la interrupción del servicio a los usuarios.

R. Errores humanos.

La operación y el mantenimiento de redes y en especial las válvulas implican un riesgo para el sistema. La mala operación de las mismas puede originar una sobrepresión que produce roturas en las tuberías. Debe prestarse especial atención al llenado de tuberías.

S. Brotes de enfermedades transmisibles por el agua y epidemias.

Debe dársele especial atención a la presentación de brotes de enfermedades que puedan ser transmitidas por el agua. La identificación del sector de ocurrencia, de la fuente de abastecimiento, del análisis del agua y de la investigación del origen, son acciones para las que el sistema de operación debe estar preparado. En la operación rutinaria de un sistema, merece especial atención la investigación de posibles conexiones cruzadas que pueden presentarse aún cuando sólo sea en el caso de baja presión.

Estimación del impacto en el sistema de distribución.

A. Cuantificación de daños.

En base a la evaluación de los posibles efectos de los desastres sobre los componentes del sistema, evaluación que se efectúa basada en experiencias históricas o de otros lugares tal y como se ha descrito en los párrafos anteriores para cada emergencia, se deben ahora cuantificar los daños en cada componente. Una forma práctica de hacerlo consiste en estimar el tiempo expresado en días para habilitar nuevamente el componente, tiempo que se denominará *tiempo de rehabilitación (TR)* y que actúa en función de:

1. La magnitud del daño.
2. La disposición de recursos humanos, financieros, transporte, equipos, materiales, etc, para llevar a cabo la rehabilitación.
3. La facilidad de acceso.

Este tiempo de rehabilitación es esencial para reconstruir o poner a funcionar el componente en cuestión. Para efectos del planeamiento de las acciones a ejecutarse durante el período de emergencia, se deben considerar los tiempos de rehabilitación necesarios para suplir la cantidad mínima requerida de agua, por ejemplo el tiempo requerido para que el servicio pueda abastecer de 50 a 80% de la demanda normal, más el tiempo que pueda tomar el restablecimiento del servicio total.

Nótese que el TR se emplea para habilitar un componente, por lo que es menester calcular el tiempo necesario para que el sistema de distribución suministre agua. Este tiempo se denominará *tiempo de rehabilitación compuesto (TRC)* y será el mayor tiempo requerido para que el conjunto de componentes del sistema de distribución (conducciones, tanques, redes, conexiones domiciliarias) suministren agua.

La estimación de los TR deberá hacerse en base a la experiencia y para efectos de estimar en una forma más aproximada el TRC, se deben estimar valores mínimos y máximos de TR, lo que se puede expresar en la forma siguiente: TRa-b, que quiere decir que para el componente en cuestión el TR mínimo es de *a* días y el TR máximo es de *b* días.

B. Matriz del impacto del sistema de distribución.

Para establecer el impacto de la emergencia en el sistema de distribución, con el fin de establecer a continuación la capacidad remanente y con los requerimientos mínimos el caudal adicional requerido, la matriz de la Tabla 3 - 10 provee una herramienta práctica y sencilla. A continuación se describen sus columnas y como llenarlas:

Columna (1):	Zonas: Se anotará el número o nombre de la zona de presión o de abastecimiento.
Columna (2) a (7):	Se anotará el TRa-b correspondiente a cada componente.
Columna (8):	Se anotará el TRC 1 que se obtenga como resultado de los TRa-b de las columnas (2) a (7).
Columna (9):	Se anotarán las fuentes alternas que puedan abastecer la zona en estudio, y que puede ser incluso otra zona.
Columna (10):	Se anotará el TRC 2 corregido, una vez tomadas en cuenta las fuentes alternas y que corresponde a los tiempos de rehabilitación necesarios para suplir el requerimiento mínimo.

- Columna (11) a (13): Se anotarán respectivamente: el kilometraje de la red, el número de conexiones domiciliarias, industriales, etc. y la población equivalente.
- Columna (14): Se anotará el requerimiento mínimo (Rm) para la zona en estudio, expresado en metros cúbicos por día.
- Columna (15): Se anotarán las conexiones prioritarias a las que se deberá restablecer el servicio; hospitales, por ejemplo.

El ejemplo de la Tabla 3 - 10 ilustra la aplicación. Así, en las columnas (2) a (7) se han anotado para cada componente los tiempos TR-a-b y en la columna (8) el TRC que corresponde a los valores mayores de *a* y de *b* para cada componente. Ahora, en el supuesto de que la zona 2 suministre el RM a la zona 1, el nuevo TRC a-b será 0-6, ya que habilitando la interconexión entre las zonas 1-2 se suplirá el RM de la zona 1, por lo que *a* = 0 pero el restablecimiento total se dará en *b* = 6 días.

