



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

**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD UTILIZANDO EL MÉTODO MATRICIAL
PROPUESTO POR EL CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA
SANITARIA (CEPIS), EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE ATLÁNTICO-ILUSIONES, CIUDAD DE GUATEMALA**

Sergio Iván Argueta Romero

Asesorado por el Ingeniero Pedro Cipriano Saravia Celis

Guatemala, septiembre de 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD UTILIZANDO EL MÉTODO MATRICIAL
PROPUESTO POR EL CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA
SANITARIA (CEPIS), EN EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA
POTABLE ATLÁNTICO-ILUSIONES, CIUDAD DE GUATEMALA**

TRABAJO DE GRADUACIÓN
PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE
LA FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

SERGIO IVÁN ARGUETA ROMERO

ASESORADO POR: ING. PEDRO CIPRIANO SARAVIA CELIS

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, SEPTIEMBRE DE 2005

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERIA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ingeniero Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	
VOCAL II	Licenciado Amahán Sánchez Álvarez
VOCAL III	Ingeniero Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Bachiller Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Bachiller Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ingeniera Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ingeniero Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR	Ingeniero Oswaldo Romeo Escobar Álvarez
EXAMINADOR	Ingeniera Christa Classon de Pinto
EXAMINADOR	Ingeniero Oscar Argueta Hernández
SECRETARIO	Ingeniera Marcia Ivonne Véliz Vargas

De una manera muy curiosa, los agradecimientos son lo último que se escribe, pero lo primero que se lee en un trabajo de esta índole, posiblemente, es la manera por la cual ciertas personas miden su influencia en la vida y obra del autor por lo que se ven obligadas a leerlas antes que todo. Irónicamente, es lo más difícil de escribir, tal vez porque su redacción no se encuentra normada por las especificaciones formales para el trabajo de graduación o, simplemente, porque no hay olvidar hacer mención de aquellas personas que han hecho posible que este día finalmente llegara, para evitar herir susceptibilidades, conservar amistades e inflar o desinflar algún que otro ego.

QUISIERA AGRADECER A

Todas y cada una de las personas que de manera voluntaria o involuntaria, se han visto involucradas en la elaboración del presente trabajo.

Mis amigos y compañeros, que me soportaron día tras día, cuyo apoyo me ha dado la fuerza de seguir adelante y que con su simple presencia hicieron más tolerable la vida universitaria, evitando que perdiera la cordura.

Todos aquellos en cuya ausencia corporal, más no espiritual, me han acompañado y ayudado a encontrar la inspiración para finalizar este trabajo y esta etapa de mi vida.

Y por último, un agradecimiento muy especial a los miembros de mi familia por su apoyo y comprensión para lograr tan anhelada meta, por brindarme tanto y renunciando a muchas cosas sin pedir nada a cambio.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES.....	V
LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS.....	VII
GLOSARIO.....	X
RESUMEN.....	XX
OBJETIVOS.....	XXI
INTRODUCCIÓN.....	XXII
1. ABASTECIMIENTO Y POTABILIZACIÓN DEL AGUA.....	1
1.1. Abastecimiento del agua en la ciudad de Guatemala.....	1
1.2. Características de un sistema de abastecimiento de agua.....	2
1.3. Procesos del tratamiento para la potabilización del agua.....	3
1.3.1. Aeración o aireación.....	3
1.3.2. Sedimentación y coagulación/floculación.....	3
1.3.3. Filtración.....	4
1.3.4. Desinfección.....	4
1.3.5. Suavización del agua o corrección de dureza.....	5
2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE ESTACION DE BOMBEO EL ATLÁNTICO Y PLANTA POTABILIZADORA LAS ILUSIONES.....	7
2.1. Antecedentes.....	7
2.2. Fuentes de abastecimiento.....	7
2.3. Estación de bombeo El Atlántico.....	9
2.3.1. Presas.....	10
2.3.2. Desarenadores.....	11
2.3.3. Tanque de compensación.....	13

