



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Civil

**GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑAR OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE RESISTENTES A SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

**Luis Enrique Corzo García**

Asesorado por el Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz

Guatemala, enero de 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑAR OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA  
POTABLE RESISTENTES A SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**LUIS ENRIQUE CORZO GARCÍA**

ASESORADO POR EL ING. FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

**INGENIERO CIVIL**

GUATEMALA, ENERO DE 2014



UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
VOCAL I	Ing. Alfredo Enrique Beber Aceituno
VOCAL II	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
VOCAL III	Inga. Elvia Miriam Ruballos Samayoa
VOCAL IV	Br. Walter Rafael Véliz Muñoz
VOCAL V	Br. Sergio Alejandro Donis Soto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

DECANO	Ing. Murphy Olympto Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ing. Edgar Fernando Valenzuela Villanueva
EXAMINADOR	Ing. Claudio César Castañon Contreras
EXAMINADOR	Ing. Alan Geovani Cosillo Pinto
SECRETARIO	Ing. Hugo Humberto Rivera Pérez



## HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

En cumplimiento con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑAR OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE RESISTENTES A SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Civil, con fecha 19 de octubre 2011.



**Luis Enrique Corzo García**





**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



Guatemala, 6 de agosto de 2013

Ingeniero  
Hugo Leonel Montenegro Franco  
Director Escuela de Ingeniería Civil  
Facultad de Ingeniería  
Universidad de San Carlos de Guatemala

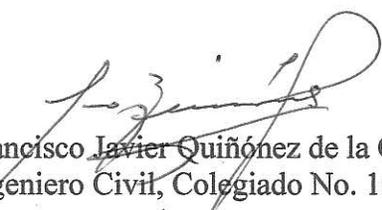
Señor Director:

Tengo el agrado de informarle que he revisado el trabajo de graduación titulado **GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑAR OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE RESISTENTES A SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, realizado por el estudiante universitario Luis Enrique Corzo García, quien contó con la asesoría del suscrito.

Considero que el trabajo realizado por el estudiante **Corzo García** cumple con los objetivos para los que fue planteado, por lo que recomiendo su aprobación.

Agradezco a usted la atención que se sirva prestar a la presente.

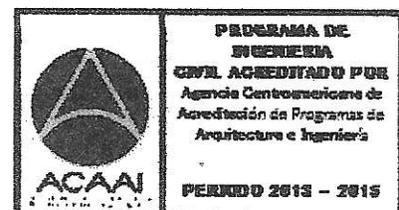
Atentamente,

  
Francisco Javier Quiñónez de la Cruz  
Ingeniero Civil, Colegiado No. 1941  
Asesor

**FRANCISCO JAVIER QUIÑÓNEZ DE LA CRUZ**  
Ingeniero civil colegiado No. 1941

Cc archivo

*Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua*







**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>



Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil

Guatemala,

18 de noviembre de 2013

Ingeniero

Hugo Leonel Montenegro Franco

Director Escuela Ingeniería Civil

Facultad de Ingeniería

Universidad de San Carlos

Estimado Ingeniero Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑAR OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE RESISTENTES A SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Luis Enrique Corzo García, quien contó con la asesoría del Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz.

Considero este trabajo bien desarrollado y representa un aporte para la comunidad del área y habiendo cumplido con los objetivos del referido trabajo doy mi aprobación al mismo solicitando darle el trámite respectivo.

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS

Lic. Manuel María Guillén Salazar  
Jefe del Departamento de Planeamiento



/bbdeb.

Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua







**USAC**  
TRICENTENARIA  
Universidad de San Carlos de Guatemala

<http://civil.ingenieria.usac.edu.gt>

Universidad de San Carlos de Guatemala  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Escuela de Ingeniería Civil



El director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz y del Jefe del Departamento de Planeamiento, Lic. Manuel María Guillén Salazar, al trabajo de graduación del estudiante Luis Enrique Corzo García, titulado **GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑAR OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE RESISTENTES A SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.

  
Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, enero de 2014.

*/bbdeb.*

*Mas de 134 años de Trabajo Académico y Mejora Continua*





Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

DTG. 011.2014

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al Trabajo de Graduación titulado: **GUÍA METODOLÓGICA PARA DISEÑAR OBRAS DE ABASTECIMIENTO DE AGUA POTABLE RESISTENTES A SISMOS EN LA REPÚBLICA DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Luis Enrique Corzo García**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE:

Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos  
Decano

Guatemala, 22 de enero de 2014

/gdech





## **ACTO QUE DEDICO A:**

- Mi padre** Luis Enrique Corzo, por apoyarme constantemente y depositar su confianza en mí.
- Mi madre** Marlin García, por darme su cariño y comprensión sin titubear.
- Mi hermana** Diana Morales, por ser ejemplo de superación personal y ser una figura de responsabilidad.
- Mi hermana** Alejandra Corzo, por acompañarme a lo largo de mi vida como una amiga incondicional.
- Mi novia** Marivy Godoy, por apoyarme incondicionalmente y motivarme a tener paciencia en este largo proceso.



## **AGRADECIMIENTOS A:**

**Dios**

Por darme las bendiciones diarias para poder llegar hasta este punto de mi vida.

**Universidad de San Carlos de Guatemala**

Por ser mi casa de estudios en la cual crecí en mi ámbito profesional y personal.

**Facultad de Ingeniería**

Mi alma máter.

**Unidades de Sae-Sap y Escuela de Ciencias de la Facultad de Ingeniería**

Por darme la oportunidad de dar mis primeros pasos como profesional.

**Ing. Francisco Javier Quiñónez de la Cruz**

Por asesorarme pacientemente en este trabajo de graduación.

**Amigos y amigas**

En especial a Andrea Barrientos, Andy Duque, Claudia Menéndez, Diego Villatoro, Ervin Carrillo, Eunice Duarte, Félix López, Gerson Gómez, Isaac Villatoro, José Pineda, Karen Ramírez, Luis Fernando Leal, y Romeo Tobar por acompañarme.



## ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS .....	IX
GLOSARIO .....	XI
RESUMEN.....	XXIII
OBJETIVOS.....	XXV
INTRODUCCIÓN .....	XXVII
1. RESEÑA HISTÓRICA .....	1
1.1. Sismos relevantes a nivel internacional.....	2
1.2. Sismos relevantes ocurridos en la República de Guatemala.....	5
1.2.1. Terremoto de 1917 .....	5
1.2.2. Terremoto de 1976 .....	6
1.2.3. Historial sísmico de 1976 a 2011 en Guatemala .....	6
1.2.4. Terremoto de 2012 .....	6
1.2.4.1. Resultado del proceso de recuento de daños en sistemas de agua y saneamiento .....	10
2. CONCEPTOS Y RIESGOS SÍSMICOS.....	11
2.1. Definición de sismo .....	11
2.2. Sismicidad .....	11
2.3. Escalas de medición de intensidad sísmica. ....	13
2.3.1. Intensidad Mercalli Modificada (IMM) .....	14
2.3.2. Escala de Richter.....	15
2.4. Vibración del terreno .....	17

2.5.	Licuefacción .....	17
2.6.	Agrietamiento, asentamiento y densificación .....	18
2.7.	Deslizamientos .....	19
2.8.	Ruptura por falla.....	20
3.	MITIGACIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS.....	21
3.1.	Mitigación de la licuefacción.....	21
3.2.	Mitigación de deslizamientos .....	23
3.3.	Mitigación de agrietamientos, asentamientos y densificaciones.....	24
4.	COMPONENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA....	25
4.1.	Fuentes .....	25
4.1.1.	Cuencas .....	25
4.1.2.	Represas.....	26
4.1.3.	Pozos .....	29
4.2.	Plantas de tratamiento y estaciones de bombeo.....	33
4.2.1.	Fallas geotécnicas y de cimentación y su mitigación .....	34
4.2.2.	Tanques y estructuras de mantenimiento.....	35
4.2.3.	Equipos y tuberías.....	36
4.3.	Tuberías .....	39
4.3.1.	Mecanismos de falla.....	39
4.4.	Tanques de almacenamiento y reservorios.....	41
4.4.1.	Consecuencias de falla .....	42
4.4.2.	Respuesta sísmica del contenido de un tanque .....	43
4.4.3.	Mecanismos de falla.....	45

5.	DISEÑO SISMORESISTENTE Y CONSIDERACIONES DE MITIGACIÓN SÍSMICA .....	55
5.1.	Parámetros para perforación de pozos .....	55
5.1.1.	Construcción sismorresistente de pozos y consideraciones para mitigación de daño sísmico..	56
5.2.	Consideraciones de diseño para tuberías .....	60
5.2.1.	Diseño sismorresistente de sistemas de tuberías y consideraciones para la mitigación de sismos .....	63
5.3.	Consideraciones de diseño para tanques de almacenamiento y reservorios.....	66
5.3.1.	Consideraciones previas a la construcción.....	67
5.3.2.	Muros de concreto reforzado para los depósitos rectangulares.....	68
5.3.3.	Consideraciones sísmicas de diseño.....	70
5.3.3.1.	Fuerzas hidrodinámicas.....	71
5.3.4.	Consideraciones de diseño estructural en tanques.....	76
6.	CONTROL DEL SISTEMA .....	83
6.1.	Alternativas de monitoreo y control .....	83
6.2.	Válvulas de control .....	84
6.3.	Tipos de aislamiento.....	85
6.3.1.	Aislamiento de reservorio .....	85
6.3.2.	Aislamiento en los cruces con fallas o ríos .....	86
6.3.3.	Aislamiento de áreas con alto riesgo .....	87
7.	PLANIFICACIÓN PREVENTIVA Y CONSIDERACIONES LUEGO DE DADO UN SUCESO O DAÑO SÍSMICO.....	91
7.1.	Planificación preventiva .....	91

7.1.1.	Esquema del plan.....	91
7.2.	Consideraciones luego de ocurrido un evento sísmico .....	94
7.2.1.	Evaluación de daños .....	95
7.2.2.	Manejo de información pública .....	97
7.2.3.	Restauración de la operatividad .....	97
CONCLUSIONES.....		101
RECOMENDACIONES .....		103
BIBLIOGRAFÍA.....		105

## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Distribución de placas sísmicas que atraviesan Guatemala .....	1
2.	Escala gráfica de daño sísmico ocurrida en el terremoto de 2012 en Guatemala.....	9
3.	Distribución de placas en Latinoamérica y el Caribe.....	12
4.	Catálogo sísmico de Guatemala .....	13
5.	Mapa preliminar de iso-intensidad en la escala de Mercalli Modificada.....	15
6.	Compresión telescópica debido al movimiento de falla.....	20
7.	Pérdida de la fuente de agua luego de un sismo. ....	31
8.	Fugas durante sismo debido a asentamiento en tubería de revestimiento.....	32
9.	Daño en planta de tratamiento en Limón, Costa Rica .....	35
10.	Tuberías apoyadas en tres direcciones ortogonales.....	36
11.	Válvula de aire destruida en Loma Prieta, California .....	37
12.	Tanques enterrados en Dagupan, Filipinas luego de sismo.....	38
13.	Fallas en tuberías sometidas a sismo .....	40
14.	Número de fuentes que abastecen a una zona.....	42
15.	Modelo oscilatorio de un tanque .....	43
16.	Distribución del peso “w” del tanque entre las cargas de impulsión y convención en términos del diámetro y la altura del tanque .....	44
17.	Daño al techo de un tanque debido al movimiento oscilatorio .....	46
18.	Tanque con malla de acero que falló debido a sismo en California .....	47
19.	Tanque no anclado que se deslizó en Moin, Costa Rica.....	48

20.	Tanque no anclado que desarrolló pandeo tipo “pie de elefante” en Moin, Costa Rica.....	49
21.	Diseño mejorado para tanques con pilotes hincados.....	50
22.	Colapso de un tanque elevado .....	51
23.	Detalle constructivo de pozo excavado.....	57
24.	Detalle constructivo de pozo perforado.....	59
25.	Solución propuesta para reducir la vulnerabilidad de la tubería .....	65
26.	Proporción de los muros de los tanques en relación con la altura.....	69
27.	Muro del depósito funcionando como voladizo cimentado en una zapata corrida .....	70
28.	Parámetros de estructura equivalente .....	72
29.	Unión muro-cubierta .....	77
30.	Soporte lateral de muro con la trabe perimetral de cubierta .....	78
31.	Muro con apoyo en zapata angosta.....	79
32.	Muro con apoyo en losa estructural.....	80
33.	Aislamiento mediante válvula de corte.....	86
34.	Aislamiento mediante válvula de corte en tubería vulnerable .....	87
35.	Aislamiento mediante válvulas de corte en zonas con alto riesgo a licuefacción .....	88
36.	Esquema del orden lógico de funciones del recurso humano involucrado en los procesos de levantado y digitalización de información de campo (boleta “SAS-Emergencia 2012”) y preparación/envío de reportes sobre daños en sistemas APS de centros poblados afectados por el terremoto.....	93
37.	Detalle de algunos campos de la “Boleta SAS - Emergencia 2012”, definida en consenso por las instituciones del sector agua potable y saneamiento para el recuento de los daños en sistemas APS. ....	96

## TABLAS

I.	Terremotos de gran daño en el período de 1949 a 1975 .....	2
II.	Terremotos de gran daño en el período de 1976 a 2006 .....	3
III.	Terremotos de gran daño en el período de 2007 a 2011 .....	4
IV.	Escala de Richter .....	16
V.	Valores de tolerancia aceptables en el diseño .....	68



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>Símbolo</b>	<b>Significado</b>
$\theta_h$	Amplitud angular
<b>H</b>	Altura
<b>H<sub>c</sub></b>	Altura convectiva
<b>H<sub>i</sub></b>	Altura impulsiva
<b>cm</b>	Centímetros
<b>coth</b>	Cotangente hiperbólica
<b>d</b>	Diámetro
$\alpha$	Factor de momento hidrodinámico
$\beta$	Factor de momento hidrodinámico
<b>g</b>	Gravedad
<b>hrs</b>	Horas
<b>kg/cm<sup>2</sup></b>	Kilogramo sobre centímetro cuadrado

<b>km</b>	Kilómetros
<b>L</b>	Longitud
<b>AC</b>	Máximo desplazamiento de masa convectiva respecto a la pare de los muros.
<b>N</b>	Número
<b>WL</b>	Peso
<b>“</b>	Pulgadas
<b>f'c</b>	Resistencia a la compresión del concreto
<b>KC</b>	Rigidez convectiva
<b>tanh</b>	Tangente hiperbólica
<b>HL</b>	Tirante
<b>Sv</b>	Velocidad espectral

## GLOSARIO

<b>ACI</b>	Siglas en inglés de American Concrete Institute: (Instituto Americano del Concreto).
<b>Ademe</b>	Encamisado que se realiza en el interior de un pozo para mantenerlo sanitariamente y estructuralmente estable.
<b>Agentes patógenos</b>	Es todo aquel elemento, sustancia o condición capaz de provocar alteraciones a la salud.
<b>AGIES</b>	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
<b>Alcantarillado</b>	Sistema de tuberías que trabajan a sección parcialmente llena entrelazados por medio de elementos de unión que dirigen un fluido de aguas negras, grises o de lluvia un punto hacia otro.
<b>APS</b>	Agua potable y saneamiento.

**AWWA**

Siglas en inglés de American Water Works Association (Asociación Americana de trabajos del Agua).

**Cajas repartidoras**

Elementos de un sistema de tuberías que se encargan de distribuir un gasto o caudal específico en una dirección determinada.

**Cajas rompedoras de presión**

Elementos utilizados en sistemas de abastecimiento de agua que sirven para reducir la presión existente hasta la presión atmosférica

**Capacidad soporte**

Resistencia que posee el suelo a soportar cargas en su superficie sin fallar o asentarse.

**Caucho**

Sustancia que emana de los árboles utilizada en la fabricación de elementos como los neumáticos.

**Caudal**

También llamado gasto, es la cantidad volumétrica de un fluido que transcurre en una unidad de tiempo por una sección constante.

<b>Cemento</b>	Conglomerante formado a partir de caliza y arcilla calcinadas y posteriormente molidas que tienen la propiedad de endurecerse al contacto con el agua.
<b>Coagulante</b>	Son sales metálicas que reaccionan con la alcalinidad del agua para producir un flóculo del hidróxido del metal, que incorpore distintos tipos de partículas coloidales, favoreciendo su separación por medio de sedimentación.
<b>Colector</b>	Tramo del alcantarillado público que conecta diversos ramales de una alcantarilla. Generalmente se construye bajo tierra.
<b>Compresión</b>	Fuerza que se ejerce sobre algo con el fin de reducir su volumen.
<b>Concreto</b>	Material de la mezcla de algún conglomerante con áridos y agua.
<b>Concreto reforzado</b>	Es la combinación de concreto, con un material distinto que, generalmente, le aumenta las propiedades de capacidad de resistir tensión.

<b>Corrosión</b>	Desgaste o destrucción lenta y paulatina de una cosa.
<b>Cortante</b>	Esfuerzo interno resultante de las tensiones paralelas a la sección transversal de un objeto.
<b>Cuenca</b>	Área geográfica en la cual todas las aguas de escorrentía son drenadas hacia un punto común, que generalmente es un río el cual termina en el mar o en un cuerpo de agua como un lago.
<b>Digestor de lodos</b>	Elemento de las plantas de tratamiento que realiza la separación de los contaminantes por medio de la oxigenación resultante de las bacterias internas trabajando con procesos anaeróbicos.
<b>Ductilidad</b>	Propiedad de los materiales que determina la capacidad de deformación sin perder la capacidad de regresar a su forma original.
<b>Empuje</b>	Resultante provocada por la tercera ley de Newton al sumergir un objeto en el agua, el cual sufrirá una fuerza

proporcional a su peso que lo elevara hacia la superficie.

**Encamisado**

Colocación de sello sanitario interior que puede constar de un arreglo de pvc o una malla metálica.

**Esfuerzo**

Cantidad de fuerza sobre unidad de a cual es aplicada.

**Espectro de diseño**

Rango o límite de diseño de una estructura, que determina sus características de respuesta ante un evento sísmico.

**Espesadores de lodos**

Mecanismo que se utiliza para la concentración de fangos y reducción de volumen a estabilizar o transportar y son de concreto reforzado.

**Estrato**

Capas en las cuales se encuentran divididos los sedimentos, rocas sedimentarias y rocas metamórficas.

**Estructura arriostrada**

Tipo de estructura que presenta elementos de arriostre que le dan capacidad de soportar fuerzas externas o deformaciones mayores a lo normal.

<b>Falla</b>	Rotura o fractura de la corteza terrestre a lo largo de las cuales, los terrenos experimentan un desplazamiento vertical u horizontal.
<b>Flexión</b>	Deformación que presenta un elemento estructural alargado en una dirección perpendicular a su eje longitudinal.
<b>Floculante</b>	Sustancia química que aglutina sólidos en suspensión, provocando su precipitación.
<b>Gavión</b>	Contenedores de piedras, retenidos o unidos con mallas de alambre.
<b>Granulometría</b>	Medición y gradación que se lleva a cabo de los granos de una formación sedimentaria, de los sedimentos o suelos, con la finalidad de conocer sus propiedades mecánicas y origen.
<b>Grava</b>	Conjunto o tipo de rocas comprendidas entre los 2 a 64 milímetros de diámetro .
<b>Hierro</b>	Elemento químico de número atómico 26, situado en el grupo 8 y cuyo símbolo es Fe.

<b><i>In situ</i></b>	Expresión del latín que significa “en el lugar”.
<b>Intensidad sísmica</b>	Forma de medir un sismo, por medio de los daños que se causan a personas o estructuras.
<b>Juntas</b>	Elementos elásticos que se intercalan en las estructuras de gran tamaño para evitar la fragmentación por dilatación u contracción térmica o sísmica.
<b>Losa</b>	Pieza de concreto reforzado prismática y de gran dimensión, utilizada como tapa o cierre de alguna estructura.
<b>Losa de cimentación</b>	Superficie de concreto reforzado utilizada para soportar una edificación.
<b>Manganeso</b>	Elemento químico de número atómico 25 situado en el grupo 7 y cuyo símbolo es Mn.
<b>Mortero</b>	Mezcla de conglomerantes inorgánicos, áridos y agua y posibles aditivos que sirve para pegar elementos de construcción, tales como bloques.

<b>Pilote</b>	Elemento constructivo utilizado para cimentación de obras, que permite trasladar las cargas verticales hasta un estrato resistente del suelo.
<b>Placa tectónica</b>	Fragmento de la litósfera que se mueve como bloque rígido sin que se deforme la astenósfera.
<b>Plomada</b>	Pesa normalmente de metal de forma cilíndrica o prismática, la parte inferior de forma cónica, que mediante la cuerda de la que pende, marca una línea vertical.
<b>Plomo</b>	Elemento químico con número atómico 82 y se identifica en la tabla periódica con el símbolo Pb.
<b>Poliestireno</b>	Polímero termoplástico que se obtiene de la polimerización del estireno.
<b>Polietileno</b>	El polímero químicamente más simple de todos. Se utiliza para la realización del plástico común.
<b>Postensado</b>	Estado especial de esfuerzos y deformaciones inducidas a una estructura de concreto para aumentar

sus capacidades de carga y deformación naturales, por medio de un tensado posterior al vertido del concreto en el molde de la estructura.