Tabla 3 - 10
Matriz de tiempos de rehabilitación e impacto al sistema de distribución

ZONAS (1)	CONEXIONES						TRC 1 (8)	FUENTES ALTERNAS (9)	TRC 2 (10)	KM (11)	DATOS DE LA RED			CONEXIONES PRIORITARIAS (15)
	PLANTA TANQUE (2)	TANQUE RED (3)	TANQUE (4)	TUBERIAS MATECLS (5)	RED (6)	CONEXIONES (7)					NUMERO DE CONEXIONES (12)	POBLACION EQUIVALENTE (13)	RM (14)	
1	2-3	0-0	0-0	5-5	3-5	3-6	3-6	2	0-6	10	2500	15000	600	Hospital
2	0-0	75-85 0-2	0-0	50 3-4	75 3-5	75 3-5	3-6	4	3-6	20	5000	30000	1200	Comercio B. D.
3														

C. Matriz del impacto al acueducto.

Para que el sistema de distribución suministre agua, deben considerarse los componentes de todo el sistema sean: captación, aducción, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento y red de distribución, lo que se resuelve en forma práctica en la matriz de la Tabla 3 - 11, que se explica en igual forma que la Tabla 3 - 10. La Tabla 3 - 11 ilustra la secuencia de actividades para estimar los tiempos de rehabilitación compuestos para suministrar agua.

A manera de ejemplo se anotan para la zona 1 en la Tabla 3 - 11, los tiempos de rehabilitación TR, para los componentes: captación, planta de tratamiento, tanque de almacenamiento y red de distribución, así como el TRC resultante para suministrarle agua a la zona. En la columna (9) se han anotado como fuentes alternas las interconexiones con las zonas 2 y 3 y en la columna (10) el TRC 1 resultante 0 - 6 que significa que el tiempo de rehabilitación mínimo para la zona 1 es cero; las interconexiones con las zonas 2 y 3 resuelven el problema pero el restablecimiento del servicio normal será 4 - 6, TRC anterior. Con las interconexiones con las otras zonas, resulta que el TRC 2 es de 2 - 6, o sea que de 2 a 6 días se suplirá el requerimiento mínimo hasta que todo el sistema se rehabilite en 6 días.

Tabla 3 - 11
Matriz del impacto para el sistema de abastecimiento de agua potable

ZONAS	CAPTACION	ADUCCION	PLANTA DE TRATAMIENTO	TANQUE DE ALMACENAMIENTO	CONDUCCION TANQUE-RED	RED DE DISTRIBUCION	TRC 1	FUENTES ALTERNAS	TRC 2	DM	DATOS DE LA RED			
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	NUMERO DE CONEXIONES	POBLACION EQUIVALENTE	TR	CAPACIDAD UTILIZADA
1	50%	0%	50%	100%	3-5	0-6	4-6	3	100%	10	2500	15.000	600	Hospital A
2														
3														

TR = tiempo de rehabilitación en días
TRC = tiempo de rehabilitación combinado en días



Material de abastecimiento de agua potable.

Con los datos de esta matriz podremos anotar que:

Sin las conexiones alternas (2) y (3), resulta que la zona 1 estaría sin abastecimiento entre 4 y 6 días, lo que implicaría que por otros medios se le debe suplir un caudal promedio diario mínimo de 7 litros/segundo (suponiendo una demanda mínima de 40 litros/persona/día, a 15,000 personas en 10 kilómetros cuadrados) y además deberá dársele prioridad al abastecimiento del hospital A.

Estimación de la demanda mínima de agua

Los requerimientos mínimos de agua y las prioridades del abastecimiento se han discutido con amplitud en la Metodología General. Ahora la estimación de la demanda en el sistema de distribución debe hacerse por zonas de presión o de abastecimiento para lo que ayuda la matriz del impacto de la Tabla 3 - 10, en donde se tiene la población equivalente. Si a la misma se le aplica la demanda mínima requerida, se obtendrá el requerimiento mínimo RM.

Estimación de la capacidad útil remanente en el sistema

El paso siguiente en el análisis de vulnerabilidad consiste en estimar la capacidad útil remanente en el sistema. Esta estimación debe hacerse simultáneamente con la evaluación de los posibles efectos y daños en el sistema y consistirá en estimar el porcentaje de agua con respecto a la condición normal que el componente es capaz de suministrar inmediatamente después del impacto. Este porcentaje estimado se puede colocar en el Tabla 3 - 10., matriz del impacto, sobre los valores de los tiempos de rehabilitación.