2.3.4. Fosa de succión.....	13
2.3.5. Canal de demasías	14
2.3.6. Sistema contra el golpe de ariete.....	14
2.3.7. Línea de impulsión.....	15
2.4. Planta potabilizadora Las Ilusiones.....	16
2.4.1. Canal de entrada	17
2.4.2. Decantadores.....	17
2.4.3. Filtros	20
2.4.4. Tanque de recuperación de lodos.....	22
2.4.5. Tanque de recuperación de retrolavado	23
2.4.6. Tanques de almacenamiento de aguas claras.....	24
3. VULNERABILIDAD, RIESGO Y AMENAZA	25
3.1. Antecedentes	25
3.2. Vulnerabilidad	26
3.3. Riesgo.....	26
3.3.1. Riesgo específico.....	27
3.3.2. Elementos en riesgo	27
3.3.3. Riesgo total.....	27
3.4. Amenaza, peligro o peligrosidad	28
3.5. Medidas cuantitativas de amenaza y riesgo	29
4. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA AMENAZA Y SUS PRINCIPALES EFECTOS	33
4.1. Generalidades.....	33
4.2. Terremotos o sismos.....	35
4.3. Escalas de intensidad y magnitud sísmica.....	39
4.3.1. Magnitud de escala Richter	39

4.3.2. Intensidad en escala de Mercalli	40
4.4. Efectos generales de los terremotos	43
4.5. Daños producidos por terremotos	43
4.5.1. Influencia de los tipos de suelo de los daños	51
5. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ESTACIÓN DE BOMBEO EL ATLÁNTICO Y PLANTA POTABILIZADORA LAS ILUSIONES	53
5.1. Generalidades	53
5.2. Descripción de la metodología	53
5.2.1. Evaluación de los aspectos operativos.....	54
5.2.2. Evaluación de los aspectos administrativos y capacidad de respuesta	55
5.2.3. Evaluación de la organización institucional	55
5.2.4. Evaluación de la operación y mantenimiento	56
5.2.5. Evaluación del apoyo administrativo	57
5.2.6. Evaluación de los aspectos físicos e impacto en el sistema .	57
5.2.7. Evaluación de los componentes expuestos.....	58
5.2.8. Evaluación del estado del componente	59
5.2.9. Evaluación de los daños estimados	59
5.2.10. Evaluación del tiempo de rehabilitación -TR-	59
5.2.11. Evaluación de la capacidad remanente.....	61
5.2.12. Evaluación del impacto al servicio.....	61
5.2.13. Evaluación de las medidas de mitigación y emergencia -aspectos administrativos y operativos-	62
5.2.14. Evaluación de las medidas de mitigación y emergencia -aspectos físicos-	63

5.3. Aplicación de la metodología realizando un estudio de análisis de vulnerabilidad en el sistema de estación de bombeo El Atlántico y planta potabilizadora Las Ilusiones.....	65
5.3.1. Identificación de la organización y la legislación vigente	65
5.3.2 Descripción de la zona, del sistema y su funcionamiento	66
5.3.3 Matrices de evaluación	69
5.3.4 Análisis de resultados	78
CONCLUSIONES	81
RECOMENDACIONES	83
BIBLIOGRAFÍA	85
APÉNDICES	89

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Esquema del sistema Atlántico-Ilusiones.....	8
2	Panorámica de la estación de Bombeo de El Atlántico.....	9
3	Vista -aguas abajo- del dique disipador de energía de la presa de la estación de bombeo del Atlántico en 1972	10
4	Desarenador circular.....	11
5	Esquema del desarenador circular	12
6	Desarenador rectangular y tanque de compensación.....	12
7	Tanque de compensación.....	13
8	Canal de demasías	14
9	Campana de aire -sistema contra golpe de ariete-	15
10	Línea de impulsión en 1972.....	15
11	Esquema del canal de entrada y el pulsador	17
12	Decantadores	18
13	Esquema del sistema del pulsador	18
14	Panorámica que muestra los decantadores, el pulsador y los filtros	19
15	Esquema del decantador	19
16	Filtro.....	20
17	Lecho filtrante	21
18	Esquema del filtro	21
19	Esquema de sistema de filtración	22
20	Tanque de recuperación de lodos.....	23
21	Tanque de recuperación de retrolavado	23

22	Tanque elevado.....	24
23	Panorámica del tanque semienterrado.....	24
24	Marco tectónico de Guatemala.....	34
25	Tectónica global	36
26	Zonas del municipio de Guatemala	68
27	Mapa geológico de la República de Guatemala.....	96
28	Mapa de amenaza sísmica en la República de Guatemala	97
29	Diagrama para la evaluación de vulnerabilidad y medidas de mitigación	99

TABLAS

I	Magnitud en escala Richter	40
II	Intensidad en escala Mercalli	41
III	Estados de emergencia por actividad sísmica	98

LISTA DE SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

a.C.	Antes de Cristo.
AC	Asbesto cemento.
Ai	Amenaza, peligro o peligrosidad.
BID	Banco Interamericano de Desarrollo.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria.
Co.	Compañía: <i>-Company-</i> .
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas.
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
d.C.	Después de Cristo.
E	Elementos en riesgo.
e	Elemento expuesto.
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala.
E.P.S.	Ejercicio Profesional Supervisado.
H	Amenaza, peligro o peligrosidad.
HF	Hierro fundido.
HG	Hierro galvanizado.
Hp.	Caballos de fuerza.
Hrs.	Horas.
i	Intensidad del evento.
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrológica.
IZIIS	Instituto de ingeniería Sísmica y Sismología de Skoplie -antigua Yugoslavia-.