**Presión**

Magnitud física escalar que mide la fuerza en dirección perpendicular por unidad de superficie y caracteriza la aplicación de una fuerza sobre una superficie.

**PVC**

Abreviatura en inglés de *Polyvinyl chloride*, que significa cloruro de polivinil y es un polímero utilizado para la creación de tuberías.

**Resilencia**

Capacidad de los materiales que dictamina el límite que tiene el material para soportar carga sin sobrepasar su límite de proporcionalidad elástica.

**Revestimiento**

Capa exterior que sirve para cubrir una superficie.

**Sedimentadores**

Elementos usados en el tratamiento de aguas que sirven para sedimentar sólidos en el flujo existente.

<b>Silicatos</b>	Considerado el grupo más importante de minerales porque constituyen un 95 % de la corteza terrestre y son indispensables para la formación de las rocas
<b>Socavación</b>	Excavación profunda causada por el agua.
<b>Subducción</b>	Proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite convergente.
<b>Suelo consolidado</b>	Tipo de suelo que ha eliminado la humedad en exceso para realizar una reducción de volumen.
<b>Tamiz</b>	Arreglo de mallas utilizado para separar las partículas que logren pasar dicho arreglo del resto.
<b>Tanque séptico</b>	Fosa que recibe y trata las aguas servidas que provienen de una vivienda o edificación.
<b>Tensión</b>	Fuerza aplicada sobre un objeto que tiende a aumentar su longitud.

<b>Terraplén</b>	Tierra con la que se rellena un terreno para levantar su nivel y formar un plano de apoyo adecuado para hacer una obra.
<b>Torsión</b>	Acción o fuerza aplicada en modo rotacional, que tiende a girar las fibras de un objeto.
<b>Turbiedad</b>	Patrón de calificación para el agua que determina la cantidad de sólidos en suspensión sobre la superficie.
<b>Vibroflotación</b>	Apisonamiento de los suelos mediante mecanismos de vibración que sirve para estabilizar el suelo en el cual se aplica.
<b>Zapata</b>	Cimentación utilizada en terrenos grandemente homogéneos y de resistencias a compresión medias o altas.



## **RESUMEN**

En el presente trabajo de graduación se muestran los efectos sísmicos que pueden ocasionar daños a elementos constituyentes de los sistemas de abastecimiento de agua potable, las medidas a tomar para evitar dichos daños en el aspecto preventivo como constructivo y las acciones de respuesta dado algún evento sísmico.

La primera parte conformada de tres capítulos, hace mención a la historia de Guatemala y el mundo en términos de eventualidad de terremotos o sismos de importancia, así como los conceptos necesarios para comprender lo nocivo que pueden ser y las medidas para mitigarlos.

La segunda parte conformada de los capítulos IV y V, hace mención de los componentes más importantes de un sistema de abastecimiento de agua potable y de las posibles fallas que se pueden presentar, así como las consideraciones de diseño necesarios en cada uno.

La tercera parte conformada de los capítulos VI y VII, detalla aspectos de planificación preventiva, control y operación del sistema para asegurar una respuesta correcta a un posible daño, siendo su finalidad, evitar que dicho daño colateral ocurra.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Generar una guía aplicable al sector ingenieril guatemalteco que permita diseñar un sistema de abastecimiento de agua sismo resistente.

### **Específicos**

1. Identificar los tipos de fallas que pueden ocurrir en un acueducto y obras de abastecimiento de agua debido a sismos.
2. Citar las medidas constructivas para prevenir daños en acueductos y obras de abastecimiento de agua potable.
3. Enmarcar las formas de mitigación de problemas sísmicos en obras de abastecimiento de agua aplicado a zonas de alto riesgo sísmico.
4. Citar las normas, especificaciones técnicas y disposiciones especiales nacionales e internacionales para el diseño de construcciones de proyectos de abastecimiento de agua potable resistentes a sismos.
5. Generar un documento que facilite la capacitación del personal técnico y operativo para este tipo de proyectos.



## INTRODUCCIÓN

Debido a la creciente incidencia de sismos en el país, cada vez se vuelve imprescindible que exista la garantía de que las obras diseñadas por el ingeniero civil, específicamente las de abastecimiento de agua potable, puedan asimilar los embates sísmicos de la naturaleza de manera aceptable.

Es esta necesidad, la que lleva al ingeniero guatemalteco a la búsqueda de información que pueda guiarlo en los aspectos que se deben tomar en cuenta para el diseño apropiado de los elementos confortantes del sistema de abastecimiento de agua, y que dichos elementos, sean resistentes a sismos.

El conocimiento de los efectos sísmicos en las estructuras de abastecimiento de agua, las fallas típicas que se pueden generar por estos eventos y las medidas de mitigación que permiten elevar la vida útil de las obras, son parámetros de vital importancia para que el trabajo ingenieril sea totalmente satisfactorio, seguro y confiable.

La realización de una guía metodológica que englobe los procesos de conocimientos técnicos básicos con respecto a sismología, así como la forma de aplicarlos en obras de abastecimiento de agua potable, es de vital importancia.

El trabajo reúne las características necesarias para ser utilizado como una guía íntegra y completa para desarrolladores de obras de este tipo y como refuerzo para docentes y estudiantes en cursos sobre la materia.



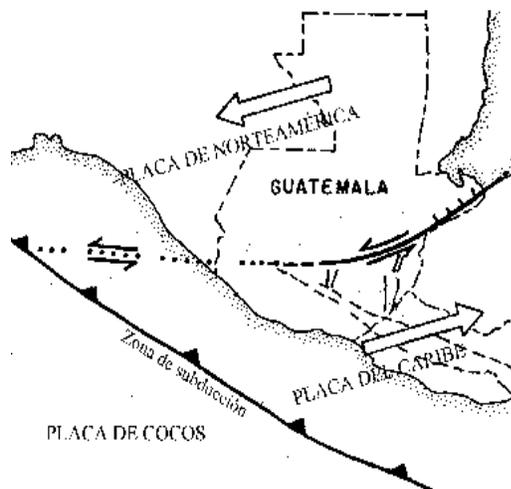
# 1. RESEÑA HISTÓRICA

La República de Guatemala está afectada por la interacción de tres placas tectónicas: Norteamérica, Caribe y Cocos.

El contacto entre las placas de Norteamérica y Caribe es de tipo transcurrente. Su manifestación en la superficie son las fallas de Chixoy-Polochic y Motagua. El contacto entre las placas de Cocos y del Caribe es de tipo convergente, en el cual la Placa de Cocos se introduce debajo de la Placa del Caribe.

Estos procesos generan deformaciones al interior de la Placa del Caribe, produciendo fallas secundarias como las de: Jalpatagua, Mixco, Santa Catarina Pinula, y otros. como se ve en la figura 1.

Figura 1. **Distribución de placas sísmicas que atraviesan Guatemala**



Fuente: <http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.htm>. Consulta: mayo de 2013.

## 1.1. Sismos relevantes a nivel internacional

En el mundo, la cantidad de desastres causados por los movimientos de las placas tectónicas, es innumerable. La magnitud de los daños causados por los terremotos a nivel mundial está relacionada con el número de habitantes que contiene la región en la cual ocurre el evento. A continuación se muestra una recopilación de los terremotos más fuertes en los últimos 62 años.

Tabla I. **Terremotos de gran daño en el período de 1949 a 1975**

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>
1949	Ecuador (Ambato y otras poblaciones)
1950	Pakistán
1951	Jucuapa Chinameca, El Salvador
1954	Argelia
1955	Filipinas
1956	Afganistán
1957	Irán
1960	Arequipa y poblaciones vecinas de Perú
1960	Agadir, Marruecos
1963	Libia
1964	Taiwán
1972	Managua, Nicaragua
1975	Haicheng, China

Fuente: <http://www.insivumeh.gob.gt>. Consulta: mayo 2012.

Tabla II. **Terremotos de gran daño en el período de 1976 a 2006**

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>
1976	Guatemala
1976	Tangshan, China
1985	Guerrero, México
1986	San Salvador, El Salvador
1988	Armenia
1990	Irán
1990	Filipinas
1991	Afganistán/Pakistán
1991	India
1992	Turquía
1992	El Cairo, Egipto
1992	Flores, Indonesia
1993	India
1994	Colombia
1994	Argelia
1995	Kobe, Japón
1995	Rusia
1997	Irán
1997	Irán
2004	Sumatra, Indonesia
2005	Sumatra, Indonesia
2005	Islas Nias
2006	Java, Indonesia

Fuente: <http://www.insivumeh.gob.gt>. Consulta: mayo 2012

Tabla III. **Terremotos de gran daño en el período de 2007 a 2011**

<b>Año</b>	<b>Lugar</b>
2007	Sumatra, Indonesia
2007	Las islas Salomón
2007	Chincha Alta, Perú
2008	Sichuan, China
2008	Pakistán
2009	Abruzzo, Italia
2009	Islas Somoa
2009	Sumatra, Indonesia
2010	Puerto Príncipe, Haití
2010	Quingai, China
2010	Región de Maule, Chile
2010	Concepción, Chile
2011	Canterbury, Nueva Zelanda
2011	Japón
2011	Japón
2011	Indonesia
2011	Fukushima, Japón
2011	Alaska
2011	Santa Rosa, Guatemala
2011	Sikkim, India
2011	Van, Turquía

Fuente: <http://www.insivumeh.gob.gt>. Consulta: mayo 2012

## **1.2. Sismos relevantes ocurridos en la República de Guatemala**

Guatemala es un país que ha sido golpeado en varias ocasiones por sismos de alta intensidad, como de intensidad moderada. A lo largo del siglo XX, los movimientos telúricos se hicieron presentes causando grande daño. Entre los sismos importantes se destacan dos, si bien no fueron los de mayor liberación de energía, si los más destructivos. Siendo estos los terremotos de 1917 y 1976.

### **1.2.1. Terremoto de 1917**

Se produjo una serie de sismos, en el cual se dieron las condiciones para reconocer estos dos eventos como los más importantes.

El 27 de noviembre de 1917 se hizo sentir un fuerte evento en las proximidades de la capital. La actividad se continuó percibiendo en los días subsiguientes; hasta que el día 26 de diciembre a las 05:21:00 horas una enorme liberación de energía tuvo lugar y destruyó gran parte el centro histórico de ciudad de Guatemala y proximidades. A esta le sucedió otra, a las 06:18:00 horas y se reportaron más de 250 personas fallecidas.

El 4 de enero de 1918, a las 04:30.10 y 04:32.25 horas, dos nuevos eventos sacudieron la ciudad. El final de la fuerte actividad telúrica fue el 24 de enero aproximadamente a las 07:30 horas. Este reportó daños, pero es lógico pensar que la ciudad había sufrido sacudidas; de tal manera que no se puede definir si el evento fue más o menos fuerte que los anteriores.

### **1.2.2. Terremoto de 1976**

El evento que más estragos ha causado en el siglo XX es sin duda el terremoto de 1976.

Fue registrado el día 4 de febrero a las 03:03:33 horas, localizado en 15.32 grados latitud norte y 89,10 grados longitud oeste, de características superficiales, alrededor de 5 km. de profundidad y magnitud Ms= 7,5 grados.

Los efectos de la ruptura fueron desastrosos, se registraron mediciones de desplazamiento horizontal de más de 3,00 m. en algunas partes a lo largo de la falla, se crearon aceleraciones muy altas que ocasionaron la destrucción de miles de viviendas en las zonas adyacentes, incluyendo el valle de la ciudad capital, se registraron cerca de 25 000 muertos y 75 000 heridos y aunque no se fijaron cifras exactas, se calcula que las pérdidas excedieron más de mil millones de dólares y los gastos de reconstrucción en vías de locomoción y edificaciones superó los mil millones de dólares.

### **1.2.3. Historial sísmico de 1976 a 2011 en Guatemala**

A pesar de que solo 2 terremotos se han considerado de alta destructividad en el siglo pasado, el movimiento de placas tectónicas ha continuado como es de esperarse.

### **1.2.4. Terremoto de 2012**

A las 10:35 horas del día miércoles 7/11/2012 se registró un fuerte sismo de 7,2 grados en la escala de Richter con epicentro en las costas del Pacífico de la República de Guatemala. El evento natural ocasionó daños materiales y

pérdidas de vidas humanas en el occidente del país, siendo San Marcos, Quetzaltenango, Sololá, Suchitepéquez, Totonicapán, Retalhuleu, Quiché y Huehuetenango los departamentos de mayor afección, según el informe preliminar de daños del Sistema Nacional para la Reducción de Desastres CONRED, Gobierno de Guatemala.

Este es el sismo más fuerte que se haya registrado en Guatemala después de 36 años, cuando el terremoto del 4 de febrero de 1976, con una magnitud 7,5 en la escala de Richter, sacudió el país, dejando más de 25 000 muertos.

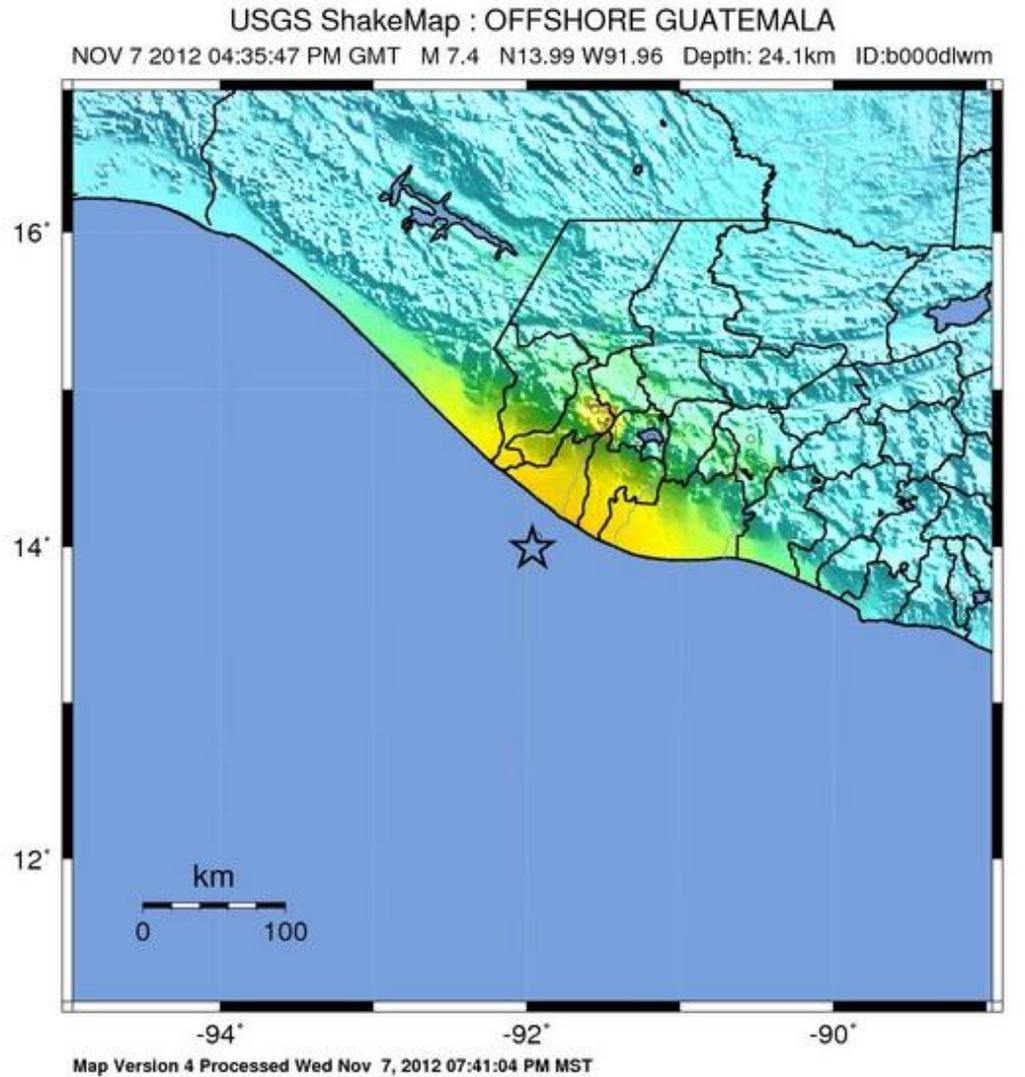
El sismo fue causado por las tensiones acumuladas en una falla inversa en la zona de subducción que se encuentra a lo largo de la costa del Pacífico de Guatemala. Se trata de una zona con una alta sismicidad causada por la placa de Cocos que empuja contra la placa del Caribe y la placa Norteamericana.

Según datos del Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH) y del *United States Geological Survey (USGS)*, se produjeron más de 180 réplicas con una magnitud de entre 3,5 y 6,5, de las cuales 5 fueron sentidas en el país, poniendo en riesgo las obras de rescate.

Se ha confirmado un total de 44 muertos y 175 heridos. En el departamento de San Marcos se registraron 30 muertos, así como edificios colapsados o con daños severos. Los daños materiales fueron considerables en los 8 departamentos afectados. Miles de viviendas sufrieron daños severos o fueron destruidas, carreteras bloqueadas por deslizamientos y se produjeron cortes de electricidad y de comunicación.

Según información preliminar de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), 12 376 viviendas fueron afectadas, de las cuales 2637 han sido declaradas inhabitables. Brigadas de evaluación de daños compuesta por 800 técnicos de la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED), fueron creadas para evaluar la totalidad de los daños en los departamentos afectados. Más de 25 000 personas fueron evacuadas, de las cuales más de 9000 fueron atendidas en 61 albergues en los departamentos de San Marcos, Quiché y Quetzaltenango.

Figura 2. Escala gráfica de daño sísmico ocurrida en el terremoto de 2012 en Guatemala



PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2011)

Fuente: *The United States Geological Survey (USGS).*

#### **1.2.4.1. Resultado del proceso de recuento de daños en sistemas de agua y saneamiento**

La fase del proceso de recuento de daños en el sistema APS (agua potable y saneamiento) finalizó el día 05 de diciembre de 2012. Se utilizaron 28 días para el recuento y se pudo recolectar, digitalizar y generar reportes de daños para un total de 181 sistemas de agua potable y saneamiento a nivel local, ubicados en 8 departamentos afectados, de la manera siguiente: 121 en San Marcos; 26 en Quetzaltenango; 22 en Sololá; 8 en Suchitepéquez; 1 en Huehuetenango; 1 en Quiché; 1 en Retalhuleu; 1 en Totonicapán (el apoyo directo del PC se brindó en San Marcos y Quetzaltenango).

Con la información obtenida de los terremotos pasados, conjugado con la información que brinda el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH), se conoce la capacidad que pueden tener este tipo de eventos en el territorio guatemalteco.

El terremoto más reciente que afectó al país demostró la falta de seguridad en las estructuras de agua potable, que además del daño que presentan, causan un problema a la población ya que los sistemas colapsan parcial y totalmente y se ve interrumpida la distribución del vital líquido indispensable para la vida. Por medio de los mecanismos de evaluación de daños ahora es posible realizar un recuento rápido y objetivo de los mismos, garantizando una eficiencia mayor en la reparación del sistema.

Las autoridades deben brindar capacitaciones constantes a sus trabajadores como a las comunidades para que puedan garantizar un estado de alerta y conocimiento de los procedimientos a seguir para que la comunidad afectada pueda resolver lo antes posible el problema.

## **2. CONCEPTOS Y RIESGOS SÍSMICOS**

Para poder comprender con propiedad los efectos que producen los sismos en las obras de agua potable, es necesario definir lo que es un sismo, así como los parámetros con los cuales se obtiene la información de intensidad y los riesgos que pueden provocar en las cercanías de los sistemas.

### **2.1. Definición de sismo**

Puede definirse como sismo al movimiento de la corteza terrestre causado por el movimiento de las placas tectónicas, las que al moverse y rozarse unas con otras, provocan liberación de energía cinética provocando perturbaciones en los estratos y causando un movimiento oscilatorio.

### **2.2. Sismicidad**

En particular para la mayoría de los países en Latinoamérica y el Caribe los sismos son atribuibles al movimiento de las Placas de Cocos, Placa Caribe, Placa de Nazca, Placa Sudamericana, Placa Antártica y Placa Scotia.

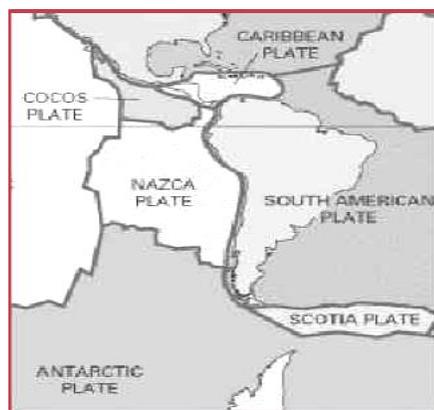
El movimiento de las placas puede ser de diferentes tipos. Puede decirse que existe el movimiento de occidente a oriente de una placa y viceversa de la placa colindante, las cuales generan sismos de subducción típicos en las costas desde Venezuela hasta Chile.

En el caso de Guatemala, se presenta el fenómeno de sismos intraplaca, los cuales se generan por el desplazamiento horizontal de las fallas. Claro ejemplo de este tipo de eventos es el terremoto de 1976, generado por el movimiento horizontal de la falla del Motagua.