Así por ejemplo: si la captación puede entregar el 50%, la aducción 0%, la planta de tratamiento 50%, el tanque de almacenamiento 100% y la red de distribución 40%, significa que ya que la conducción quedó inutilizada y su tiempo de rehabilitación es 4-6, los componentes siguientes (planta, tanque y red) aún cuando tengan capacidad útil remanente y tiempos de rehabilitación menores no podrán ser utilizados, resultando que la capacidad útil remanente del sistema para suministrar agua a la zona 1 será 0 en el tiempo 4-6. Ahora, si las interconexiones con las zonas 2 y 3 pudiesen suministrar por ejemplo el 20% de la demanda mínima requerida, sería necesario entonces suministrar, por otros medios y de otras zonas, el 80% restante durante el tiempo máximo estimado de 6 días.

Análisis comparativo e identificación de componentes críticos.

En el párrafo anterior se ha efectuado la comparación entre la capacidad útil remanente de la zona 1, luego de efectuadas las interconexiones con las zonas 2 y 3, de la cual se dedujo el requerimiento o déficit que debería suministrarse por otros medios y de otras zonas. Ahora, los componentes críticos del sistema serán aquellos que por un lado provean, luego del impacto, los porcentajes menores de agua y por otro, que tengan tiempos de rehabilitación mayores. En el ejemplo planteado, la aducción a la planta es uno de los componentes críticos del sistema, ya que luego del impacto quedó inutilizada y su tiempo de rehabilitación es el mayor: 4-6 días. La aducción también estará analizada en sus componentes, de acuerdo con el desglose de la Tabla 3 - 7 y en su análisis se encontrará cuál es el tramo crítico.

La Figura 3 - 12 ilustra la secuencia de actividades para estimar los tiempos de rehabilitación compuestos para suministrar agua y para cuantificar la capacidad útil remanente en el sistema, dentro del análisis de vulnerabilidad.

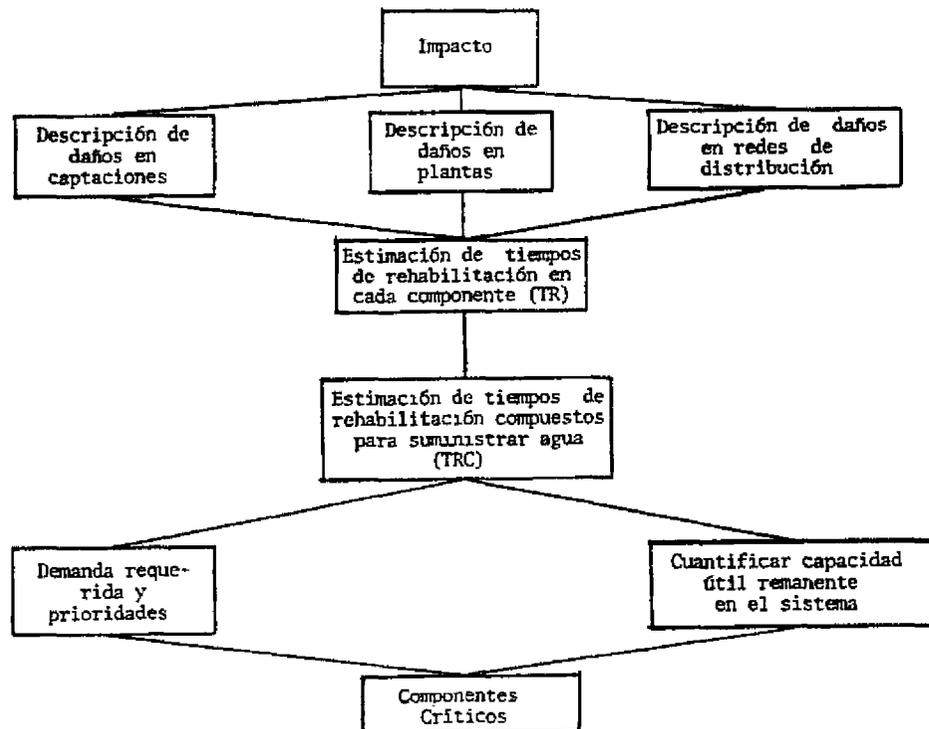


Figura 3 - 12
 Secuencia de actividades para estimar los tiempos de rehabilitación compuestos para suministrar agua