JICA	Agencia Japonesa de Cooperación Internacional: <i>-Japanese International Cooperation Agency-</i> .
Km.	Kilómetro.
lts/seg	Litros por segundo.
m.	Metro.
m³	Metro cúbico.
m³/día	Metros cúbicos por día.
m³/s	Metros cúbicos por segundo.
mca	Metros Columna de Agua.
mm.	Milímetro.
m.s.n.m.	Metros sobre el nivel del mar.
ND/NS	No se dispone de información/ No se sabe.
NGO	Norma Guatemalteca obligatoria.
°C	Grados en la escala de temperatura Celsius.
OMC	Organización Mundial de Comercio.
OPS	Organización Panamericana de la Salud.
OPS/OMS	Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud.
OTAN	Organización del tratado del Atlántico Norte.
Pexc	Periodo de exposición.
pH	Potencial de hidrógeno.
Pret	Periodo de retorno.
PVC	Cloruro de Polivinilo: <i>-Polyvinyl Chloride-</i> .
Rie	Riesgo ante un evento.
Rs	Riesgo específico.
Rt	Riesgo total.
t	Periodo de duración del evento.
Texp	Lapso de tiempo entre eventos.
TLCAN	Tratado de Libre Comercio de América del Norte.

TR	Tiempo de rehabilitación.
UHF	Frecuencias ultraelevadas: <i>-Ultra High Frequencies-</i> .
Ve	Vulnerabilidad ante un evento.
VHF	Frecuencias muy elevadas: <i>-Very High Frequencies-</i> .

GLOSARIO

Acueducto	Canal artificial construido para transportar agua y abastecer a una población. Puede ser un canal abierto o cerrado, un túnel o una tubería, o puede ser un puente que eleve el canal sobre un valle o un río.
Afluente	Tributario de un río y uno de sus elementos primarios; la captura de un afluente forma parte del fenómeno global del modelado del relieve.
Agua	Nombre común que se aplica al estado líquido del compuesto de hidrógeno y oxígeno cuya formula química es H ₂ O.
Agua Cruda	Agua procedente de la fuente de captación, la cual no ha sido tratada para el consumo humano.
Agua Potable	Agua que ha pasado por una serie de procesos para hacerla sanitariamente segura y agradable a los sentidos.
Alivianadero	Parte de la presa que es utilizada para descargar el excedente de agua y evitar daños debido a las altas presiones hidroestáticas.

Amenaza	Evento debido mayormente a circunstancias naturales que ponen en peligro el bienestar del hombre y/o el medio ambiente.
Anión	Ión de carga negativa formado cuando un átomo que gana un electrón.
Antracita	Carbón duro que tiene el mayor contenido de carbono fijo y el menor contenido de material volátil de todos los tipos de carbón.
Antropogénico	Cuyo origen es debido a la intervención del hombre.
Bicarbonato	Compuestos formados por la sustitución de uno solo de los hidrógenos del ácido carbónico produciendo los hidrogenocarbonatos o bicarbonatos que contienen el anión bicarbonato.
Canal	Cauce de agua artificial construido por motivos de riego, drenaje, para convertir una vía en navegable o como parte de una central hidroeléctrica.
Canaleta	Canal pequeño que sirve como conducto que recibe y vierte el agua.

Captación	Obra de ingeniería utilizada para captar las aguas destinadas al abastecimiento de poblaciones, riego o producción de energía.
Carbonato	Compuesto que contiene el ión carbonato.
Catión	Ión de carga positiva formado cuando un átomo que pierde un electrón.
Ceolita o Zeolita	Gran grupo de minerales compuestos por silicatos aluminicos hidratados de metales alcalinos y alcalinotérreos que se usan para ablandar el agua con un método de intercambio de iones llamado proceso ceolítico.
Cloruro	Sal del ácido clorhídrico.
Coloide	Suspensión de partículas diminutas de una sustancia, llamada fase dispersada, en otra fase, llamada fase continua, o, medio de dispersión.
Compuerta	Plancha fuerte de madera o de hierro, que se desliza por carriles o correderas, y, se coloca en los canales, diques, etc., para graduar o cortar el paso del agua.
Condensación	Proceso en el que la materia pasa a una forma más densa, es el resultado de la reducción de

temperatura causada por la eliminación del calor latente de evaporación.