Por la configuración de la zona sísmica en el continente, la región de la costa del Pacífico se considera la más vulnerable en Guatemala. La sismicidad del país es elevada debido a la cantidad de fallas que lo atraviesan, dando así la pauta de que el peligro de un terremoto de gran magnitud es real.

Como puede apreciarse en la figura 3, Guatemala se encuentra entre tres placas de alta actividad sísmica; Norteamericana, Caribe y Cocos. En el caso específico del terremoto 07/11/12 que afectó a San Marcos y departamentos cercanos se originó por la interacción de estas placas.

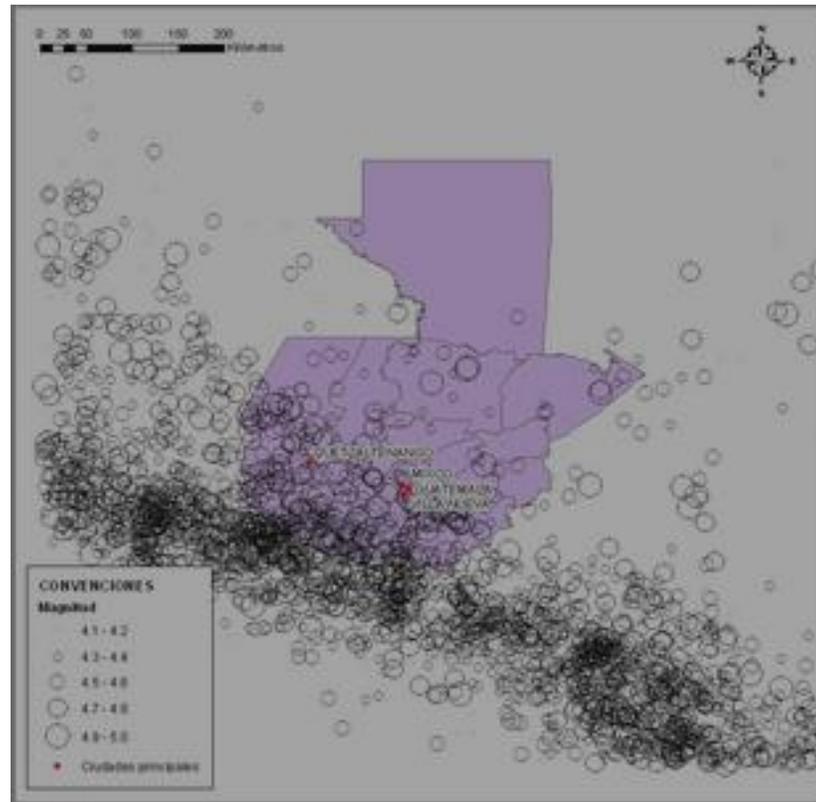
Figura 3. **Distribución de placas en Latinoamérica y el Caribe**



Fuente: Manual de diseño de tuberías OPS/OMS, 2003.

En la figura 4 muestra el catálogo de incidencia sísmica en la región guatemalteca, mostrando que la gran mayoría de sismos de magnitud significativa ocurren en la región costera del Pacífico.

Figura 4. **Catálogo sísmico de Guatemala**



Fuente: [www.ocapra.org](http://www.ocapra.org). Consulta: octubre 2012.

### **2.3. Escalas de medición de intensidad sísmica.**

La magnitud de un terremoto puede medirse desde dos puntos de vista diferentes. Estos puntos de vista son: la energía que liberan las placas al moverse y el daño material y humano que produce el evento.

Indistintamente de que punto de vista se utilice para medir la magnitud de un terremoto, ambos llevan ligado el término intensidad. Describe los efectos de la vibración o la extensión de los daños en un lugar o sitio específico. La

intensidad en un sitio está determinada por la magnitud del sismo, la duración de la vibración, la distancia desde este hasta su epicentro o la superficie de ruptura y las condiciones geológicas locales. La duración del sismo depende de la longitud de la falla y, por tanto, de la cantidad de energía liberada.

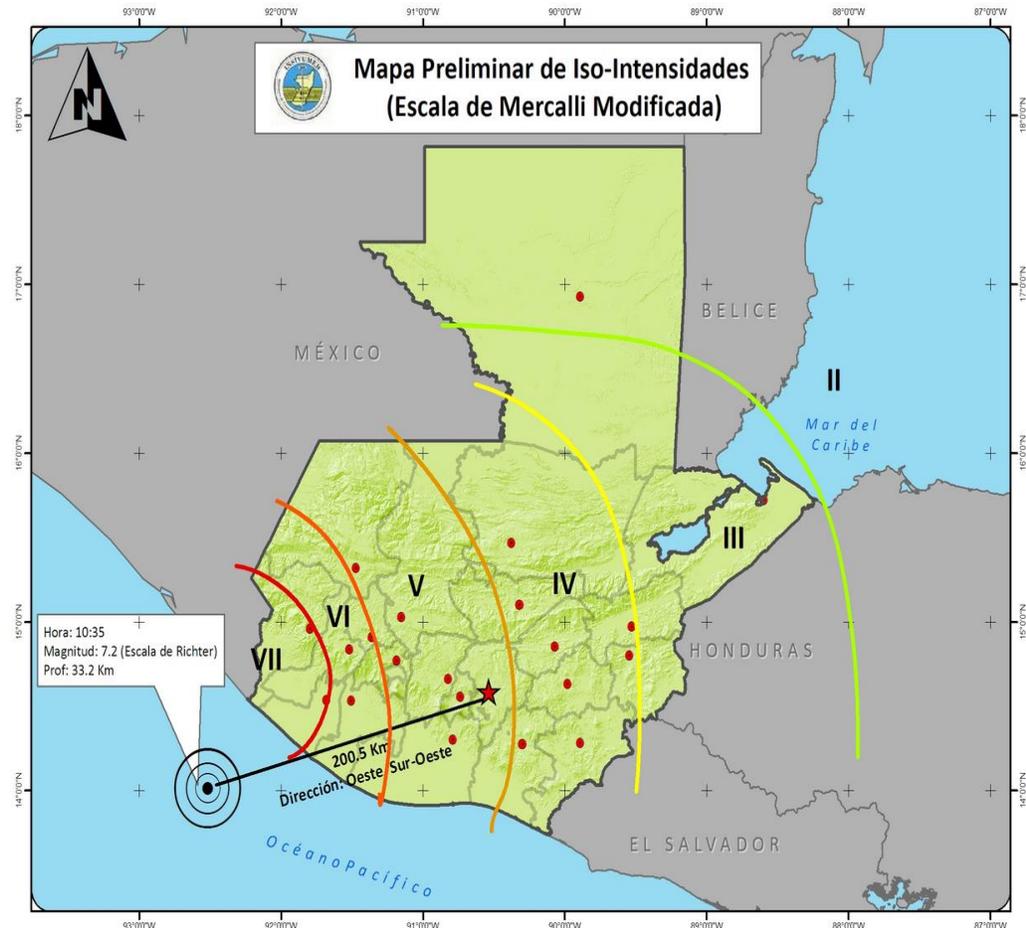
Las escalas de medición utilizadas en la actualidad son las Escala de Richter y la Intensidad Mercalli Modificada (IMM).

### **2.3.1. Intensidad Mercalli Modificada (IMM)**

Esta escala de medición de intensidad se basa principalmente en los daños que sufren las estructuras y el entorno en un sismo. Esto significa que para dos regiones diferentes afectadas por un mismo sismo, la Escala de Mercalli puede determinar valores distintos de intensidad. Esta escala varía desde el nivel I (casi imperceptible a los sentidos) hasta XII (destrucción total). Esta escala es subjetiva ya que depende de la apreciación del profesional que evalúa los daños.

En la figura 5 se muestra el mapa de iso-intensidades de la República de Guatemala para la escala de Mercalli Modificada mostrando el epicentro del último terremoto que afectó al país.

Figura 5. **Mapa preliminar de iso-intensidad en la escala de Mercalli modificada**



Fuente: <http://www.insivumeh.gov.gt/geofisica/Isointensidades>. Consulta: julio 2013.

### 2.3.2. Escala de Richter

Representa la energía sísmica liberada en cada terremoto y se basa en el registro sismográfico. Es una escala que crece en forma potencial o semilogarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento diez o más veces mayor de la magnitud de las ondas (vibración de la

tierra), pero la energía liberada aumenta 32 veces. Una magnitud 4 no es el doble de 2, sino que 100 veces mayor.

En la tabla IV se presentan los valores de la Escala Richter, la cual se mide en números ordinales.

Tabla IV. **Escala de Richter**

<b>Magnitud en Escala Richter</b>	<b>Efectos del terremoto</b>
Menos de 3.5	Generalmente no se siente, pero es registrado
3.5 - 5.4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores
5.5 - 6.0	Ocasiona daños ligeros a edificios
6.1 - 6.9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7.0 - 7.9	Terremoto mayor. Causa graves daños
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Fuente: elaboración propia, con base a <http://www.insivumeh.gob.gt>.

## **2.4. Vibración del terreno**

La vibración del terreno es la amenaza sísmica más común y puede causar un daño aislado pero extendido. La vibración del terreno incluye movimientos horizontales y verticales que pueden durar desde varios segundos hasta varios minutos en caso de terremotos severos y pueden ser destructivos a varios cientos de kilómetros de distancia, dependiendo de las condiciones locales del suelo.

## **2.5. Licuefacción**

La licuefacción es un fenómeno en el que suelos saturados, no consolidados y no cohesivos pierden su resistencia al corte debido a vibraciones del terreno y temporalmente se transforman a un estado licuado.

Cuando se trata de licuefacción, se puede asociar 4 fallas comunes. Ellas son:

- **Flujos de tierra:** los materiales del suelo se desplazan rápidamente cuesta abajo en un estado licuado.
- **Flujo lateral:** desplazamiento limitado de las capas superficiales del suelo por pendientes suaves o hacia superficies libres, como márgenes del río.
- **Flotación:** objetos enterrados menos pesados que el suelo licuado desplazado, como tanques, buzones o tuberías de gravedad, flotan en la superficie.

- Pérdida de resistencia de soporte: reducción de la capacidad de soporte de los cimientos debido al debilitamiento del material del suelo subyacente o adyacente que puede hacer que las estructuras se hundan.

La licuefacción a menudo ocurre en las capas subsuperficiales revestidas de suelos superficiales adecuados. Cuando estas capas más profundas se licuan, las capas superficiales del suelo a menudo se mueven lateralmente en bloques sólidos.

La experiencia ha demostrado que existen siete factores importantes para determinar el potencial de un suelo para licuarse:

- Distribución del tamaño de los granos.
- Profundidad a las aguas subterráneas.
- Densidad.
- Peso del recubrimiento y profundidad del suelo.
- Amplitud y duración de la vibración del terreno.
- Edad del depósito.
- Origen del suelo.

## **2.6. Agrietamiento, asentamiento y densificación**

El asentamiento, compactación o densificación son similares a los fenómenos que ocurren en la licuefacción, pero sin la presencia de aguas subterráneas. Esto produce un asentamiento que generalmente es mínimo si se compara con la deformación permanente del suelo provocada por la licuefacción o el flujo lateral.

El agrietamiento o fracturación es el desplazamiento lateral de los suelos hacia superficies libres, lo cual produce la formación de grietas. Puede ocurrir en áreas donde se produciría el flujo lateral, excepto que no hay agua subterránea presente.

## **2.7. Deslizamientos**

Este es el resultado del desprendimiento de suelo por efecto sísmico y pueden catalogarse en cuatro tipos:

- Desprendimientos: movimientos repentinos de material geológico causado por socavación.
- Volcamientos: rocas que caen hacia adelante, separándose de la masa principal.
- Derrumbes: movimientos a lo largo de una superficie de ruptura definida; incluyen derrumbes rotacionales, traslacionales y laterales.
- Flujos laterales: desplazamiento casi horizontal del material licuado (ver licuefacción).
- Flujos: flujo de escombros, aluviones, desprendimiento de tierras, flujos de lodo o deslaves, (residuos volcánicos más agua) y deslizamiento subacuoso.

## 2.8. Ruptura por falla

En un sistema de abastecimiento de agua, las tuberías enterradas son los componentes con mayor probabilidad de resultar afectados por el cruce de fallas. Los desplazamientos horizontales permanentes de varios pies de longitud pueden cortar todas las tuberías, excepto las enterradas o las que van por encima del terreno que estén mejor diseñadas como puede apreciarse en la figura 6.

Figura 6. **Compresión telescópica debido al movimiento de falla**



Fuente: Manual de diseño de tuberías OPS/OMS, 2003.

### **3. MITIGACIÓN DE RIESGOS SÍSMICOS**

#### **3.1. Mitigación de la licuefacción**

Para evitar el efecto destructivo de la licuefacción se citan las siguientes recomendaciones:

- Evitar áreas donde pueda ocurrir la licuefacción y el flujo lateral, por medio del cambio de trazado horizontal de la red. Así también se recomienda cambiar el trazado vertical de las tuberías por medio de la perforación direccional para que los mantos freáticos queden por debajo de los materiales licuables.
- Reemplazar el material con relleno compactado. Se debe observar el ancho adecuado para que resista el movimiento de los suelos licuables contiguos.
- Usar muros de contención.
- Realizar compactación dinámica por medio de dejar caer pesos de 2 a 200 toneladas de alturas de hasta 36 m.
- Realizar vibroflotación con la ayuda de un chorro de agua a presión con espaciamientos entre 1,5 a 3 metros y volver a llenar con arena luego de la extracción.

- Columnas de piedra. Usar un vibrador para realizar agujeros en el terreno con la ayuda de un chorro de agua a presión con espaciamientos entre 1,5 a 3 metros y llenar con grava luego de la extracción. Las columnas de piedra proporcionan resistencia y drenaje.
- Inyección para impermeabilización. Llenar los vacíos con una lechada de cemento utilizando silicatos, cemento o productos químicos.
- Inyección para compactación. Expandir la cavidad de los huecos preperforados y bombear concreto líquido para construcciones *in situ*.
- Pilotes de compactación. El terreno se consolida durante la instalación de tuberías las cuales provocaran que el material tenga una región vertical rígida la cual le ayude para fijar un punto de confinamiento.
- Mezcla de suelo profundo. Aplicar a diámetros mayores en donde se bombea una mezcla de suelo y concreto líquido, la cual por medio del endurecimiento paulatino y gradual de la parte cementante del concreto, generara una estabilidad en el material anteriormente licuable.
- Drenaje: por gravedad o bombeo para eliminar la cantidad de agua excedente del suelo.
- Colocar los cimientos por debajo del material licuable para evitar que se encuentren en la región viscosa.
- Agregar peso a la estructura para lograr una flotabilidad neutral. Esto se puede lograr utilizando masa de concreto.

- Agregar masa de concreto
- Usar material flexible al movimiento.
- Aceptar el daño por medio de la utilización de válvulas de corte

### **3.2. Mitigación de deslizamientos**

Los deslizamientos y derrumbes se pueden mitigar por medio de la utilización de los siguientes elementos:

- Drenaje. Al colocar drenaje en los taludes, se evita la saturación del suelo por medio de la evacuación del agua por medio de la colocación de tuberías transversales al rostro cortado del talud.
- Re nivelación de la pendiente. Consiste en nivelar el terreno para evitar puntos elevados que, por medio del peso del material, pueda provocar deslizamientos
- Construcción de estructuras de contención como muros de contención o gaviones de retención de taludes
- Vegetación. El material vegetal crea un confinamiento natural por medio de las raíces, las cuales se entrelazan en el suelo y provocan mayor dificultad de que las partículas de suelo se desprendan unas de otras
- Endurecimiento del suelo por medio de la utilización de lodocreto.

La caída de escombros puede mitigarse por utilización de disipadores de energía y las obras que puedan ser afectados por los deslizamientos de material pueden protegerse con muros de contención.

### **3.3. Mitigación de agrietamientos, asentamientos y densificaciones**

Las medidas de mitigación para prevenir el asentamiento o densificación son similares a algunas medidas empleadas en la licuefacción para incrementar la densidad o resistencia del suelo.

Las condiciones de los suelos en nuestro país son diversas. Pueden encontrarse suelos con características óptimas y de poco riesgo de fallas como las mencionadas anteriormente, como suelos en condiciones de alta probabilidad de daño. Es importante que el profesional sepa que es necesario realizar un análisis de suelos para determinar las características mecánicas del mismo y así tener presente los riesgos existentes.

De no ser posible una reubicación de las estructuras de agua potable a un suelo mejor, la implementación de las medidas de mitigación de daños es de vital importancia para garantizar la integridad del sistema.

La mayoría de problemas presentados en un suelo se deben a la presencia del agua. Si se logra controlar este problema por medio de los tratamientos y medidas citadas en este capítulo, puede garantizarse gran parte de la seguridad del sistema. Al eliminar la presencia de agua, se aumenta la densidad del suelo y se fortalece.

Utilizando recursos como vegetación, drenajes e inyecciones de materiales impermeables como el concreto se garantiza estabilidad.

## **4. COMPONENTES DEL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA**

### **4.1. Fuentes**

Las fuentes utilizadas para el servicio de agua potable proceden de la acción recolectora de los accidentes geológicos de la naturaleza como lo son las cuencas y represas que acumulan el agua pluvial, y que a su vez, esta es captada por un cuerpo de agua como un río. Adicionalmente, se cuenta con la opción de obtener fuentes por debajo del suelo por medio de los pozos.

En Guatemala se implementa la utilización de un mecanismo de boletas para la integración de la información nacional acerca de la protección de las fuentes de agua (boleta IEFA-2010) (GEA, 2009b; GEA, 2010a).

#### **4.1.1. Cuencas**

Una cuenca hidrográfica se define como el área donde se recolecta el agua superficial que escurre debido a la lluvia y al deshielo. Usualmente alimentan a un cuerpo de agua receptor como un arroyo o lago.

Los deslizamientos generados por los sismos pueden aumentar la turbiedad del agua, cuando los terrenos se encuentran erosionados los cuales, en situación de daño, crean dificultad para ingresar al lugar.

Los pasos de tuberías conductoras de materiales químicamente peligrosos, como petróleo o lugares de almacenamiento químico pueden colapsar a la hora de un evento sísmico. Para evitar este desastre es importante que estos elementos se encuentren lo más alejado posible de los pasos de agua.

Cuando la contaminación del agua sea inminente, puede optarse por obtener el agua para abastecimiento en un punto más elevado que a la zona de captación como una manera provisional mientras se utilizan mecanismos floculantes o coagulantes para estabilizar la contaminación del agua.

En Guatemala, por medio del sistema de manejo de cuencas (SIA\_MARN) se unifican datos importantes que ayudan a la administración, catalogación y control de información de las cuencas del país.

#### **4.1.2. Represas**

Las represas que contienen agua para sistemas de abastecimiento generalmente son represas de tierra, de enrocado o de concreto con compuertas, vertederos, conductos, túneles y estructuras de captación.

Las represas de tierra tienen un núcleo, zonas de transición, drenajes y filtros de arena adyacentes al núcleo. Con frecuencia, se inyecta concreto líquido debajo del núcleo en el material de cimentación y en los empotramientos para prevenir que el agua penetre.

Las obras de captación asociadas a los reservorios de almacenamiento generalmente son de tipo torre y son vulnerables a los efectos de las fuerzas de inercia, al asentamiento y al deslizamiento de los reservorios en la parte inferior.

Las represas de tierra que han sufrido fallas debido a terremotos es porque fueron construidas con un material mal compactado, por estar situadas en terrenos que no son lo suficientemente densos como un terraplén y represas situadas en terraplenes muy empinados.

Cuando se abren grietas en el terraplén o en los cimientos, las tuberías pueden resultar afectadas si las grietas permanecen abiertas.

La licuefacción puede ocurrir en zonas saturadas con materiales no cohesivos que se encuentran sueltos o marginalmente compactados, tales como terraplenes de sedimento hidráulico.

Los vertederos y los conductos de salida en todos los tipos de represas pueden tener obstrucciones, compuertas y montacargas dañados, o revestimientos mal colocados.

Luego de ocurrido un sismo, es importante hacer una observación visual de los daños y hacer una evacuación de fallas si se da un aumento o disminución de caudal aguas abajo. Se aconseja realizar una inspección minuciosa de lo siguiente:

- Grietas en las caras de la represa, asentamiento o infiltraciones
- Desplazamientos, grietas o nuevos brotes de agua
- Drenaje o infiltraciones por aumento del flujo
- Desplazamiento o deformación en las estructuras de los vertederos y compuertas

- Deslizamientos en el reservorio
- Grietas, desmoronamientos o desplazamientos en las estructuras de concreto complementarias
- Plantas de energía
- Suministro de electricidad de emergencia

Cuando se esté utilizando una represa de tierra, es necesario fortalecer el núcleo con un material resistente al agrietamiento. Además, es importante proporcionar una mayor altura entre el nivel del agua y el borde de la represa para disminuir el nivel operativo. Introducir pendientes de taludes lo más bajas posible o añadir muros de contención para evitar el deslizamiento de los taludes.

Debido a que el material licuable puede ocasionar daños a la cimentación, es de gran utilidad inyectar cemento líquido al suelo para aumentar su resistencia a la licuefacción.

En Guatemala, el daño de las represas de tierra y concreto puede ser un incidente que tomaría mucho tiempo reparar, y que causaría un daño en el suministro de líquido, además de los daños de los elementos internos como las zonas de impermeabilidad, daño económico y humano alto. Es importante que la represa se encuentre cimentada en un estrato estable y que garantice una geometría firme.