Cosmogonía	Conjunto de teorías míticas, religiosas, filosóficas y científicas acerca del origen del mundo.
Cualitativo	Que denota cualidad, que tiene por objeto descubrir y aislar los elementos o ingredientes de un cuerpo compuesto o un conjunto de procesos.
Cuantitativo	Perteneiente o relativo a la cantidad, que se emplea para determinar la cantidad de cada elemento o ingrediente que conforma un cuerpo o un conjunto de procesos.
Desalinización	Proceso que consiste en eliminar el componente salino del agua.
Detergente	Compuestos cuya disolución actúa como agente limpiador de la suciedad y de sustancias en superficies contaminadas.
Embalse	Depósito artificial de agua que se forma mediante un dique o una presa en el curso de un río o arroyo con el fin de almacenar sus aguas para distintos usos.

Epicentro	Punto superficial durante un sismo donde la sacudida es más intensa.
Escorrentía	Conjunto de las aguas provenientes de las precipitaciones que se desplazan por la superficie terrestre gracias a la fuerza de la gravedad.
Evaporación	Conversión gradual de un líquido en gas sin que haya ebullición.
Falla geológica	Línea de fractura a lo largo de la cual una sección de la corteza terrestre se ha desplazado con respecto a otra.
Flóculo	Grumo de pequeñas partículas coloidales aglomeradas que aparece durante el proceso de floculación.
Fluoruro	Sal del ácido fluorhídrico.
Germen	Término genérico que se utiliza para designar de forma imprecisa cualquier agente patógeno muy pequeño. El término se aplica a organismos productores de enfermedades, como las bacterias, los protozoos, los hongos y a agentes patógenos de clasificación incierta, como las rickettsias y los virus.

Granulometría	Tamaño de las piedras, granos, arena, etc., que constituyen un árido o polvo. Parte de la petrografía que trata de la medida del tamaño de las partículas, granos y rocas de los suelos.
Grava	Mezcla de guijas, arena y a veces arcilla que se encuentra en yacimientos.
Heurístico	Relativo a la manera de buscar la solución de un problema mediante métodos no rigurosos, como por tanteo, reglas empíricas, etc.
Hidráulica	Aplicación de la mecánica de fluidos en ingeniería, para construir dispositivos que funcionan con líquidos, por lo general agua o aceite.
Hipocentro o foco	Lugar en el que las capas de roca se desplazan y disponen unas en relación a otras durante un sismo, es el centro efectivo del terremoto.
Hormigón o Concreto	Material artificial utilizado en ingeniería que se obtiene mezclando cemento Portland, agua, algunos materiales bastos como la grava y otros refinados y una pequeña cantidad de aire para la formación de bloques monolíticos.
Intensidad	Grado de fuerza con que se manifiesta un agente natural.

Ión	Partícula que se forma cuando un átomo neutro o un grupo de átomos ganan o pierden uno o más electrones.
Magnitud	Propiedad física que puede ser medida.
Meteorológico	Relativo a las variaciones de las condiciones atmosféricas.
Nivel Freático o Manto Freático	Nivel superior de la zona de saturación en las rocas permeables.
Oscilación	Cada uno de los vaivenes de un movimiento oscilatorio.
Ósmosis	Paso de un componente de una disolución a través de una membrana que impide el paso del resto de los componentes de dicha disolución.
Ósmosis Inversa	Proceso de desalinización que permite obtener agua dulce a partir de agua salada.
Patógenos	Agente biológico que origina y desarrolla una enfermedad.
pH	Potencial de hidrógeno. Término que indica la concentración de iones hidrógeno en una disolución.

Placa Tectónica	Una de las veinte placas semirrígidas que conforman la corteza terrestre cuyas fronteras son zonas con actividad tectónica donde tienden a producirse sismos y erupciones volcánicas.
Potabilización	Serie de procesos cuya finalidad es mejorar la calidad del agua para hacerla sanitariamente segura, mejorando sus cualidades estéticas.
Pozo	Perforación o excavación que se hace en la tierra para buscar una vena de agua subterránea.
Precipitación	Vapor de agua que circuló libremente por la atmósfera y precipita o cae a la superficie terrestre en forma de lluvia, rocío, granizo o nieve.
Probabilidad	La probabilidad es el grado de certeza para la ocurrencia de un evento, se encuentra basada en el estudio de la combinatoria y es fundamento necesario de la estadística. La probabilidad de un resultado se representa con un número entre 0 y 1.
Remoción	Acción y efecto de remover o eliminar.