Para garantizar una respuesta adecuada de las represas, es necesario realizar un análisis dinámico y determinar los esfuerzos y el potencial de agrietamiento.

Las represas de concreto pueden estabilizarse por medio de la utilización de muros de contención o contrafuertes, drenajes o la disminución del volumen de almacenamiento.

#### **4.1.3. Pozos**

Los pozos son los elementos de los cuales se extrae el agua a utilizar en el sistema de abastecimiento. Generalmente un pozo se encuentra constituido de los siguientes elementos:

- Acuífero
- Tubería de revestimiento y tamiz del pozo
- Bomba y motor
- Suministro de energía
- Tuberías de conexión, válvulas y accesorios
- Estructura de la caseta del pozo

Generalmente, los pozos municipales usan bombas de turbina vertical instaladas por debajo del nivel de agua. Las bombas pueden ser operadas por motores sumergibles sujetos directamente a la parte inferior de la bomba o

por ejes de transmisión conectados al motor en el cabezal del pozo. Las bombas para pozos profundos también pueden usar propulsores verticales y pueden ser activadas por motores de combustión interna.

La geohidrología de los acuíferos puede cambiar la capacidad de producción de los pozos a causa de un movimiento sísmico. Los acuíferos poco profundos parecen estar más afectados que los acuíferos más profundos. Estos pueden ser contaminados por aguas negras no tratadas provenientes del alcantarillado cercano, por efluentes de tanques sépticos o materiales peligrosos que llegan al acuífero a través de las capas permeables o por una tubería de revestimiento no sellada del pozo. Se recomienda usar fuentes de agua alternativas. La contaminación de los acuíferos se puede controlar mediante el sello de los pozos y un programa de protección de bocas de pozo. Los sistemas sépticos no deben estar ubicados cerca de los pozos.

En la figura 7 se muestra una pérdida de una fuente por el daño de un pozo en El Salvador, generado por el agrietamiento y separación de las paredes confinantes del pozo.

Figura 7. **Pérdida de la fuente de agua luego de un sismo**



Fuente: BALLANTYNE, Donald B.

Las tuberías de revestimiento, también llamadas en el medio “camisas” y las bombas expuestas a la propagación de la onda sísmica se moverán con los suelos que se encuentren alrededor del pozo. Este movimiento puede causar la rotura o desconexión de bombas, motores y líneas de descarga que no tengan acoplamientos flexibles. Los suelos alrededor del pozo pueden consolidarse y asentarse, lo cual haría extenderse el encamisado del pozo por sobre el nivel del suelo. Las tuberías de conexión pueden romperse. Las bombas deben ser de acero en lugar de hierro fundido a fin de que puedan absorber la energía de la vibración. La tubería de descarga de la bomba también debe ser de acero en lugar de hierro fundido. Se debe proporcionar cierta flexibilidad entre la tubería

de revestimiento y la losa de la construcción que la rodea, y entre la tubería de revestimiento y las de conexión. En la figura 8 se muestran las fugas provocadas a las tuberías de revestimiento debido al asentamiento.

Figura 8. **Fugas durante sismo debido a asentamiento en tubería de revestimiento**



Fuente: *M.J. O' Rourke Earthquake in Landres, California.*

La tubería de revestimiento y de descarga de la bomba y el eje de transmisión se puede doblar, aplastar o romper debido al desplazamiento del terreno o la vibración. Las bombas sumergibles no dependen del eje de transmisión así que son más confiables. Si la tubería de revestimiento se dobla, será imposible retirar la bomba, sea el tipo que sea.

Evitar áreas donde podría ocurrir el flujo lateral, tales como áreas vulnerables a la licuefacción en una pendiente o cerca de una superficie libre. Si no se pueden evitar, se debe estabilizar el área o reforzar la tubería de

revestimiento del pozo para que resista el desplazamiento lateral del terreno. El uso de tuberías de revestimiento pesadas o tuberías dobles a la profundidad donde se espera que se produzca la licuefacción, puede limitar el daño ya que permitiría el movimiento de la tubería exterior, pero no de la tubería interior, donde se encuentra instalado el equipo de bombeo.

Es importante que el tamiz del pozo este en óptimas condiciones, ya que luego de un sismo, se puede empezar a bombear arena, lo cual dañaría la tubería o podría quemar el motor.

#### **4.2. Plantas de tratamiento y estaciones de bombeo**

Las plantas de tratamiento de agua se usan para mejorar la calidad del agua de bebida, y se pueden diseñar para tratar aguas superficiales o subterráneas. Las plantas de tratamiento de aguas superficiales se diseñan para remover turbiedad, sustancias químicas y agentes patógenos, y generalmente, contribuyen a la desinfección y control de la corrosión. La fuente de agua cruda generalmente son las cuencas hidrográficas, ríos o represas.

Las plantas de tratamiento de aguas subterráneas generalmente se usan para ablandar el agua o remover hierro o manganeso, u otros contaminantes orgánicos e inorgánicos. Su fuente de agua son los pozos o manantiales.

Las estaciones de bombeo incluyen aquellas adyacentes a los reservorios y ríos, y las estaciones de impulsión cuyo propósito es incrementar la carga. Generalmente, las estaciones de bombeo típicas son edificios con muros de corte que incluyen unidades de bomba/motor, tuberías, válvulas y equipo eléctrico, mecánico y de control. Las bombas horizontales de cámara partida y las bombas de turbina vertical son los dos tipos principales de bombas

utilizadas. A menudo, un suministro de electricidad de emergencia que consta de un generador diesel de reserva, un banco de baterías y tanques de almacenamiento de combustible diesel, se incluye en las estaciones de bombeo para operar en casos de emergencia cuando se produce una falla en la energía eléctrica.

#### **4.2.1. Fallas geotécnicas y de cimentación y su mitigación**

Las estructuras de los tanques, canales y conductos grandes de las plantas de tratamiento de agua son vulnerables al asentamiento diferencial, al incremento de las presiones laterales del suelo y a la flotación.

El asentamiento diferencial tiene mayor probabilidad de ocurrir cuando se construye una estructura sobre suelos sujetos a la densificación o sobre suelos o cimientos variables a lo largo de la estructura. Los diferentes grosores del relleno de soporte o los diversos tipos de cimientos que atraviesan una estructura incrementan el riesgo del asentamiento diferencial.

Las estructuras deben ubicarse sobre cimientos totalmente consistentes, lejos de suelos que podrían densificarse.

La licuefacción puede hacer que las estructuras subterráneas en áreas con gran cantidad de aguas subterráneas floten o se hundan diferencialmente como se muestra en la figura 9. Mantener los tanques llenos es una medida que puede mitigar la flotación.

Figura 9. **Daño en planta de tratamiento en Limón, Costa Rica**



Fuente: BALLANTYNE, Donald B.

#### **4.2.2. Tanques y estructuras de mantenimiento**

Debido a que este tipo de estructuras es de concreto armado, es necesario utilizar un código vigente para el diseño de elementos de concreto para zonas de alta sismicidad, como es el caso de Guatemala. La utilización del ACI 350 (American Concrete Institute Concrete environmental engineering structures) utilizado para estructuras de utilización ambiental debe ser obligatoria para garantizar una resistencia sísmica elevada.

Los deflectores y otros elementos sumergidos deben diseñarse de manera que resistan cargas fuertes y que puedan ser reemplazados inmediatamente en caso de desprendimiento. Los elementos que se desprenden deben asegurarse para evitar que caigan al fondo del tanque y obstruyan los colectores de lodo.

No existe todavía una alternativa simple para evitar el movimiento oscilatorio en las cubiertas de los digestores flotantes.

#### **4.2.3. Equipos y tuberías**

Las tuberías enterradas son vulnerables cuando están en contacto con estructuras si ocurre un asentamiento diferencial. Esto representa problema cuando las estructuras están soportadas por pilotes y las tuberías se encuentran enterradas directamente. Se debe brindar flexibilidad en los puntos de contacto mediante acoplamiento flexible. Las tuberías descubiertas se deben apoyar en tres direcciones ortogonales como lo muestra la figura 10.

Figura 10. **Tuberías apoyadas en tres direcciones ortogonales**



Fuente: BALLANTYNE, Donald B.

Los accesorios de los tubos, tales como válvulas de descarga de aire, responden como péndulos invertidos, que se rompen cuando los movimientos del terreno se amplifican. Deben tener un soporte lateral. La figura 11 muestra lo descrito anteriormente.

Figura 11. **Válvula de aire destruida en Loma Prieta, California**



Fuente: BALLANTYNE, Donald B.

En general, el equipo anclado funciona bien, aun si el anclaje no ha sido diseñado para soportar el nivel de carga sísmica esperada. El equipo no anclado o mal anclado puede deslizarse o volcarse. Hay que inspeccionar el equipo para determinar si tiene posibilidad de volcarse. El equipo con un bajo centro de gravedad tiene menos tendencia a volcarse, pero aun así puede deslizarse.

Las bombas horizontales y sus motores, máquinas y generadores deben instalarse sobre un solo cimiento para prevenir el desplazamiento diferencial. Se debe evitar el uso de bombas de turbina vertical que se sostienen sobre tanques o deben ser diseñadas para soportar cargas sísmicas.

El equipo pesado, como el equipo de procesamiento de lodos, debe ubicarse en la parte más baja posible del edificio. El equipo y tuberías que contengan sustancias químicas peligrosas deben protegerse de los escombros que pudieran desprenderse.

Anclar firmemente los tanques enterrados y los buzones porque pueden flotar en suelo licuable. En la figura 12 se muestra el efecto de la acuosidad del suelo y como afectan a los tanques y buzones enterrados.

Figura 12. **Tanques enterrados en Dagupan, Filipinas luego de sismo**



Fuente: BALLANTYNE, Donald B.

### **4.3. Tuberías**

Las tuberías son los elementos que sirven para conducir el vital líquido. Son elementos básicos del sistema de abastecimiento de agua. Durante un sismo, el colapso de estos provoca una interrupción en su funcionamiento.

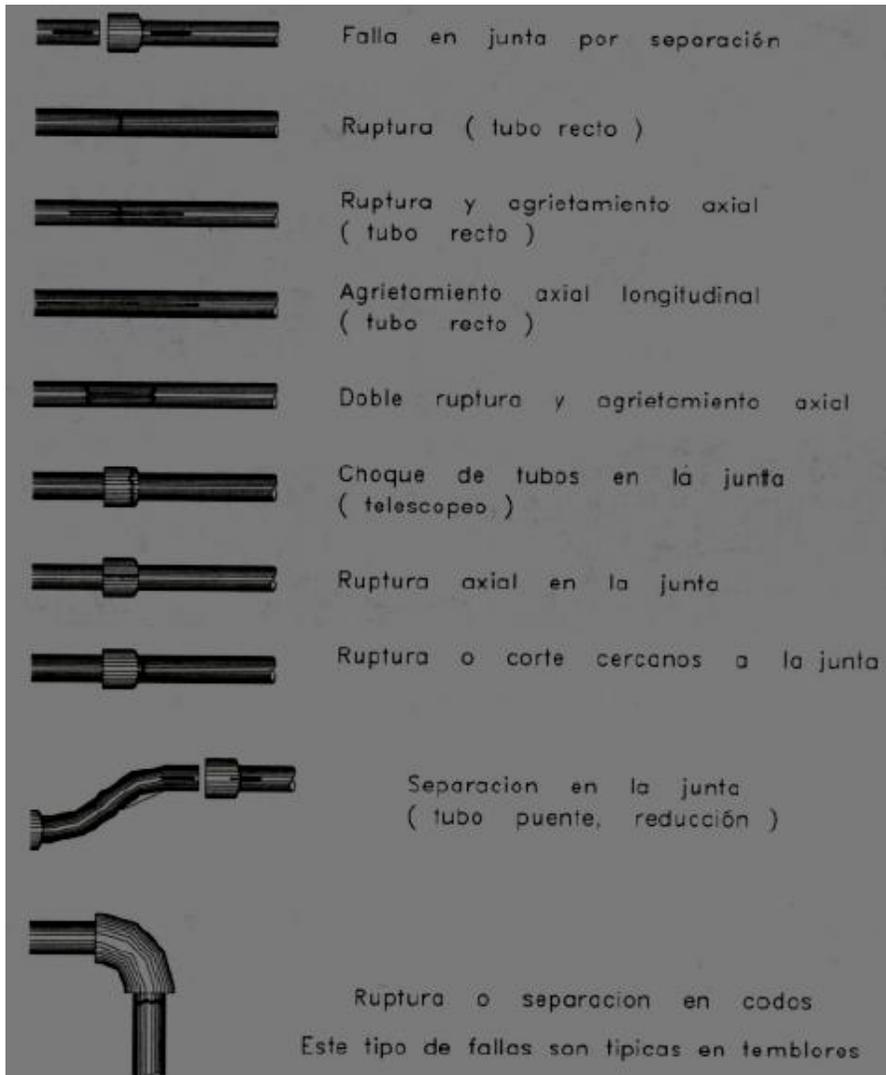
Los porcentajes mayores de daños a tuberías se presentan en los terrenos que presentan problemas de fallas o licuefacción. Debido a esto, es importante hacer un mapeo de la zona para identificar los puntos en los cuales se presentan estos fenómenos.

#### **4.3.1. Mecanismos de falla**

Los mecanismos de las fallas que afectan a las tuberías pueden incluir la propagación de ondas, la deformación permanente del suelo y la ruptura por fallas.

Las cantidades de fallas en áreas donde no se produce licuefacción, equivalen aproximadamente a ocho veces las cantidades de fallas debido a la propagación de ondas. Las cantidades de fallas de las tuberías en áreas donde sí ocurre la licuefacción son de aproximadamente doce veces las cantidades de fallas por propagación de ondas. Las fallas típicas se muestran en la figura 13.

Figura 13. **Fallas en tuberías sometidas a sismo**



Fuente: Seguridad en acueductos. Gerencia de ingeniería básica y normas técnicas, México 1999.

#### **4.4. Tanques de almacenamiento y reservorios**

Los tanques de almacenamiento y los reservorios de un sistema promedio satisfacen la demanda de agua de uno a tres días. Esta capacidad de almacenamiento cubre los requerimientos de caudales para la demanda diurna y para los sistemas contra incendios.

Los reservorios de tierra a menudo son estructuras de tierra con revestimiento de concreto y techos apoyados en columnas de acero, madera o concreto.

Los tanques de concreto moldeados en el lugar generalmente se encuentran enterrados o apoyados. Por lo general, los tanques postensados se encuentran enterrados o apoyados y su refuerzo primario es provisto por una malla de acero o tendones de postensado. Generalmente, los techos de ambos se apoyan en columnas.

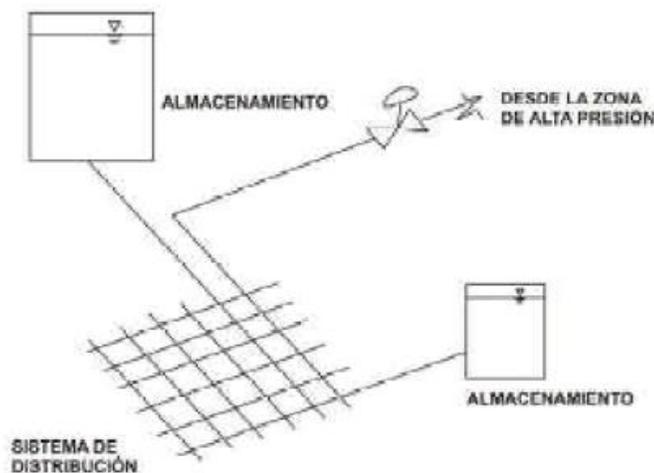
Usualmente, los tanques de acero apoyados y las cámaras de presión se encuentran cimentados sobre un muro circular o losa de cimentación. Los tanques que tienen proporciones mayores de altura en relación con el diámetro, a menudo se anclan a un muro circular. Sus techos de acero se apoyan sobre un lado de la pared o utilizan columnas interiores, dependiendo del diámetro del tanque. Los tanques elevados se pueden apoyar sobre un solo pedestal o sobre una estructura arriostrada con múltiples soportes.

#### 4.4.1. Consecuencias de falla

La evaluación sísmica de los tanques debe tomar en cuenta las consecuencias de las rupturas o fallas. El funcionamiento adecuado de los tanques es un aspecto importante porque el agua almacenada en estos es crucial para las tareas de extinción de incendios.

La evaluación de las consecuencias de la falla o ruptura de un tanque también debe incluir el número de tanques o fuentes que abastecen a una zona de presión y la capacidad relativa de cada uno. La figura 14 muestra un detalle a grandes rasgos de la distribución de fuentes que abastecen a una determinada zona. Un tanque de gran tamaño que brinda almacenamiento únicamente a una zona de presión es más crítico que varios tanques más pequeños que abastecen a una zona.

Figura 14. Número de fuentes que abastecen a una zona

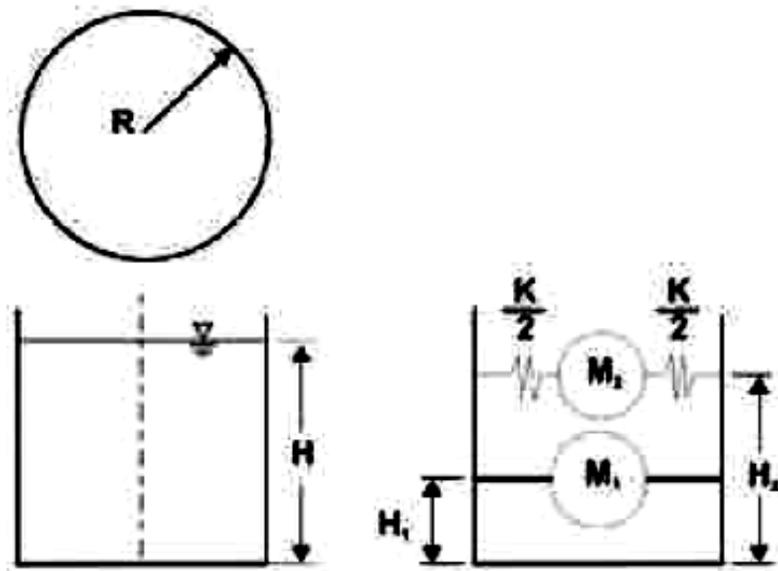


Fuente: elaboración propia con programa AUTOCAD 2013.

#### 4.4.2. Respuesta sísmica del contenido de un tanque

El agua de los tanques responde de manera diferente que una masa rígida. Housner (1963) modeló una porción de agua como si estuviera rígidamente unida a la pared del tanque impartiendo fuerzas de impulsión. La otra porción de agua fue unida al tanque mediante resortes, lo cual produce un efecto ondulatorio o de convección. La carga resultante en realidad es menor que si toda el agua fuese modelada como una masa rígida. La figura 15 muestra el modelo de un tanque.

Figura 15. Modelo oscilatorio de un tanque



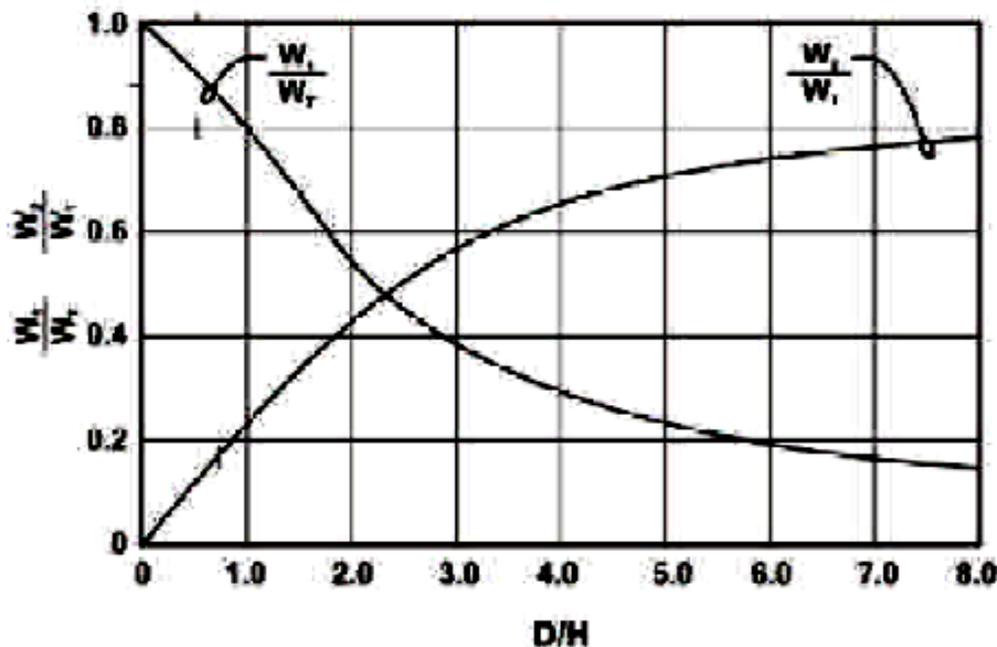
**NOTAS:** La masa  $M_1$  imparte cargas de impulsión y la masa  $M_2$  imparte cargas de convección sobre el tanque.  $H$  = altura;  $R$  = radio;  $K$  es la constante del resorte

Fuente: elaboración propia con programa AUTOCAD 2013..

La porción relativa de agua que trabaja en las modalidades de impulsión y convección, respectivamente, cambia dependiendo de la geometría del tanque.

Cuanta más pequeña sea la proporción de diámetro con relación a altura del tanque, más agua trabajará en la modalidad de impulsión. Cuanto más grande sea la proporción del diámetro en relación con la altura, más agua trabajará en la modalidad de convección. Las porciones relativas de agua que trabajan en cada modalidad se muestran en la figura 16 (AWWA 1984).

Figura 16. **Distribución del peso “w” del tanque entre las cargas de impulsión y convección en términos del diámetro y la altura del tanque**



Fuente: AWWA 1984.

Para mitigar el daño de los techos por oscilación del líquido, se debe proporcionar una mayor altura entre el nivel del agua y el borde del tanque para resistir ese desplazamiento.

Las pruebas empíricas y análisis dinámicos recientes han mostrado que las alturas reales del oleaje pueden exceder las alturas calculadas por un factor de hasta 1,8.

#### **4.4.3. Mecanismos de falla**

Los tanques de acero no anclados o anclados inadecuadamente pueden girar completamente. Si la conexión al tanque se hace por uno de sus lados, debe brindarse flexibilidad a la conexión mediante dos uniones flexibles fijadas en serie o sistemas patentados de tuberías flexibles. Estos sistemas de uniones flexibles pueden ser arriostres integrados a la estructura y diseñados para que bajo la acción de un sismo, sean capaces de almacenar y disipar la energía para evitar que la estructura principal colapse.

En suelos flexibles, puede ocurrir asentamiento diferencial entre el tanque y las tuberías de conexión por lo que se debe brindar flexibilidad a la unión entre ambos.

Los techos y las columnas de soporte pueden sufrir daños debido al efecto oscilatorio del agua como lo muestra la figura 17. Este movimiento oscilatorio impartirá cargas laterales sobre las columnas de soporte y fuerzas de empuje vertical sobre los techos de los tanques, particularmente alrededor de la periferia. Además, los techos pesados de concreto pueden sufrir daños si la estructura no ha sido diseñada para transferir las fuerzas laterales del techo a las paredes y cimientos del tanque.

Figura 17. **Daño al techo de un tanque debido al movimiento oscilatorio**



Fuente: fotografía por Holly Cornell.

Los tanques revestidos de mallas de acero y concreto postensado son vulnerables a los sismos si la armadura se ha corroído o si las uniones de techo-pared o pared-base no han sido diseñadas para resistir las cargas sísmicas.

La malla de acero de los tanques de concreto ha mostrado una tendencia a corroerse, lo que ha producido rupturas de tanques. Los indicios de deterioro de un tanque son agrietamiento vertical, desmoronamiento del concreto o decoloración debido a las filtraciones del tanque. Para mitigar esos problemas, primero se detienen las fugas con revestimientos, luego se envuelve nuevamente el tanque con mallas metálicas o bandas de acero y, finalmente, se le cubre con un revestimiento protector.

Las juntas de techo-pared y de pared-base del tanque deben diseñarse para transferir cargas laterales de corte sísmico. Los diseños modernos que toman en cuenta las cargas sísmicas usan cables sísmicos entre la pared y la

base. Esos cables permiten que las paredes se muevan para soportar las deformaciones producidas por el llenado del tanque y para soportar la expansión y contracción térmicas. Asimismo, limitan el movimiento en un terremoto.

Para tanques parcialmente enterrados, la presión pasiva del terreno debe prevenir este tipo de ruptura por corte. Una solución es colocar una viga collar armada alrededor de la periferia para limitar el deslizamiento. La figura 18 muestra cómo puede quedar un tanque con malla de acero al momento después de un suceso sísmico severo.

Figura 18. **Tanque con malla de acero que falló debido a sismo en California**



Fuente: fotografía por Anshel Schif.

Los tanques de acero a nivel del suelo generalmente no se encuentran anclados. Cuando la proporción de la altura en relación con el diámetro es menor que 0,5 usualmente no serán vulnerables a daños en las paredes, pero es más probable que sufran daños en el techo debido al movimiento oscilatorio del agua. Los tanques pequeños no anclados pueden deslizarse. Un mal anclaje puede provocar deslizamientos como se puede observar en la figura 19.

Figura 19. **Tanque no anclado que se deslizó en Moin, Costa Rica**



Fuente: BALLANTYNE, Donald B.

Generalmente, las cámaras de presión tienen una proporción de altura en relación con el diámetro mayor que los tanques a nivel del suelo ya descritos. Dichos tanques pueden ser vulnerables al pandeo tipo “pie de elefante” causado por las fuerzas hidráulicas de impulsión y convección. Los tanques no anclados pueden comenzar a girar y fallar por compresión al sufrir un impacto. En casos extremos, los tanques pueden fallar en o cerca de la base.

Las soluciones estructurales incluyen agregar o reforzar el sistema de cimentación con anclajes para que resista el levantamiento o fortalecer la base del tanque. La figura 20 muestra una posible solución para reforzar el sistema de cimentación con anclajes.

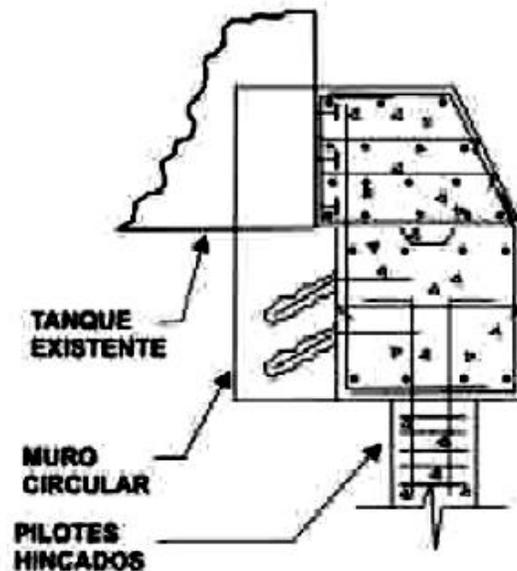
Figura 20. **Tanque no anclado que desarrolló pandeo tipo “pie de elefante” en Moin, Costa Rica**



Fuente: BALLANTYNE, Donald B.

Cabe mencionar que este procedimiento puede ser demasiado costoso, por lo cual es importante que el diseñador evite llegar a este recurso. Debido a que los proyectos de este índole en Guatemala presentan limitantes económicas, es importante asegurar que el tanque tendrá mecanismos de transmisión de carga lateral y resistencia al pandeo. En la figura 21 se muestra una propuesta para mejorar los sistemas estructurales de tanques utilizando pilotes hincados.

Figura 21. **Diseño mejorado para tanques con pilotes hincados**



Fuente: elaboración propia con programa AUTOCAD 2013.

El reforzamiento de la base hace que el tanque trabaje más como un cuerpo rígido en lugar de flexionarse cuando ocurre un sismo. El peso del agua contenida en el tanque evitará que se voltee. Esto se puede lograr mediante la instalación de una losa de concreto fuertemente reforzada dentro de la base del tanque para permitir la transferencia de carga desde la pared del tanque hasta la losa.

Los tanques elevados pueden ser vulnerables como resultado de cimientos inapropiados, dimensión inadecuada de las columnas o arriostramiento transversal deficiente. Los tanques mismos por lo general son confiables. Generalmente, los tanques elevados que han sido dañados sufren un estiramiento menor de los arriostres o una falla catastrófica. Las consecuencias de las rupturas de los tanques elevados pueden ser

particularmente graves debido al potencial de que caigan encima de alguien o de algo; sin embargo, se conoce que los tanques usualmente colapsan dentro del perímetro de sus cimientos como lo muestra la figura 22.

Figura 22. **Colapso de un tanque elevado**



Fuente: *National Oceanic and Atmospheric Administration.*

Los cimientos deben diseñarse de tal manera que resistan el volcamiento. Las varillas que emplean conexiones roscadas deben utilizar roscas de seguridad. Para funcionar como un sistema, las columnas de los cimientos deben estar conectadas con vigas de cimentación.

Las conexiones de los arriostres deben estar diseñadas para ser más fuertes que los arriostros mismos. Esto permitirá que el arriostre se estire, desarrolle su fluencia y absorba energía; de esa manera, se reducirá la carga global sobre la estructura.

El colapso típico de un tanque elevado se produce de la siguiente manera:

- Una barra de arriostre falla.
- Se redistribuye la carga a otros arriostres, lo cual produce un momento de torsión.
- El efecto dominó se extiende y las barras comienzan a romperse progresivamente.
- Las columnas se pandean.

Una alternativa inicial es ajustar el arriostramiento transversal. Las soluciones de mitigación tradicionales incluyen reforzar los cimientos, columnas y arriostramientos. Se pueden añadir vigas de conexión a los cimientos para conectar las zapatas de las columnas entre sí. Las columnas se pueden fortalecer o reemplazar y se pueden añadir arriostramientos.

También se pueden realizar intervenciones parciales con alternativas de bajo costo, como el uso de vigas de conexión y la instalación de un arriostramiento transversal adicional. Se debe tener cuidado de no sobrecargar los componentes que no hayan sido reforzados.

Conociendo los componentes del sistema de abastecimiento de agua se observa que los problemas de daños pueden arraigarse desde la captación o fuente del sistema como lo puede ser una represa, río o la misma cuenca receptora. Por medio de la catalogación que hace el Instituto Geográfico Nacional (IGN) se logra conocer la distribución de las cuencas a lo largo del territorio nacional y determinar el punto óptimo para los puntos de captación. Los daños a los elementos receptores como los pozos y represas son evitables

con un proceso de construcción responsable y acatando todos los requerimientos establecidos en seguridad estructural y condiciones del suelo.

Los elementos almacenadores del agua como tanques de almacenamiento y plantas de tratamiento se pueden ver afectados por las condiciones de riesgo que presenta un suelo debido a que puede generar asentamientos provocando fallas que producen fugas y colapso de las estructuras. Se garantizara una seguridad mayor si se utiliza la norma ACI 350 (American Concrete Institute. Concrete environmental engineering structures).

Los colapsos en red de tuberías, así como en válvulas de paso puede evitarse por medio de la utilización de soportes, fijaciones y regulaciones apropiadas observando su localización adecuada por medio de un mapeo previo de la zona.

Debido al almacenamiento de agua en el sistema completo, se presenta un comportamiento crítico de riesgo cuando se genera un terremoto debido a la interacción de fuerzas de movimiento generadas por el agua. Es importante que el diseño del sistema tome en consideración estas fuerzas para evitar daños colaterales.



## **5. DISEÑO SISMORESISTENTE Y CONSIDERACIONES DE MITIGACIÓN SÍSMICA**

### **5.1. Parámetros para perforación de pozos**

La obtención del fluido para cualquier sistema de abastecimiento de agua potable inicia por las obras de captación. Si los elementos de captación presentan anomalías en su construcción, transmitirán sus fallas a los sistemas domiciliarios.

Independientemente del tipo de pozo que se vaya a trabajar, es necesario tomar en cuenta los siguientes parámetros para asegurar la eficiencia constructiva de estas obras de captación.

- **Alineamiento**

Esta prueba se realiza para observar si hay un eje único en el pozo. Se obtiene introduciendo en el pozo un tubo de 20 pies y de diámetro exterior igual al que tendrá la bomba. Si éste baja sin ningún tropiezo, quiere decir que está bien alineado.

- **Verticalidad**

Esta prueba se realiza para observar si coincide el eje con el trazo de la vertical. Se comprueba con una plomada. El límite que se busca es de 2/3 del diámetro interior por cada 30 metros de profundidad.

- Desarrollo del pozo

Consiste en someter al pozo a un primer bombeo, con el fin de acondicionar el material fino del acuífero en la proximidad del pozo. Se hace la primera extracción de agua del pozo de manera violenta, o bien a través de un pistón.

#### **5.1.1. Construcción sismorresistente de pozos y consideraciones para mitigación de daño sísmico**

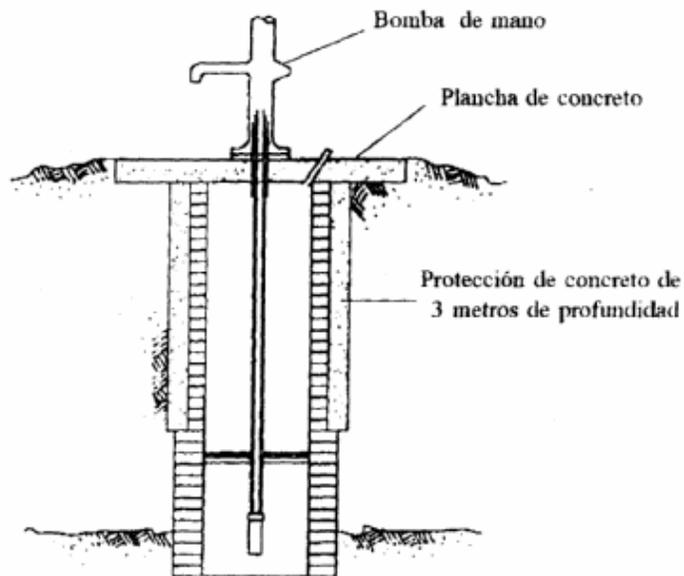
- Pozos excavados

Los pozos excavados se realizan manualmente y son probablemente el tipo de captación tradicional. Estos deben llenar ciertas condiciones para su realización:

- Deben ubicarse en zonas no inundables o de fácil acceso para el agua superficial.
- Protegerse contra riesgos de contaminación.
- Excavarse aguas arriba de cualquier fuente real o potencial de contaminación.
- El subsuelo del sitio seleccionado no debe presentar grietas, fallas o socavaciones que permitan el paso del agua superficial que pueda contaminar el acuífero. Si el suelo presenta tendencias a licuefacción es muy probable que presente deformaciones debidas a la cantidad de humedad presente a la hora de un sismo.

- El área de captación debe acondicionarse con piedras. Las piedras, además de crear un filtro natural, le dan estabilidad. Es aconsejable que estas piedras estén retenidas por un arreglo de mallas, similar a un gavión. Un detalle general del pozo excavado se ilustra en la figura 23.

Figura 23. **Detalle constructivo de pozo excavado**



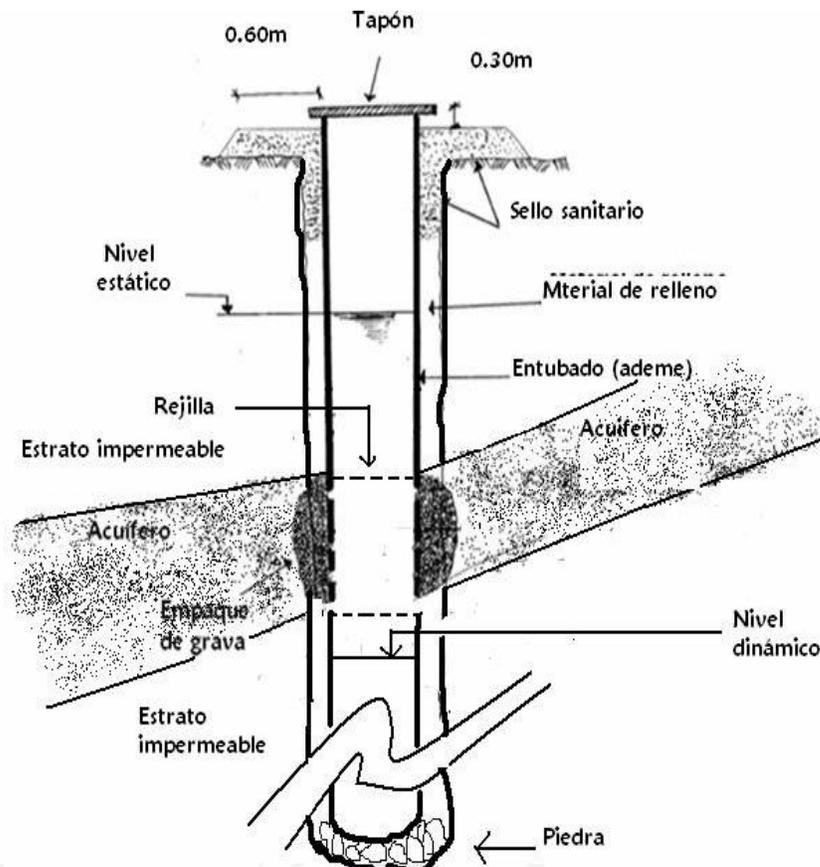
Fuente: AGUILAR, Pedro. *Apuntes sobre el curso de Ingeniería Sanitaria*, 2007.

- Pozos perforados o mecánicos
  - Terminada la perforación y después de entubar el pozo debe limpiarse y desarrollarse para sacar los residuos de perforación. Si queda material residual, además de causar una contaminación a la fuente, puede provocar riesgo de impacto interno de dicho

material con componentes de extracción, causando un daño significativo al sistema.

- En las zonas adyacentes al acuífero se colocarán rejillas previamente diseñadas de acuerdo a la granulometría del mismo, de tal modo que impidan el paso de arenas que puedan dañar los equipos de bombeo y obstruir el pozo.
- La rejilla puede ser prefabricada (acero inoxidable, plástico, latón rojo) o de fabricación propia, hecha por el diseñador del pozo (tubo ranurado con soplete de acetileno). La rejilla prefabricada tiene como característica que sus aberturas son más grandes, es por eso que las pérdidas de carga son menores ya que el agua fluye lentamente. La rejilla prefabricada es mejor que la ranurada, pero tiene como desventaja que es mucho más cara. Es aconsejable que la rejilla prefabricada cumpla con parámetros de ductilidad y resiliencia necesarios para combatir los efectos de la deformación causada por un sismo de alta intensidad. La figura 24 muestra cómo quedaría un pozo perforado hecho correctamente.

Figura 24. **Detalle constructivo de pozo perforado**



Fuente: AGUILAR, Pedro. *Apuntes sobre el curso de Ingeniería Sanitaria*, 2007

- El entubado del pozo, es decir, el ademe es de acero negro (con copla roscada o con unión roscada) o de plástico.
- El sello sanitario se realiza con concreto hecho en obra o con concreto premezclado y debe colocarse entre los primeros 3 a 5 m del pozo. Este sello sanitario también creará una contención que permitirá al pozo mantener su forma ante un posible derrumbe en sus extremos debido a algún sismo.

- El empaque de grava debe tener más o menos 3" de espesor y este se debe colocar principalmente en suelos muy flojos, en donde se han observado derrumbes. El empaque de grava se coloca a lo largo de la rejilla, y este actúa como un filtro.
- El material de relleno que se utiliza para el pozo es de tierra normal. Debe ser analizado previamente para evitar que actúe como un relleno licuable y cause problemas de estabilidad.

## **5.2. Consideraciones de diseño para tuberías**

En parámetros de resistencia, se prefiere la tubería dúctil de pared gruesa sobre la tubería frágil de pared delgada. Las tuberías de hierro dúctil, de acero y de polietileno son muy dúctiles y se deformarán considerablemente antes de romperse.

Con referencia a la ductilidad, el policloruro de vinilo (PVC) es moderadamente dúctil. La tubería de hierro dúctil a menudo tiene un revestimiento de mortero. Cuando la tubería ceda, el mortero se cuarteará y se astillará. Esto deteriorará el revestimiento anticorrosivo y hará que el acero se empiece a corroer. Los problemas de corrosión pueden representar un problema en el futuro.

Los sistemas de tuberías dúctiles con uniones fijas segmentadas o soldadas resistirán el movimiento del terreno y producirán un daño mínimo. Las uniones segmentadas (es decir, de espiga y campana) con empaques de caucho permitirán el movimiento de las uniones, pero se separarán fácilmente.

La tubería segmentada con uniones de plomo o mortero se vuelve rígida y no permitirá el movimiento de las uniones, lo cual incrementará la deformación de las tuberías y su posterior ruptura.

El diseño moderno de la tubería de espiga y campana emplea empaques elastoméricos para sellar las uniones de las tuberías. Estas tuberías pueden ser flexibles a la expansión y rotación, dependiendo de la práctica de instalación. Son flexibles a la compresión hasta tener un contacto de metal sobre metal. Por lo general, el grado de flexibilidad se muestra en las normas para materiales de tuberías o puede ser proporcionado por el fabricante.

La tubería de menor tamaño permite una mayor rotación de las uniones que las tuberías de mayor diámetro.

Las secciones más cortas de tuberías con un mayor número de uniones incrementan la curvatura disponible del sistema de tuberías.

Cuando se instala la tubería es una práctica común introducir la espiga de la tubería en la campana. Esto elimina la flexibilidad de la tubería a la compresión.

La tubería de hierro dúctil se envía desde la fábrica con un anillo pintado en el extremo de la espiga para indicar la distancia correcta a la que ha sido introducida a la campana, lo cual deja un pequeño espacio entre el extremo de la espiga y la campana. Si se respetara el límite del anillo pintado durante la instalación, la tubería tendría cierta flexibilidad a la compresión. De manera similar, las uniones deben diseñarse de tal manera que puedan moverse antes de que se desacoplen del todo.

La mayoría de las tuberías de acero utiliza uniones soldadas, mientras que la tubería de polietileno es fundida al calor. Ambas dependen de la ductilidad de la tubería para poderse unir.