Represa	Obra para contener o regular el curso de las aguas y donde las aguas están detenidas o almacenadas, natural o artificialmente.
Reservorio	Depósito o estanque de agua, sustancias nutritivas o de desecho destinadas a ser utilizadas o eliminadas.
Riesgo	Contingencia o posibilidad de que suceda un daño.
Sal	Compuesto resultante de la sustitución de los átomos de hidrógeno de un ácido por radicales básicos.
Sismo	Temblor producido en la corteza terrestre como consecuencia de la liberación repentina de energía en el interior de la Tierra.
Sulfato	Sal mineral u orgánica del ácido sulfúrico.
Tectónico	Relativo a las deformaciones estructurales geológicas y dinámica de la corteza de la Tierra.
Topológico	Relativo a la forma y representación de los elementos naturales y/o humanos que se encuentran en la superficie terrestre.

Trepidación	Balance aparente y casi imperceptible mientras tiembla fuertemente.
Tsunami	Palabra japonesa utilizada como término científico para describir las olas marinas de origen sísmico. Grandes olas generadas por un terremoto submarino o maremoto, cuando el suelo del océano bascula durante el temblor o se producen corrimientos de tierra.
Turbiedad	Alteración que oscurece o quita la claridad natural o transparencia de un cuerpo.
Válvula	Dispositivo mecánico empleado para controlar el flujo de un fluido.
Vulnerabilidad	Susceptibilidad a la pérdida de un elemento o conjunto de elementos como resultado de la ocurrencia de un desastre.

RESUMEN

Un análisis de vulnerabilidad es realizado a fin de determinar cuáles componentes de los sistemas de abastecimiento de agua se encuentran en riesgo de sufrir daños ante una amenaza natural y preparar las medidas de mitigación correspondientes.

El sistema Atlántico-Las Ilusiones, consta de la estación de bombeo Atlántico y de la planta potabilizadora las Ilusiones. Inaugurado en 1972, este sistema fue diseñado para captar por medio de las aguas de los ríos Canalitos, Teocinte, Bijagüe y Los Ocotes para, posteriormente, tratarlas en la planta potabilizadora Las Ilusiones. En 1996 este sistema fue rehabilitado con el apoyo técnico y financiero de la Agencia japonesa de Cooperación Internacional (JICA). La importancia de este sistema reside en que abastece a los sectores con mayor crecimiento demográfico de la ciudad capital, con aproximadamente un 7% de incremento poblacional. Por lo cual, es bastante difícil suplir sus servicios con el caudal proveniente de otros sistemas.

La metodología utilizada ha sido desarrollada en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), como elemento de información respecto a la magnitud del daño y las expectativas de rehabilitación en términos de tiempo para que las empresas que prestan los servicios de potabilización y distribución de agua potable, puedan realizar los estudios de análisis de vulnerabilidad frente a las amenazas naturales más comunes.

OBJETIVOS

- **General**

Realizar un análisis de vulnerabilidad para el sistema de abastecimiento de agua potable Atlántico-Ilusiones de la ciudad capital del departamento de Guatemala, a fin de determinar cuáles componentes del sistema se encuentran en riesgo de sufrir daños ante una amenaza natural y preparar las medidas de mitigación.

- **Específicos**

1. Contar con un instrumento que sea de utilidad a la superintendencia del sistema Atlántico-ilusiones para priorizar sus inversiones en el sistema de abastecimiento de agua potable con la finalidad de reducir riesgos por amenazas naturales.
2. Conjuntamente con el personal que labora en el sistema, evaluar cada componente, desde las obras de captación hasta la red de distribución.
3. Determinar la vulnerabilidad física, administrativa y operativa del sistema de abastecimiento de agua potable Atlántico-Ilusiones.

INTRODUCCIÓN

La Región de Guatemala está expuesta a todo tipo de amenazas naturales. Terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, inundaciones, deslizamientos o sequías, provocando con mucha frecuencia graves desastres. La suma de esas tradicionales amenazas naturales con el incremento de la vulnerabilidad provocado por la acción del hombre en los procesos de desarrollo, industrialización, urbanización exagerada y deterioro del medio ambiente, ha disparado la frecuencia de los desastres, y especialmente el efecto de los mismos.

A fin de asegurar la continuidad y calidad de los servicios de agua potable y alcantarillado durante situaciones de emergencias y desastres, es necesario realizar un estudio de análisis de vulnerabilidad a fin de identificar e implementar las medidas de prevención y mitigación frente a desastres en los distintos componentes de estos sistemas, además de contar con los planes de atención de emergencia correspondientes.