Se recomienda una tubería con una proporción de longitud con relación a diámetro de menos de 12 (para acero fundido) ya que será más resistente a la flexión. Para ese caso, la resistencia de la tubería generalmente es lo suficientemente fuerte para soportar las cargas de flexión.

Las uniones deben estar empalmadas para que resistan el movimiento fuerte del terreno que podría producir separación de las uniones. Las secciones grandes de las tuberías están sujetas a esfuerzos de flexión mayores que las cortas. Los esfuerzos de flexión se disipan en las uniones de las tuberías.

Las tuberías diseñadas con longitudes nominales más cortas están sujetas a menores niveles de esfuerzos de flexión. Las secciones de tuberías de gran diámetro son más resistentes a la flexión que las secciones de las tuberías de pequeño diámetro.

La restricción de la unión de una tubería es un aspecto importante en la vulnerabilidad sísmica porque permite la transferencia de cargas y el desplazamiento a través de las uniones. Estas uniones fijas también se usan comúnmente para resistir los empujes hidráulicos axiales, lo que elimina la necesidad de macizos de apoyo.

### **5.2.1. Diseño sismoresistente de sistemas de tuberías y consideraciones para la mitigación de sismos**

Existe la posibilidad que los sistemas vayan a ser creados o que ya existan. Dependiendo del caso que se dé, hay detalles diferentes para cada uno de ellos. Los parámetros que a continuación se detallan toman en cuenta zonas susceptibles a licuefacción y a zonas de falla. Cuando el sistema sea nuevo, debe utilizarse cualquier tubería moderna de campana-espiga o una tubería continua que resista el paso de la onda sísmica.

Evitar el área licuable. Reubicar las tuberías o colocarlas a mayor profundidad. Se debe utilizar sistemas de tuberías dúctiles y flexibles, tales como tuberías de hierro dúctil, de acero soldado o de polietileno con uniones fijas. Se debe diseñar la estructura de la tubería para que resista la deformación permanente del suelo (DPS). Se debe proporcionar conexiones especiales que soporten el movimiento longitudinal de la tubería sin causar daños.

Utilizar como restricción juntas fijas en lugar de macizos de apoyo para resistir las fuerzas del empuje. Los macizos de apoyo pueden moverse si se produce la licuefacción. Brindar flexibilidad y redundancia en la operación del sistema e incorporar un programa de respuesta frente a emergencias e incluya válvulas de corte alrededor del área vulnerable.

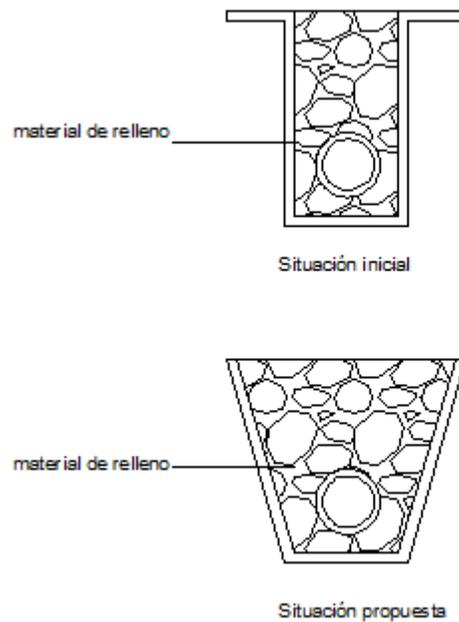
Estabilizar los suelos con métodos tales como la vibro flotación, columnas de piedra o inyección con concreto líquido (esto generalmente es muy costoso). Cuando el sistema ya se encuentre físicamente, se deben reforzar los segmentos críticos y vulnerables en conformidad con las nuevas recomendaciones de diseño. Implementar un programa integral de reforzamiento o reemplazo cuyas prioridades se basen en la amenaza sísmica,

sistema de tuberías y criticidad. Proporcionar flexibilidad y redundancia en la operación del sistema e instalar un programa de respuesta frente a emergencias que incluya válvulas de corte.

Cuando se encuentren segmentos cercanos a áreas de falla si las restricciones del derecho de paso lo permiten, se debe orientar la tubería de manera que sea colocada en tracción por la falla. Incrementar el grosor de la pared de la tubería para evitar que la tubería se deforme debido a las cargas de fricción del suelo. La reducción del diámetro de la tubería tiene un impacto mucho menor sobre la deformación de la tubería.

Reducir las cargas de fricción del suelo al minimizar la profundidad de entierro o el peso del relleno. El relleno liviano con bloques de poliestireno expandido es una posibilidad y se recomienda instalarlo de manera elevada. Este es el mejor método desde una perspectiva de carga del suelo, pero es probable que no sea aceptable por otras razones. La figura 25 muestra gráficamente como puede reducirse la vulnerabilidad de los sistemas de tubería.

Figura 25. **Solución propuesta para reducir la vulnerabilidad de la tubería**



Fuente: elaboración propia, con base al programa AUTOCAD 20013.

Reducir el coeficiente de fricción del suelo mediante el uso de tuberías con paredes externas lisas o pulidas. Observar que la envoltura de plástico que comúnmente se usa para la protección contra la corrosión no reducirá el coeficiente de fricción para rellenos de arena porque los granos se incrustan en el plástico.

Utilizar juntas de dilatación a ambos lados donde se espera que se produzca la ruptura de la falla. Ubicar la tubería en un canal o túnel de espera que sea lo suficientemente ancho para resistir el movimiento esperado de la falla.

No utilizar anclajes, tales como macizos de apoyo, codos o conexiones, a menos de 180 metros de la zona de falla geológica. Se requieren conexiones especiales para soportar el movimiento a lo largo de la longitud no anclada. Proporcionar componentes alternos siempre que sea posible; utilice tuberías más pequeñas en lugar de una tubería grande. Ubique los cruces alternos en diferentes lugares.

### **5.3. Consideraciones de diseño para tanques de almacenamiento y reservorios**

La configuración teórica conveniente para un depósito es aquella que para una altura y volumen dados, se tenga un perímetro mínimo, lo cual implica una geometría cilíndrica. Sin embargo, pueden existir otras razones que obliguen realizar una planta rectangular o cuadrada. En los depósitos rectangulares, cuando tienen dos compartimentos, conviene tener una relación 3:4 en la longitud de los lados.

Cuando existan  $n$  compartimentos, la relación recomendable es de  $n + 1 : 2n$ , por ser esta la que proporciona el perímetro mínimo a igualdad de superficie. En los grandes depósitos, especialmente los rectangulares, se recomienda el diseño de divisiones o “muros-guía”, que permiten la renovación del agua en el interior de esas divisiones, evitándose el estancamiento de la misma, en especial en las esquinas.

Para proceder a la limpieza, reparaciones o mantenimiento, son convenientes los muros divisorios para mantener sin interrupción el funcionamiento del depósito durante esos lapsos. Entre los depósitos rectangulares se tienen los tanques de regulación, sedimentadores, floculadores, filtros, cajas repartidoras, cárcamos de bombeo, cajas rompedoras

de presión, digestores de lodos, etc. Normalmente en este tipo los depósitos son de concreto. En tanto que, entre los depósitos cilíndricos, puede citarse a los de tratamiento de aguas residuales, de regulación, tanques de sumergencia, tanques unidireccionales, espesadores de lodos, torres de oscilación, etc.

Los elementos de los depósitos de concreto reforzado tienen la ventaja de poseer capacidad a la compresión, tensión, flexión y cortante y por otra parte, debido a su rigidez, pueden absorber las deformaciones diferenciales y su enfoque se hace en los tanques hechos con concreto reforzado que pueden adoptar la forma rectangular, poligonal o cilíndrica. Pueden, asimismo, estar ubicados sobre la superficie del terreno o bajo el nivel de este.

### **5.3.1. Consideraciones previas a la construcción**

El terreno donde se vaya a construir el o los depósitos, debe estar a nivel, libre de material orgánico, previamente se compactará adecuadamente, ya sea con pisón de mano o mecánicamente. Se evitará que el desplante del depósito se haga sobre suelos cuyas características difieran entre sí, lo que podría dar lugar a asentamientos diferenciales. Cuando el nivel de agua freática pueda causar una subpresión en la base del depósito, antes de iniciar la construcción de la cimentación, se colocarán filtros y drenes para desalojar dicha agua.

Será necesario mantener un bombeo constante durante la excavación y la construcción de la cimentación. Así, al mismo tiempo que se intenta suprimir el agua freática se propicia que se trabaje en seco, evitándose la posible flotación del depósito cuando este se encuentre vacío. Deberán seguirse las recomendaciones del estudio de geotecnia. Se construirá una plantilla con un mínimo de 5 cm de espesor, con un concreto de  $f'c = 100 \text{ kg/cm}^2$ , la que tendrá por objeto un trabajo más limpio en la construcción de la cimentación,

evitándose la contaminación del acero de refuerzo y del concreto fresco en el momento de su colocación. El depósito se desplantará en el material de corte, evitando los desplantes sobre rellenos no consolidados.

Las tolerancias se basan en los requisitos relativos al diseño del depósito, el tamaño de los tableros de los muros, la configuración de las juntas, etc. Se recomiendan las siguientes tolerancias:

Tabla V. **Valores de tolerancia aceptables en el diseño**

<b>Longitud</b>	<b>Tolerancia</b>
Ancho	1,25 cm
Espesor	0,6 cm
Alabeo	0,9 cm
Escuadras en las esquinas	0,6 cm

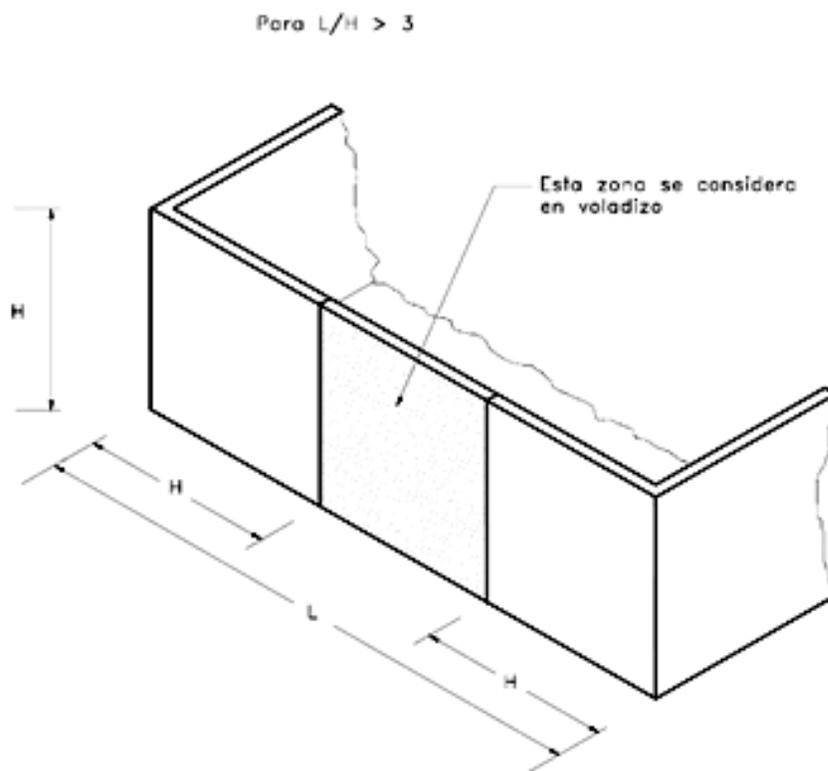
Fuente: elaboración propia, con información de manual de diseño de tuberías OPS/OMS, 2003.

### **5.3.2. Muros de concreto reforzado para los depósitos rectangulares**

Los muros para los depósitos rectangulares, como ya se ha advertido, trabajan normalmente a flexo-tensión. El análisis de los muros puede basarse en la teoría de las placas delgadas, teniendo en cuenta las condiciones de apoyo en los bordes verticales y horizontales de dichos muros. La presión del agua se resiste por la combinación de momentos horizontales y verticales en los muros.

En los depósitos cuadrados o rectangulares sin cubierta, cuando la relación longitud altura del muro es mayor a 3, la parte central equidistante de cada extremo en una longitud H, se analizará como voladizo, como lo muestra la figura 26.

Figura 26. **Proporción de los muros de los tanques en relación con la altura**

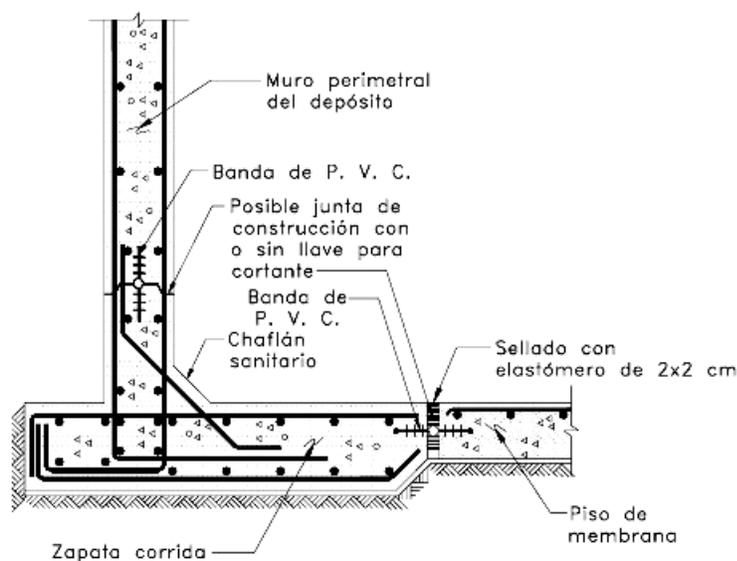


Fuente: elaboración propia, con base al programa AUTOCAD 2013.

Si se cuenta con un terreno de desplante con una buena capacidad de carga, tanto el muro como los contrafuertes se apoyarán en una zapata corrida perimetralmente.

En este caso, la losa del fondo será una membrana impermeable sin una función estructural y los muros de los depósitos rectangulares se calcularán como un voladizo.

Figura 27. **Muro del depósito funcionando como voladizo cimentado en una zapata corrida**



Fuente: elaboración propia, con información de manual de diseño de tuberías OPS/OMS, 2003.

### 5.3.3. Consideraciones sísmicas de diseño

Se ha comprobado que durante los sismos, los depósitos que contienen algún fluido pueden fallar y derramar el líquido contenido. Los reglamentos locales suministrarán información en cuanto a los coeficientes sísmicos y los espectros de diseño aplicables, de conformidad con la sismicidad local y las características del suelo donde se construyan los depósitos.

Dichos parámetros pueden ser encontrados en la Norma de Seguridad Estructural (NSE) de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) aplicable para Guatemala.

Para su análisis sísmico, los depósitos de agua potable y tratamiento se deberán considerar como estructuras esenciales, es decir, pertenecientes al grupo "A". Al proyectar los depósitos para resistir las acciones sísmicas, se deberá tomar en cuenta la masa hidrodinámica del líquido contenido. Cuando se considere el efecto del sismo simultáneamente con el peso del agua, se supondrá que el depósito está lleno al 100 % de su capacidad. En los tanques de regulación se considerará el 80 % de su capacidad.

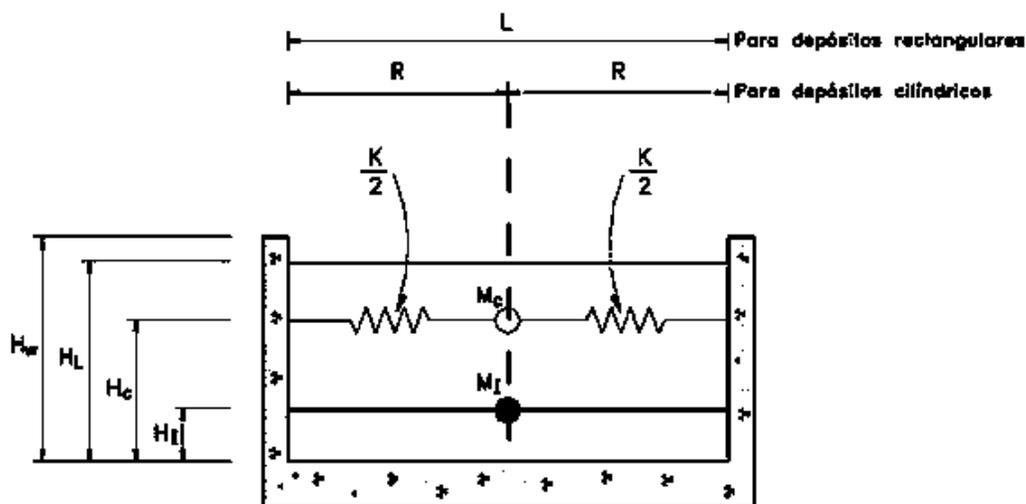
La presión hidrodinámica deberá incluir las presiones impulsivas, así como la convectiva. En los depósitos cerrados se efectuará el diseño tomando en cuenta un borde libre, el cual evite que el oleaje provocado por el sismo sobrecargue la losa de cubierta, mediante el golpe del agua sobre la cara inferior de dicha losa. Además, el diseño sísmico de los depósitos deberá incluir los efectos sísmicos de las presiones del suelo exterior al depósito y las cargas muertas de la estructura.

#### **5.3.3.1. Fuerzas hidrodinámicas**

Puede calcularse la fuerza horizontal que representa la acción resultante de los empujes hidrodinámicos sobre los muros de un depósito de un líquido con un tirante  $H_L$  y una masa cuyo peso es  $W_L$ , si se aplican a una estructura equivalente, en la que la masa del líquido se substituye por otras dos,  $M_i$  y  $M_c$ , colocadas, respectivamente, a las alturas  $H_i$  y  $H_c$  sobre el fondo del depósito. Los sufijos  $i$  y  $c$  denotan respectivamente, impulsiva y convectiva.

La masa  $M_i$  está rígidamente unida al depósito, mientras que la masa  $M_c$  está ligada a este mediante un resorte horizontal de rigidez  $K_c$ . Los parámetros que definen la estructura equivalente están dados por las expresiones siguientes:

Figura 28. **Parámetros de estructura equivalente**



Fuente: elaboración propia con programa AUTOCAD 2013..

La figura 28 muestra la representación de los términos dentro de un tanque. Las ecuaciones que a continuación se describen, fueron publicadas por George W. Housner y fueron modificadas para depósitos rectangulares donde  $H_L \leq 0.75 L$  donde  $H_L$  es el tirante del líquido y  $L$  es la longitud del depósito en la dirección en la cual se lleva a cabo el análisis sísmico, el peso de la masa impulsiva se valúa así:

$$W_L = \frac{\tanh\left(0.85\frac{L}{H_L}\right)}{0.85\frac{L}{H_L}} W_L \quad \text{ecuación (1)}$$

Y el peso de masa convectiva, dependiendo del tirante:

$$W_C = \frac{0.83 \tanh\left(3.16\frac{H_L}{L}\right)}{3.16\frac{H_L}{L}} \quad \text{ecuación (2)}$$

La altura de la masa impulsiva sobre el fondo del depósito depende de valores como la altura de tirante, conocida como  $H_L$  y del peso de la masa impulsiva:

$$H_i = 0.38H_L \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{W_L}{W_i} - 1 \right) \right\} \quad \text{ecuación (3)}$$

La altura de la masa convectiva sobre el fondo del depósito depende de parámetros como el tirante y peso de la masa convectiva e impulsiva y de los valores de:

$$H_C = H_L \left\{ 1 - 0.083 \frac{W_L}{W_C} \left( \frac{L}{H_L} \right)^2 + 0.315\beta \frac{L}{H_L} \sqrt{0.07 \left( \frac{LW_L}{H_L W_C} \right)^2 - 1} \right\} \quad \text{ecuación (4)}$$

La rigidez del resorte equivalente de la masa convectiva se calcula con la siguiente expresión, dependiente del tirante, peso de la masa convectiva, longitud del tanque y el peso de la masa impulsiva:

$$K_C = \frac{12H_L}{W_L} \left( \frac{W_C}{L} \right)^2 \quad \text{ecuación (5)}$$

Para un depósito cilíndrico en el cual  $H_L \leq 0.75 D$ , donde “D” es el diámetro del mismo, el peso de la masa impulsiva es:

$$W_i = \frac{\tanh\left(0.85 \frac{D}{H_L}\right)}{0.85 \frac{D}{H_L}} W_L \quad \text{ecuación (6)}$$

Y el peso de la masa convectiva se expresa dependiendo del diámetro, espejo de agua y peso de masa impulsiva como:

$$W_L = \frac{0.70 \tanh\left(3.68 \frac{H_L}{D}\right)}{3.68 \frac{H_L}{D}} W_L \quad \text{ecuación (7)}$$

La altura sobre el fondo del depósito de la masa impulsiva dependerá de valores como el tirante, peso impulsivo y peso convectivo:

$$H_i = \frac{3}{8} H_L \left\{ 1 + \alpha \left( \frac{W_L}{W_i} - 1 \right) \right\} \quad \text{ecuación (8)}$$

La altura sobre el fondo del depósito de la masa convectiva se calcula con una ecuación complicada, dependiente de todos los parámetros anteriormente calculados, la cual servirá para realizar análisis dinámicos:

$$H_C = H_L \left\{ 1 - 0.0525 \frac{W_L}{M_C} \left( \frac{D}{H_L} \right)^2 + 0.275 \beta \frac{D}{H_L} \sqrt{0.0375 \left( \frac{D W_L}{H_L W_L} \right)^2 - 1} \right\} \quad \text{ecuación (9)}$$

La rigidez del resorte hipotético que sujeta la masa convectiva a las paredes del depósito mediante un movimiento oscilatorio se calcula en función de la masa y altura impulsiva, también dependiendo inversamente del cuadrado del diámetro:

$$K_C = \frac{19H_L}{W_L} \left( \frac{W_C}{D} \right)^2 \text{ ecuación (10)}$$

Para ambos casos, si interesa incluir el momento hidrodinámico sobre el fondo del depósito,  $\alpha=1.3$  y  $\beta=2.0$  o bien, si solo se desea los efectos de la presión hidrodinámica que actúa sobre los muros, se tomará  $\alpha=0$  y  $\beta=1.0$

Una vez encontrados los parámetros anteriormente mencionados, puede encontrarse la fuerza cortante y el momento de volteo en el fondo del depósito y procederse al diseño del mismo, sobreponiendo las cargas permanentes a la accidental debida al sismo. Las amplitudes máximas del movimiento vertical de la superficie del agua, con respecto al nivel de reposo, pueden calcularse con las fórmulas siguientes. Para depósito rectangular, la configuración geométrica nos modifica las expresiones. La distancia máxima se calcula en la expresión siguiente:

$$D_{\max} = \frac{0.27L \coth\left(3.16\frac{H_L}{L}\right)}{\frac{2g}{\omega_c^2 \theta_h L}} \text{ ecuación (11)}$$

Donde el ángulo será una relación de los valores del máximo desplazamiento de la masa convectiva, longitud y tirante:

$$\theta_h = 3.16 \frac{A_c}{L} \tanh\left(3.16\frac{H_L}{L}\right) \text{ ecuación (12)}$$

Para depósitos cilíndricos, la amplitud máxima está dada en función del tirante, diámetro, velocidad espectral y amplitud angular de las oscilaciones bajo movimiento sísmico:

$$D_{\max} = \frac{0.204D \coth\left(3.68 \frac{H_L}{L}\right)}{\frac{g}{\omega_c^2 \theta_h}} \quad \text{ecuación (13)}$$

Dónde:

$$\theta_h = 3.07 \frac{A_C}{L} \tanh\left(3.68 \frac{H_L}{L}\right) \quad \text{ecuación (14)}$$

En las expresiones anteriores, el término  $A_C$ , es el máximo desplazamiento de la masa  $W_C$ , con respecto a los muros del depósito y se calcula así:

$$A_C = \frac{S_y}{\omega_c} \quad \text{ecuación (15)}$$

En las expresiones,  $\theta_h$  es la amplitud angular de las oscilaciones de la superficie libre del líquido y  $S_y$  es la velocidad espectral, donde  $\omega_c$  se calcula así:

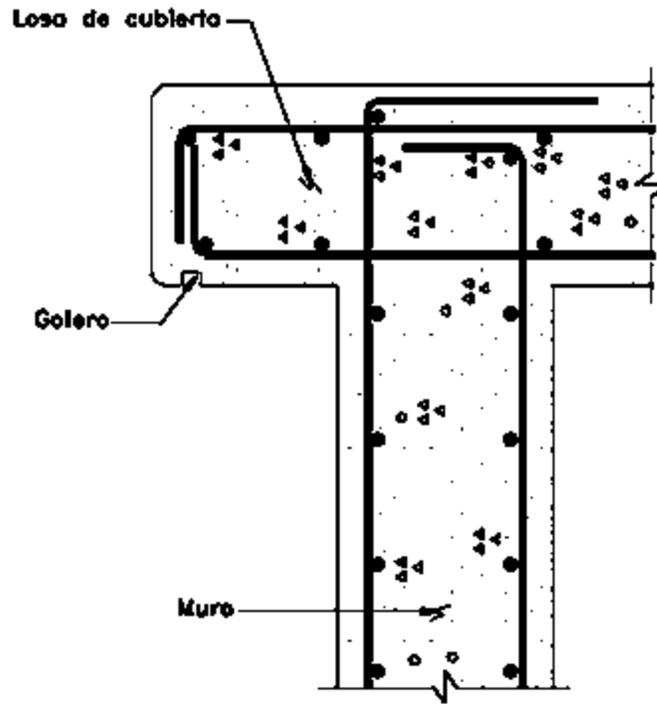
$$\omega_c = \sqrt{\frac{gK_C}{\omega_c}} \quad \text{ecuación (16)}$$

Para los casos en que  $H_L > 0.75L$ ,  $W_C$  y  $H_C$  se calcularán suponiendo que el líquido se encuentra por debajo de  $0.75L$ .

#### **5.3.4. Consideraciones de diseño estructural en tanques**

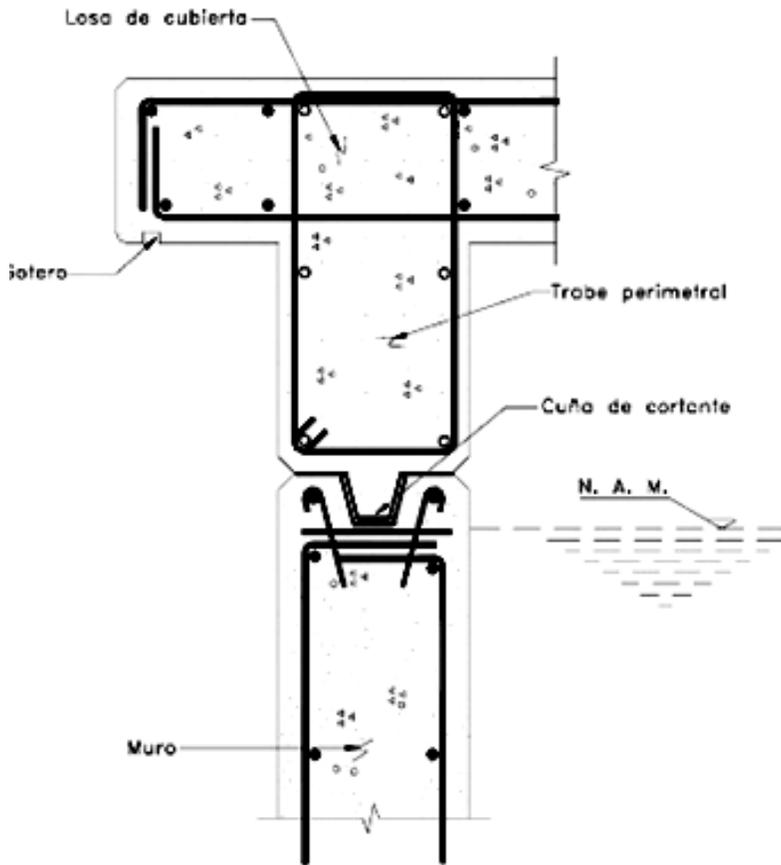
Si el depósito tiene cubierta, ésta de preferencia debe unirse a los muros y estos quedarán restringidos en su extremo superior. En cualquier caso en que el depósito esté cubierto, es importante tomar en cuenta la restricción que dicha cubierta proporciona al muro.

Figura 29. Unión muro-cubierta



Fuente: elaboración propia, con información del manual de diseño de tuberías OPS/OMS, 2003.

Figura 30. Soporte lateral de muro con la trabe perimetral de cubierta



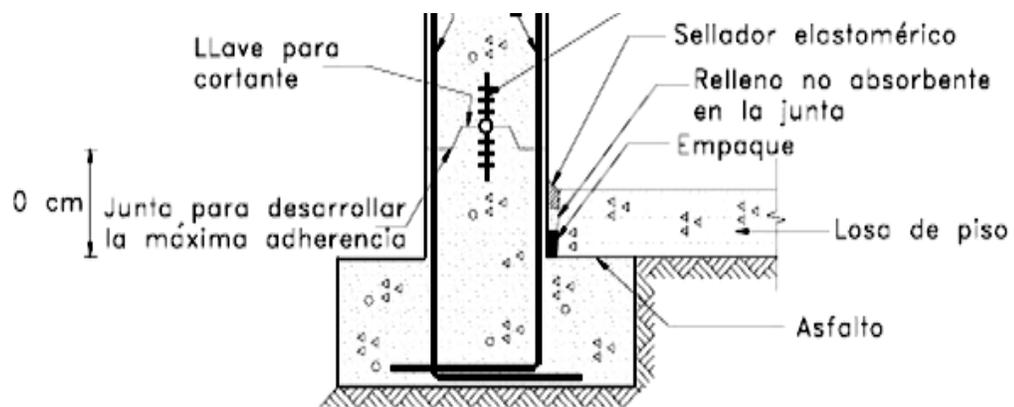
SOPORTE LATERAL DE MURO CON LA TRABE PERIMETRAL DE CUBIERTA.

Fuente: elaboración propia, con información del manual de diseño de tuberías OPS/OMS, 2003.

Si el terreno de desplante no tiene una buena capacidad de carga, el muro y la losa de fondo podrán ser continuos y esta realizará una función estructural para repartir las descargas al terreno de una manera eficiente.

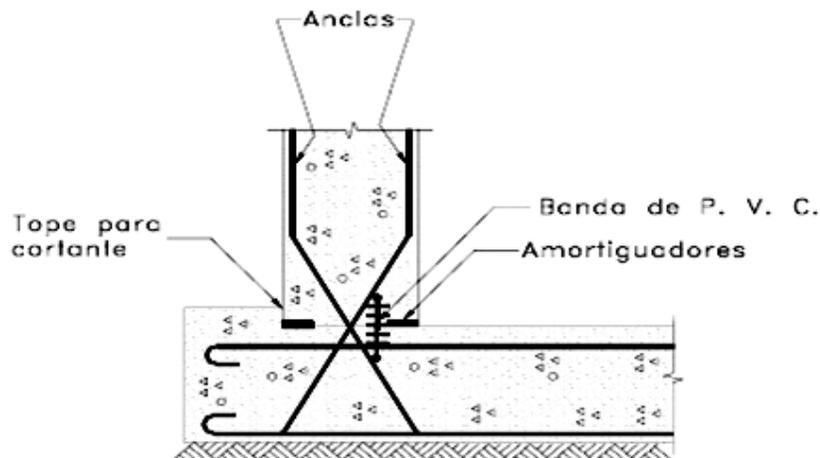
En la figura 31 se muestra al muro apoyado en una zapata relativamente angosta y el otro detalle en la figura 32, donde el muro descansa en el fondo sobre una losa estructural. En las figuras 29 y 30 de las páginas 77 y 78 respectivamente, se detalla la forma de anclaje muro-cimentación.

Figura 31. **Muro con apoyo en zapata angosta**



Fuente: elaboración propia, con información del manual de diseño de tuberías OPS/OMS, 2003.

Figura 32. Muro con apoyo en losa estructural



Fuente: elaboración propia, con información del manual de diseño de tuberías OPS/OMS, 2003.

Al iniciar un sistema de abastecimiento de agua potable en las comunidades se debe considerar las normas, especificaciones y diseños constructivos apropiados. Esto conlleva tener claros los parámetros de construcción para cada uno de sus elementos. Los pozos deben mantener la alineación correcta y protección de paredes.

Los tanques de almacenamiento de agua deben estar diseñados bajo los conceptos de dinámica estructural, utilizando todas las ecuaciones para obtener datos verídicos, los cuales ayudaran a crear una estructura eficiente. Estos parámetros pueden encontrarse en las normas locales, en este caso, la Norma de Seguridad Estructural (NSE) de la Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES).

Las tuberías presentan la mayor vulnerabilidad debido a ser el elemento más débil del sistema. El diseño apropiado de la red ira ligado a la demanda de

diseño que el sistema tenga, garantizando un balance entre el diámetro de las tuberías y su longitud. Debe asegurarse que el proveedor esté entregando material de alta calidad, por lo tanto debe verificarse con análisis de resistencias, ruptura y presión la capacidad máxima que soporta en condiciones extremas generadas por la acción de movimientos telúricos.

Todo proyecto es diferente, así que estos parámetros de diseño deben ir de la mano con el criterio del profesional para saber qué valores debe aplicar debido a condiciones geológicas, geográficas, sociales y económicas.



## **6. CONTROL DEL SISTEMA**

Luego de ocurrido un evento sísmico el cual ha producido daños a las tuberías, es necesario realizar monitoreos de movimientos sísmicos del terreno y del caudal del sistema para evitar pérdidas. Con esta información, es posible aislar los elementos que están provocando las pérdidas, creando un ahorro de agua.

Los sistemas de monitoreo son muy aplicables cuando los tanques de agua se han vaciado debido a sismos o cuando las tuberías a reemplazar representan un gasto elevado.

Dependiendo de las características del sistema, se pueden implementar medidas de monitoreo y control que permitan mitigar daños a un costo menor del requerido para reemplazar sistemas de tuberías.

### **6.1. Alternativas de monitoreo y control**

Se pueden utilizar interruptores sísmicos que se activen cuando se produzca una aceleración máxima del suelo, un exceso de caudal a través de una tubería o una reducción de presión en el sistema. En Guatemala, la utilización de estos elementos sería complicado debido a que además de presentar un costo elevado, la calibración debe ser precisa, ya que una interrupción del flujo cuando la demanda puede ser satisfecha sería innecesario.

Una opción factible para nuestra realidad, sería utilizar válvulas de corte que permitan cerrar el flujo cuando el caudal presente índices de crecimiento anormales.

Estas opciones van de la mano con la previsión del encargado de la sostenibilidad del proyecto, ya que el cierre del flujo en un sector por un mal cálculo de presión del flujo en el sistema podría causar desabastecimiento en condiciones críticas como incendios.

## **6.2. Válvulas de control**

El factor primario en la selección del sistema es la confiabilidad. Los dos tipos de válvulas más frecuentes para el aislamiento son las de globo y de mariposa. Se han utilizado válvulas de compuerta, pero son difíciles de operar con fuentes de energía almacenada en el lugar, tales como baterías o aire comprimido.

Las válvulas de globo, configuradas como reductoras de presión o válvulas controladoras de nivel, se activan con la presión de agua del sistema, pero no operarán si el sistema ha sido desaguado. Se usan comúnmente como válvulas controladoras para limitar el nivel máximo del agua en un reservorio o como válvulas de reducción de presión para llevar agua desde una zona de presión alta a una más baja. Su ventaja reside en que usan la presión del sistema para activarse y que probablemente ya se encuentren instaladas y estén siendo usadas para otros propósitos. Su desventaja es que no operarán si no hay agua en el sistema.

Las válvulas de mariposa se activan al darles un cuarto de vuelta, en lugar de múltiples vueltas como es el caso de la válvula de compuerta. Para activarlas, se pueden utilizar actuadores hidráulicos o neumáticos.

### **6.3. Tipos de aislamiento**

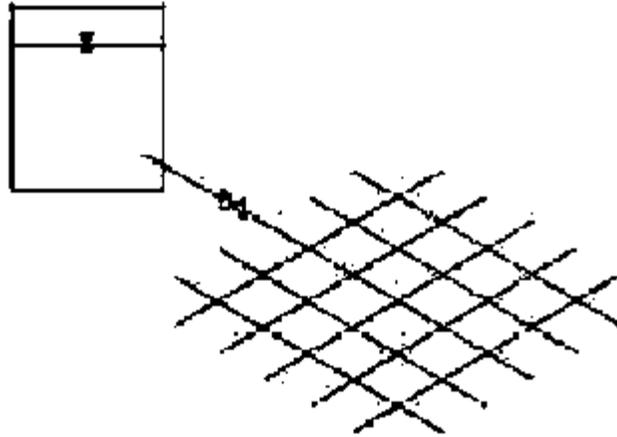
Los aislamientos que se deben aplicar a un sistema no son siempre los mismos. Estos dependerán de condiciones como topografía del terreno, riesgo de deslizamientos por movimiento sísmico elevado u otro factor que pudiera causar efectos dañinos al sistema. En general podemos mencionar el aislamiento del reservorio, el aislamiento en los cruces con fallas o ríos y el aislamiento en zonas de alto riesgo.

#### **6.3.1. Aislamiento de reservorio**

Mediante la instalación de válvulas de corte en las cercanías del reservorio, se puede aislar este del sistema de tuberías dañadas. Dicha válvula se activaría con el movimiento sísmico del terreno, el exceso de caudal o la reducción de presión, y aislaría el reservorio del sistema. Es recomendable tener por lo menos una válvula de acción manual en la salida del reservorio.

La cancelación del suministro del tanque no quiere decir que el servicio se cancelará. Generalmente existe más de un reservorio que alimenta a una región en específico. La figura 33 muestra el corte del servicio mediante la válvula de corte.

Figura 33. **Aislamiento mediante válvula de corte**



Fuente: elaboración propia con programa AUTOCAD 2013.

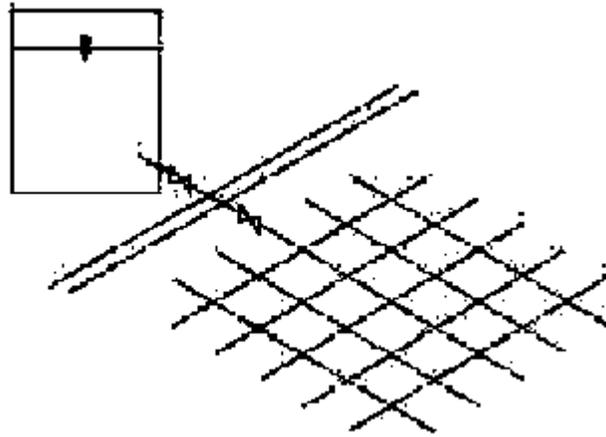
La acción que tomaría el personal de operaciones sería evaluar los sistemas de conducción y distribución, y aislar las áreas afectadas. Una vez que dichas áreas hayan sido aisladas, se volvería a abrir la válvula de corte del reservorio para que siga funcionando en el componente intacto del sistema.

La coordinación con el personal de mantenimiento y operación y las autoridades municipales permitirá realizar los cortes en los momentos justos para poder destinar el agua a emergencias, consecuencia secundaria de un sismo, como incendios.

### **6.3.2. Aislamiento en los cruces con fallas o ríos**

Se podría instalar una válvula de corte en cada lado de una tubería altamente vulnerable, como un cruce de falla o río. Esta configuración se muestra en la figura 34. Las mismas inquietudes respecto al aislamiento del reservorio se aplican al aislamiento de los cruces de falla o río.

Figura 34. **Aislamiento mediante válvula de corte en tubería vulnerable**



Fuente: elaboración propia con programa AUTOCAD 2013.

### **6.3.3. Aislamiento de áreas con alto riesgo**

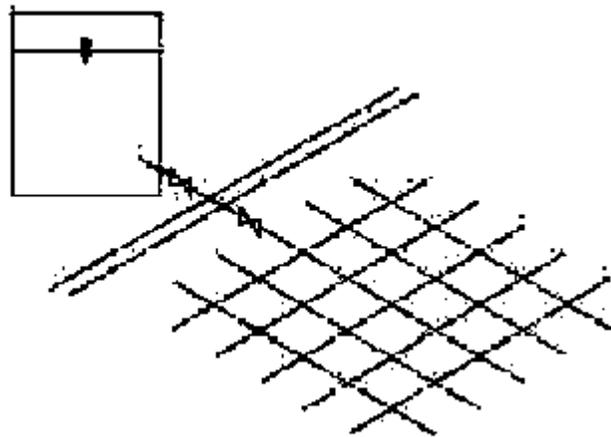
Las áreas que son particularmente vulnerables a sufrir daños en las tuberías, son aquellas que son susceptibles a la licuefacción, serían aisladas del resto del sistema. Las válvulas de corte se activarían por el movimiento sísmico del terreno, por el exceso de caudal, o por la reducción en la presión del sistema.

La ventaja principal de esta alternativa es que, áreas importantes del sistema, permanecerían en funcionamiento después del terremoto. Esto podría mitigar los problemas asociados con el servicio de agua, contaminación del sistema de agua o la reactivación inmediata del sistema.

Este tipo de sistema puede requerir la instalación y el mantenimiento de nuevas válvulas específicamente para este propósito. También depende de saber dónde se romperá la tubería como se detalla en la figura 35. Si se

produjera daño considerable a las tuberías en el área que no fue aislada, el reservorio aún podría desaguarse.

Figura 35. **Aislamiento mediante válvulas de corte en zonas con alto riesgo a licuefacción**



Fuente: elaboración propia con programa AUTOCAD 2013.

Los sistemas de monitoreo y control son muy eficientes, pero de alto costo, lo cual los hace casi inalcanzables para países del tercer mundo como Guatemala. Debido a esto, la utilización de válvulas presenta una alternativa viable para mantener un control en el sistema cuando se produzca una variación de caudal o inestabilidad de los reservorios.

Se deba planificar adecuadamente la independencia de los componentes del sistema para garantizar aislamientos en puntos clave como en las encrucijadas con ríos, accidentes geográficos, tanques de almacenamiento o terrenos que presenten características riesgosas como la licuefacción. El aislamiento del sistema garantiza mayor velocidad de respuesta dado un

terremoto ya que permite a la comunidad, personal técnico y autoridades poder aislar los diferentes segmentos del sistema, logrando así, identificar la parte o elemento que fue dañado de una manera muy rápida. Estos aislamientos se pueden llevar a cabo por medio de la utilización de válvulas, cajas de registro o pequeñas estructuras cuya finalidad sea servir como puesto de registro, monitoreo y control.