Anteriormente, se habían realizado dos estudios de análisis de vulnerabilidad al sistema Atlántico-Ilusiones sin embargo, debido a que la planta fue rehabilitada en 1996, cualquier análisis de vulnerabilidad previo a esta fecha es completamente obsoleto. El presente trabajo es una caja de herramientas básicas que se pueden utilizar para estudiar e identificar las vulnerabilidades existentes en los sistemas frente a las más importantes amenazas naturales que les pueden afectar, y, una vez identificadas, puedan planificar y ejecutar las necesarias medidas de mitigación.

1. ABASTECIMIENTO Y POTABILIZACIÓN DEL AGUA

1.1. Abastecimiento del agua en la ciudad de Guatemala

La historia del abastecimiento de agua potable en la Ciudad de Guatemala, se remonta hasta antes del traslado de la Ciudad al Valle de la Ermita. Así fue como en 1774 se presentó el informe que contenía datos sobre las fuentes de agua existentes de las cuales se podía obtener el vital líquido, realizándose un estudio de la introducción de las aguas de Mixco, Concepción, Pasanlique, Pancochá, Betien, Pinula, Acatán y La Bonita.

Los dos acueductos principales transportaban las aguas de Mixco y Pinula hacia el llamado “Cuarto de Trompeta” -Avenida Bolívar y 20 Calle de la Zona 1-, donde se originaba el sistema primario de distribución que alimentaba una serie de cajas elevadas de mampostería llamadas “Alcantarillas”, colocadas en ciertas esquinas de las calles. Este sistema no presentaba las garantías necesarias para un agua potable sanitariamente segura -debido a que el agua no era tratada-.

En 1782 por Decreto se creó la Dirección de Aguas como dependencia de la Municipalidad de Guatemala, responsable de velar por el abastecimiento de Agua para la ciudad, por medio de concesiones del Gobierno a la Municipalidad.

Por Acuerdo Municipal del 28 de noviembre de 1972 el Banco Interamericano de Desarrollo, promueve ante la Municipalidad Capitalina la transformación de la Dirección de Aguas y Drenajes Municipales, en una

empresa especializada en la prestación del servicio de agua potable, creándose para el efecto la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala “EMPAGUA”, , iniciando labores efectivas el 1 de enero de 1973, como la responsable de la prestación, mejoramiento y ampliación del servicio municipal de agua potable en la Ciudad de Guatemala y según los acuerdos que se firmaren con cualquier otro municipio

1.2. Características de un sistema de abastecimiento de agua

El objeto primordial de un servicio público, como el sistema de abastecimiento de agua potable, es suministrar el agua en la cantidad y la calidad adecuada.

Para ello se debe cumplir con una serie de características, que garanticen de manera cuantitativa y cualitativa la satisfacción a las necesidades de aquellas personas que habitan en el área de cobertura del servicio que se presta, estas características son:

- Continuidad: debe prestarse durante el mayor período de tiempo posible y sin interrupciones.
- Eficiencia: se debe prestar el servicio con la mayor calidad, utilizando el mínimo de los recursos.
- Generalidad: deben ser prestados a toda la población.
- Igualdad: deben ser prestados en iguales condiciones, sin excepción.
- Accesibilidad: deben ser técnica y financieramente accesibles para toda la población.

1.3. Procesos del tratamiento para la potabilización del agua

La potabilización del agua consiste en una serie de procesos cuya finalidad es mejorar la calidad del agua sanitariamente, estéticamente, y desde el punto de vista económico. Para beneficio del usuario del servicio de agua potable.

Los principales procedimientos para el tratamiento de las aguas potables son:

- Aeración o aireación
- Sedimentación: simple o con coagulación
- Filtración: lenta o rápida
- Desinfección -eliminación de gérmenes patógenos)-
- Suavización -corrección de la dureza -

1.3.1. Aeración o aireación

La aeración es el proceso de tratamiento que consiste en poner al agua en contacto con el aire con el fin de que se sature de oxígeno.

1.3.2. Sedimentación y coagulación/floculación

La sedimentación o decantación de las partículas en suspensión en el agua se logra disminuyendo su velocidad o manteniéndola en reposo en

recipientes rectangulares llamados tanques de sedimentación, decantadores o clarificadores.

Cuando las impurezas del agua se encuentran en forma de partículas muy finas, se hace necesario facilitar la sedimentación agregando al agua sustancias coagulantes -tales como el sulfato de aluminio- que se adhieren a las partículas y aceleran su precipitación. La coagulación/floculación es un procedimiento que se utiliza para la eliminación de las partículas coloidales.

1.3.3. Filtración

Cuando se pretende eliminar del agua las partículas en suspensión, se recurre al tratamiento mediante filtración. Los métodos de filtración más comunes son:

- Filtración superficial
- Filtración en lecho profundo húmedo
- Filtración en lecho profundo seco

Se trata, pues de eliminar aquellas impurezas que no han podido ser separados por sedimentación, partículas de pequeño tamaño que no llegan a sedimentar, o lo hacen a velocidades extremadamente pequeñas.

1.3.4. Desinfección

Su objetivo es la eliminación de los gérmenes patógenos presentes en el agua. En la actualidad las dos sustancias que más se utilizan en la

desinfección del agua son el cloro y el ozono, aunque este último tiene el inconveniente de no poseer efecto residual.

1.3.5. Suavización del Agua o Corrección de Dureza

La dureza de las aguas naturales es producida sobre todo por las sales de calcio y magnesio, y en menor proporción por el hierro, el aluminio y otros metales. La dureza residual se conoce como dureza no carbónica o permanente.

Las aguas que poseen esta dureza pueden ablandarse añadiendo carbonato de sodio y cal, o filtrándolas a través de zeolitas naturales o artificiales que absorben los iones metálicos que producen la dureza, y liberan iones sodio en el agua.

2. DESCRIPCIÓN TÉCNICA DEL SISTEMA DE ESTACION DE BOMBEO EL ATLÁNTICO Y PLANTA POTABILIZADORA LAS ILUSIONES

2.1. Antecedentes

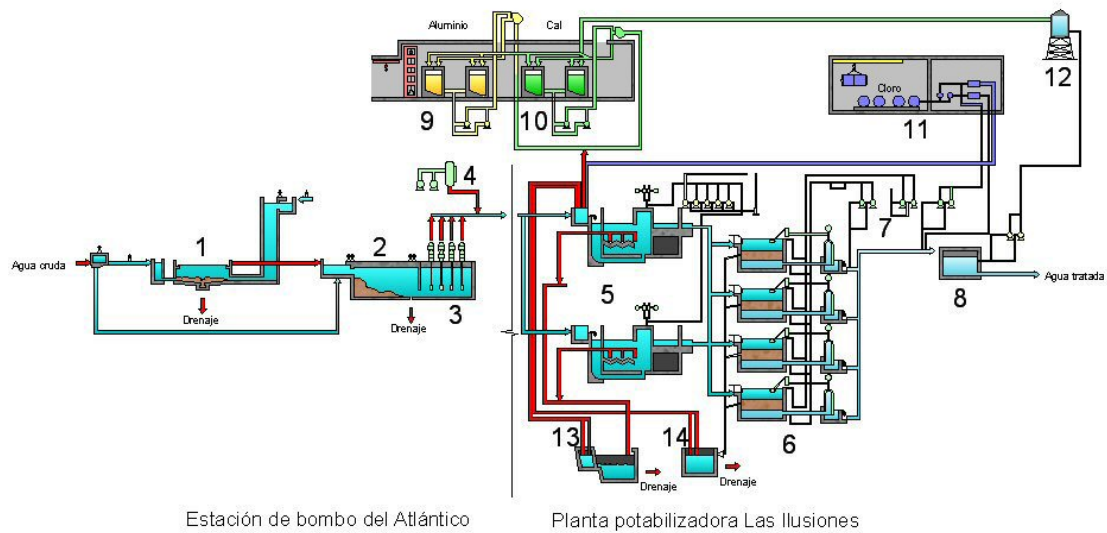
El sistema Atlántico-Las Ilusiones, consta de la estación de bombeo Atlántico y de la planta potabilizadora las Ilusiones. Inaugurado en 1972, este sistema fue diseñado para captar por medio de las aguas de los ríos Canalitos, Teocinte, Bijagüe y Los Ocotes para posteriormente tratarlas en la planta potabilizadora Las Ilusiones. En 1996 este sistema fue rehabilitado con el apoyo técnico y financiero de la Agencia japonesa de Cooperación Internacional (JICA).

2.2. Fuentes de abastecimiento

Los ríos Teocinte y Los Ocotes confluyen 500 metros aguas arriba del sitio de donde se ubica la planta de bombeo del proyecto, localizada a inmediaciones del kilómetro 13.5 de la ruta al Atlántico, y a la cual se accede por medio de un camino asfaltado de 2 kilómetros de longitud, construido especialmente para el propósito.