## **7. PLANIFICACIÓN PREVENTIVA Y CONSIDERACIONES LUEGO DE DADO UN SUCESO O DAÑO SÍSMICO**

### **7.1. Planificación preventiva**

La creación de una serie de medidas de prevención de daños sísmicos en acueductos, es un factor muy importante, debido a la cantidad de daños que se pueden prevenir teniendo un esquema o plan preventivo. Es necesario que esta medida se adopte, más aún en países en vías de desarrollo como Guatemala.

#### **7.1.1. Esquema del plan**

Según el Manual *Apuntes del curso de Planeamiento* elaborado por el licenciado Manuel Guillen Salazar, el plan surge en el proceso de planeación el cual no es más que el diseño o esquema informativo de lo que habrá de hacerse en el futuro y de las especificaciones para realizarlas

Los aspectos básicos de cualquier plan de prevención se pueden resumir en los 5 puntos siguientes:

- Introducción, política y prioridades

El plan de emergencia debe contar con una página introductoria que describa el propósito del plan e incluya los datos de la organización responsable. Se debe identificar las prioridades de los servicios para abastecer áreas tales como protección contra incendios, instalaciones de emergencia (hospitales) y servicios comerciales y residenciales.

- Autoridad y activación

Definir el procedimiento para establecer una autoridad que se encargue de activar y poner en práctica el plan de emergencia; esta debe definir claramente el proceso de declaración de una emergencia.

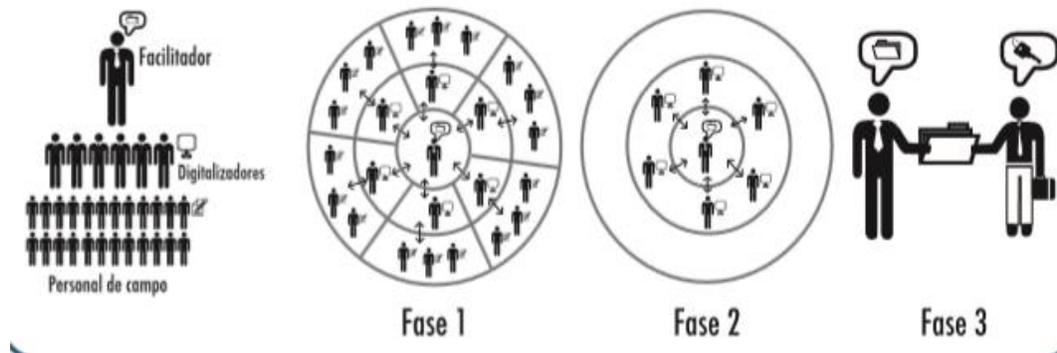
- Organización del personal para tomar acción en casos de emergencias

Establecer un sistema de organización para las operaciones de oficina y las operaciones de campo después de ocurrido un desastre. Identificar como mínimo a dos personas, en orden de autoridad, para cada puesto clave. Si una persona no está disponible, la suplente tendrá la autoridad de llevar a cabo las actividades.

Es necesario realizar capacitaciones constantes que involucren a técnicos y operativos en la materia de reparación de daños y evaluación de riesgos, para se puedan implementar eficaz y eficientemente mecanismos que respondan a un suceso sísmico.

En la figura 36 se muestra un esquema de orden lógico utilizado en el proceso de recuento de daños del terremoto del 2012 en Guatemala. Para ello, se debe identificar tres niveles de trabajo que se describen así: “personal para levantamiento de datos en campo” (local); “para digitalización” (departamental); “equipo facilitador experto” (central) que se encarga de la planificación y monitoreo del proceso y comunicación interinstitucional, para hacer más eficiente y eficaz la coordinación técnico-política y hacer accesible el recurso físico para el trabajo de campo y gabinete.

**Figura 36. Esquema del orden lógico de funciones del recurso humano involucrado en los procesos de levantado y digitalización de información de campo (boleta “SAS-Emergencia 2012”) y preparación/envío de reportes sobre daños en sistemas APS de centros poblados afectados por el terremoto**



Fuente: MORALES DE LA CRUZ ,Marco; PÉREZ ,Marlon; MOLINA , Jorge Mario; et al. Unidad de Coordinación del Programa Conjunto Procesos y resultados del Sistema de información del agua (SIAGua\_APS) para recuento de daños en sistemas de agua potable y saneamiento durante situaciones de emergencia.

En la figura puede observarse que por medio del personal de campo, se obtienen los datos que son digitalizados y dirigidos a un encargado de la recolección y organización de datos. Luego todos los encargados reúnen sus resultados a la entidad encargada, la cual presenta el informe final a la comunidad y a las autoridades nacionales.

- **Funciones y responsabilidades**

Es importante identificar a aquellas personas que tengan más probabilidad de tomar acción y movilizarse después de un sismo, y determinar la manera de incrementar el número de personas que podrían ayudar. Resulta útil discutir

abiertamente quién estaría disponible para movilizarse según los compromisos familiares que tenga y la proximidad a su lugar de trabajo. Aquellos que no tienen familia pueden estar en mejor capacidad de actuar. El personal que esté preparado para actuar en caso de que se produzca una emergencia en su casa podrá responder mejor en su centro laboral. Estas condiciones son necesarias para que la respuesta sea más rápida y pueda resolverse el problema rápidamente. Una persona con capacidad de movilización, compromisos familiares bajos y entusiasmo realizara el trabajo de forma eficiente y eficaz

- Matriz de efecto-respuesta

Debe incluir los tipos potenciales de emergencias y desastres, e identificar sus potenciales efectos sobre cada componente del sistema. Durante un procedimiento de respuesta frente a emergencias, la matriz puede servir como una lista de verificación a fin de dar mayor prioridad a los esfuerzos de evaluación y estabilización.

## **7.2. Consideraciones luego de ocurrido un evento sísmico**

Un terremoto afecta al sistema de agua potable desde el punto de vista estructural, funcional, social y económico, debido a que las fallas que se generan producen retrasos en el servicio. La organización rápida y funcional garantizará una visualización de prioridades.

### **7.2.1. Evaluación de daños**

Realizar un esquema en el cual sea más fácil para el operador, evaluar los daños que hayan sufrido los elementos del sistema de distribución de agua. Se puede considerar hacer una escala de daños tomando como 1, un daño insignificante hasta un 10, como un daño total del elemento.

Luego del daño causado por la tormenta Agatha en el 2010, se implementó un sistema de información de agua para recuento de daños en obras de agua potable y saneamiento (SIAGua\_APS) durante situaciones de emergencia, el cual es el que se aplica actualmente.

El último evento sísmico del país presentó el escenario perfecto para la aplicación de este sistema. Es importante no exceder los primeros 5 días luego de ocurrido el evento para tener un recuento de los daños causados. Este recuento se hace por medio de la utilización de un instrumento de campo, el cual puede ser boleta de emergencia de Sistemas de Agua y Saneamiento (SAS)-2012 mostrada en la figura 36.

Figura 37. **Detalle de algunos campos de la “Boleta SAS - Emergencia 2012”, definida en consenso por las instituciones del sector agua potable y saneamiento para el recuento de los daños en sistemas APS**

Gobierno de Guatemala	
<b>Boleta para establecer daños materiales y priorizar la rehabilitación de sistemas de abastecimiento de agua potable y saneamiento (BOLETA SAS – Emergencia)</b>	
<b>1. INFORMACIÓN GENERAL</b>	
1.1 Fecha de la evaluación:	
1.2 Nombre de la Comunidad afectada: _____	
1.3 Municipio: _____ 1.4 Departamento: _____	
1.5 No. Viviendas	1.6 No. Población y/o Habitantes
1.7 Contacto en la Comunidad: _____ (Datos nombre, puesto y No. Telefónico)	

8.0 PRESUPUESTO				
Descripción:	Cantidad	Unidad	Precio Unitario	Precio Total
Material locales				
Arena				
Piedrín				
Piedra bola				
Madera				
Material no locales (tubería PVC/HG, hierro, válvulas, cemento, etc)				
Mano de obra				

Fuente: MORALES DE LA CRUZ ,Marco; PÉREZ ,Marlon; MOLINA , Jorge Mario; et al. Unidad de Coordinación del Programa Conjunto Procesos y resultados del Sistema de información del agua (SIAGua\_APS) para recuento de daños en sistemas de agua potable y saneamiento durante situaciones de emergencia.

En la figura 37 se muestra la consolidación de información sobre recuento de daños, siguiendo la metodología de la figura 36. Esta boleta es un instrumento de fácil llenado por parte de personal técnico con conocimientos básicos de sistemas de agua potable y saneamiento y que obtiene información por medio de la referencia aportada por población y técnicos locales.

Herramienta indispensable para la obtención de información real que es administrada luego por medio del equipo encargado de digitación y colocación en una base de datos.

### **7.2.2. Manejo de información pública**

Liberar la información a través de una sola fuente a fin de que la misma sea coherente y correcta. Elaborar una lista de verificación para identificar a quiénes y cuando se debe dar a conocer la información. Brindar orientación general sobre el tipo de información que debe ser compartida; por ejemplo, tipo de daño, efecto sobre el servicio, tiempo requerido para su restauración y las precauciones a tomar, como hervir el agua.

### **7.2.3. Restauración de la operatividad**

Debe existir capacitación al personal operativo para que cuando ocurra un evento de esta naturaleza, se esté preparado. Se debe definir y comprender bien estas tareas antes de que ocurra el sismo. A continuación se presentan ejemplos de algunas acciones de restauración de las operaciones.

En la experiencia sobre el terremoto del 2012, resultó de particular importancia el conocimiento de la realidad de campo por parte de las alcaldías auxiliares, los Comités Comunitarios de Desarrollo (COCODE) y, para el caso de las municipalidades, de los técnicos; asimismo fue determinante contar con coordinadores técnicos locales en cada municipio que tuvieran las siguientes funciones: supervisar la movilización; coleccionar y organizar las boletas recopiladas durante el día; definir digitalización de los datos obtenidos; obtener una certificación/supervisión (sello) del proceso de campo por parte de CONRED; obtener una copia física de las boletas para entregarlas a las entidades locales como resultado del proceso.

- Evaluar, estabilizar y aislar los daños

Debido a que las fugas de agua pueden ocasionar el desagüe inmediato de un tanque u otros daños secundarios, se debe tomar acción inmediatamente. Una alternativa es verificar instalaciones y trazado de las tuberías preasignadas antes de ingresar a la oficina o edificación.

Verificar continuamente que las válvulas del sistema estén accesibles, en funcionamiento y que pertenezcan a un mapa de aislamiento definido. Se debe elaborar un procedimiento para evaluar los tanques elevados y desaguarlos en caso muestren indicios de daño. Las réplicas pueden causar el colapso de un tanque dañado.

- Determinar las prioridades

Es importante tener un panorama completo de la magnitud de los daños antes de enviar a los equipos de reparación. Estos equipos son valiosos y no deben ser desperdiciados en el primer daño identificado. Como se mencionó, es importante dar prioridad a los servicios de lo más a lo menos importante.

- Operar las instalaciones que han quedado intactas

Operar los pozos y estaciones de bombeo restantes para llenar los tanques.

- Racionar el agua

Se debe tomar en cuenta de dónde provendrá el agua antes de destinarla a un uso y racionarlo pues esta generalmente es escasa.

- Tratamiento, bombeo y distribución de emergencia

Utilizar cloradores portátiles, grupos electrógenos y sistemas temporales de distribución, según se requieran acompañados del estudio bacteriológico y químico para determinar su grado de pureza y calidad para el consumo humano

- Abastecimiento de agua de emergencia

Distribuir agua a través de camiones cisterna, agua embotellada o un sistema temporal de distribución sobre el terreno, según se requiera.

- Reparar los daños según su prioridad

Se debe fotografiar y describir los tipos de daño que ocurrieron para permitir que los investigadores tengan una mejor idea de los efectos sísmicos. Considere la interacción de las tuberías matrices de agua y desagüe desde una perspectiva de su calidad.

Debido al terremoto del 2012 en Guatemala, la reparación y conteo de daños fue un proceso que se trabajó simultáneamente, debido a que la población pedía y necesitaba la restauración del servicio. Para este proceso es de vital importancia utilizar el recurso humano necesario.

- Monitorear la cantidad y calidad del suministro

Mantener un control en la calidad química y física del agua, asegurando sus parámetros máximos admisibles y permisibles se mantengan para la seguridad del consumidor final. Es importante mantener un control y monitoreo constante del vital líquido para garantizar que su distribución sea de calidad.

La capacitación del personal administrativo, así como de la población en general garantizara una atmosfera de eficiencia y eficacia para responder a eventos de naturaleza sísmica. Por medio de las organizaciones encargadas de la capacitación de personal es posible realizar jornadas de información que involucren a personas influyentes en la sociedad y que estos puedan transmitir la información a sus similares. Nunca podrá evitarse un terremoto, pero si es posible evitar el colapso y pánico en la población por medio de una capacitación consciente y de calidad.

El fin de los sistemas de agua potable es garantizar que la población obtenga la dotación de agua necesaria para poder realizar sus actividades diarias. Por lo tanto debe considerarse que, dado un evento sísmico, la prioridad es restablecer dicho suministro. Es importante verificar que el sistema no esté contaminado, debido a la ruptura de elementos del sistema o la liberación de algún gas o sustancia provocado por el movimiento del suelo. Manteniendo a la mano las herramientas de recolección de datos, se garantiza una mayor velocidad y respuesta ante una emergencia.

## CONCLUSIONES

1. Guatemala es un país con actividad sísmica elevada, lo cual provoca alta vulnerabilidad a daños ocasionados a las estructuras de obra civil que en su mayoría, brindan servicios de importancia a la población.
2. Debido a la configuración geológica del país, el riesgo por deslizamientos presenta una de las mayores amenazas, lo cual obliga al planificador a buscar la ubicación adecuada para una correcta ubicación de los sistemas de agua potable y así evitar áreas con mayor probabilidad de deslaves.
3. La prevención de riesgos como la licuefacción, por deslizamientos y agrietamientos es un proceso costoso. Pero, es una medida necesaria, para evitar el colapso de los sistemas de agua potable.
4. Los sistemas de agua potable constan de componentes diversos que se diseñan de manera independiente para garantizar que, tras un suceso sísmico, el colapso de uno de ellos no provoque el daño total del mismo.
5. La utilización de las normas locales autorizadas para la construcción y diseño de sistemas de agua potable garantizan la seguridad. La Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES) da parámetros sísmicos para el diseño estructural de los componentes como tanques elevados y reservorios de concreto.

Los análisis estáticos y dinámicos resultantes de la aplicación de las normas orientadas a la región sísmica donde se construirá o se encuentra el sistema de agua potable son vitales.

6. El aislamiento de los componentes del sistema de agua potable por medio de válvulas de control o estaciones de registro garantizan un mantenimiento efectivo y eficiente del sistema.
7. La coordinación entre los Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES) y los Consejos Municipales de Desarrollo (COMUDES) brinda un marco de planificación preventiva y una respuesta más rápida ante un suceso sísmico. La interrupción o contaminación del servicio puede causar estragos en la población, por lo que una planificación y programación preventiva y una acción rápida ante emergencia, garantiza la mitigación del daño.
8. La utilización del sistema integrado SIAGua\_APS y su claridad técnica, en conjunto con la utilización de las boletas SAS-Emergencia de evaluación de campo constituyen una herramienta vital debido a que permite ahorrar tiempo evitando duplicidad funciones.

## RECOMENDACIONES

1. El estudio de la zonificación sísmica de la región geográfica donde se realizará o donde se encuentra el sistema de agua potable es importante. Se recomienda utilizar los mapas de riesgo sísmico que brinda el Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología (INSIVUMEH). De no encontrarse disponibles, utilizar una comparación con algún país con características geológicas similares a Guatemala.
2. Es primordial realizar un estudio estratigráfico para conocer la composición del suelo. Esto da parámetros del suelo que determinan su capacidad de cohesión, resistencia al corte y ángulo de fricción interna. También conoceremos si se encuentra el manto freático cercano y su riesgo de licuefacción.
3. Realizar una memoria de cálculo detallada, en la cual se muestre el procedimiento utilizado para el diseño de cada componente del sistema de agua potable, acompañado de los parámetros utilizados para su diseño, acompañado de planos detallados de todos los componentes, y su relación con el perfil natural del terreno, manteniendo la georeferencia de los puntos claves para la identificación del sistema.
4. Adjuntar la documentación específica de las normas y especificaciones utilizadas para la evaluación de fuerzas sísmicas, análisis estáticos y dinámicos, así como las normas técnicas y especificaciones utilizadas para la construcción de tanques, reservorios y líneas de distribución, para obra civil, como para garantizar la calidad de los materiales utilizados

5. Realizar una división de los componentes del sistema de agua potable en cada uno de sus trayectos, utilizando cámaras divisoras en los tanques de almacenamiento y división de ramales de una red por medio de válvulas de control de flujo para garantizar el mantenimiento del sistema sin interrumpir el servicio.
6. Crear un plan de emergencia que identifique los pasos a seguir dado un evento sísmico. Delegar a Consejos Comunitarios de Desarrollo (COCODES) y a Consejos Municipales de Desarrollo (COMUDES) para establecer puntos de acceso a válvulas de control, fuentes de abastecimiento y cajas de registro.
7. Todo equipo eléctrico, equipo de bombeo, plantas generadoras de energía, tableros de control de válvulas u otro elemento utilizado para generar el servicio, deben estar dentro de centros o puestos resistentes a sismos, garantizando que el equipo pueda mantenerse a salvo luego de un suceso sísmico.
8. Luego de un terremoto, las fuentes hídricas pueden sufrir contaminación. Es necesario realizar análisis químicos y bacteriológicos de agua para garantizar su consumo.

## BIBLIOGRAFÍA

1. AGUILAR RUIZ, Pedro. *Apuntes sobre el curso de ingeniería sanitaria*  
1. Trabajo de graduación de Ing. Civil. Universidad San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 2007.170 p.
2. American Concrete Institute. *Concrete Environmental Engineering Structures, ACI Committee 350 Report*. Detroit, Mich: ACI. 2001. 16 p.
3. AWWA. *Manual M19, Emergency Planning for Water Utility Management* . Denver, Colorado: AWWA, 1994. 93 p.
4. BALLANTYNE, Donald B. *Lifelines, Costa Rica Earthquake of April 22, 1991 Reconnaissance Report*, Earthquake Spectra, Supplement B to Volume 7. Oakland, California: Earthquake Engineering Research Institute, 1991. 107 p.
5. Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente. *Estudio de caso: terremoto del 22 de abril de 1991, Limón, Costa Rica*. Lima:OPS;CEPIS;OMS,1996.177 p.
6. Comisión Nacional del Agua. *Seguridad en acueductos del agua Subdirección General Técnica*. México: Comisión Nacional del Agua, 1999. 323 p.

7. GRASES, José. *Diseño sismorresistente: especificaciones y criterios empleados en Venezuela*. Academia de Ciencias Físicas, Matemáticas y Naturales. 1997, vol 33. 662 p.
8. *Mapa preliminar de Isointensidades*. [en línea] <[http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/Isointensidades7\\_11\\_2012.jpg](http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/Isointensidades7_11_2012.jpg)> [Consulta: 20 de junio de 2013].
9. MORALES DE LA CRUZ, Marco; PÉREZ, Marlon; MOLINA, Jorge Mario; et al. *Procesos y resultados del Sistema de información del agua (SIAGua\_APS) para recuento de daños en sistemas de agua potable y saneamiento durante situaciones de emergencia*. Gobierno de Guatemala. Unidad de Coordinación del Programa Conjunto, 2013. 21 p.
10. Oficina Regional de la OMS. *Manual para la mitigación de desastres naturales en sistemas rurales de agua potable*. Serie mitigación de Desastre. Washington: OPS. 1998. 84 p.
11. \_\_\_\_\_. *Daños ocasionados por el terremoto del 23 de junio de 2001 en los sistemas de abastecimiento de agua rurales. Departamentos de Arequipa, Moquegua y Tacna, Perú*. CEPIS OPS, 2001. 12 p.
12. Organización Panamericana de la Salud. *Emergencias y desastres en sistemas de agua potable y saneamiento: Guía para una respuesta eficaz*. Washington: OPS – AIDIS. 2001. 103 p.

13. \_\_\_\_\_ . *Manual sobre preparación de los servicios de agua potable y alcantarillado para afrontar situaciones de emergencia.* Washington: OPS, 1992. 258 p.
14. \_\_\_\_\_ . *Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario.* Washington:OPS. 1998. 102 p.
15. \_\_\_\_\_ . *Planificación para atender situaciones de emergencia en sistemas de agua potable y alcantarillado.* Washington: OPS, 1993. Cuaderno Técnico no. 37. 67 p.
16. RODRÍGUEZ CASTILLOS, Arturo. *Estudio de vulnerabilidad acueducto Osori.* Costa Rica. 1991. 10 p.
17. *Terremoto de Guatemala de 2012.* [en línea] <[http://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto\\_de\\_Guatemala\\_de\\_2012](http://es.wikipedia.org/wiki/Terremoto_de_Guatemala_de_2012)> [Consulta: 21 de junio de 2013].