Figura 1. Esquema del sistema Atlántico-Ilusiones

Sistema Atlántico-Ilusiones



- | | |
|--|---|
| 1. Desarenador circular | 8. Tanque de distribución semienterrado |
| 2. Desarenador rectangular | 9. Dosificación de sulfato de aluminio |
| 3. Bombeo | 10. Dosificación de Cal (No está en uso) |
| 4. Sistema contra golpe de ariete | 11. Sistema de cloración |
| 5. Sistemas de coagulación/floculación | 12. Tanque de distribución elevado |
| 6. Sistema de filtración | 13. Tanque de recuperación de lodos |
| 7. Sistema de retrolavado | 14. Tanque de recuperación de retrolavado |

Fuente: Elaboración propia

2.3. Estación de bombeo El Atlántico

La estación de bombeo Atlántico consta de una presa derivadora que permite formar el embalse necesario y derivar el agua del río, un desarenador circular, un desarenador rectangular, un tanque de compensación, una fosa de succión, un canal de demasías, un sistema contra el golpe de ariete, una casa de mandos, y cuatro unidades de bombeo vertical accionadas por motores eléctricos de 800 Hp, alimentados por una línea de alta tensión de unos ocho kilómetros de longitud aproximadamente, construida específicamente para la estación de bombeo; en la estación de bombeo se cuenta también con una subestación eléctrica que transforma la energía a la tensión necesaria en los motores. Además se cuenta con una bodega y un taller. De la estación de bombeo se conduce el agua cruda hacia la planta potabilizadora Las Ilusiones por medio de una tubería de 6.1 kilómetros de longitud, cuya instalación requirió la excavación de varios cientos de metros de túneles -algunos con pendientes de hasta 45°-; fue preciso construir un puente, bastiones, anclajes, cajas para válvulas de diverso tipo, cajas de registro, etc.

Figura 2. Panorámica de la estación de Bombeo del Atlántico

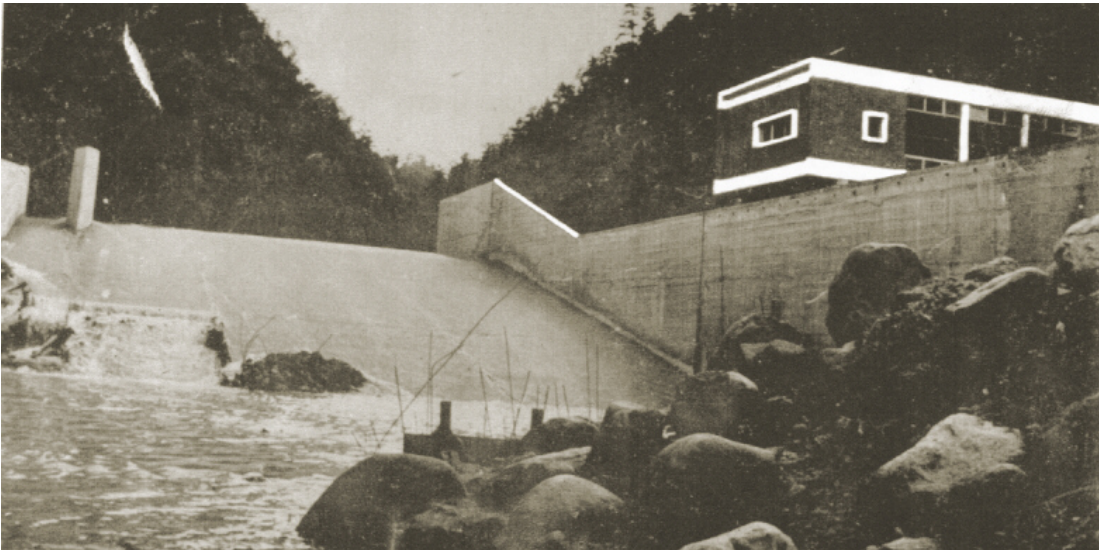


Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

2.3.1. Presas

El río Teocinte se une con el río Bijagüe por medio de una presa derivadora y una tubería que cruza la montaña que separa los dos ríos, por medio del túnel La Cebadilla, excavado a unos 250 metros de profundidad, con una longitud de 300 metros aproximadamente

Figura 3. Vista -aguas abajo- del dique disipador de energía de la presa de la estación de bombeo del Atlántico en 1972



Fuente: Ernesto Ramírez Pereira. Proyecto Atlántico. Pág. 10

La presa de la estación de bombeo se encuentra ubicada sobre el río Bijagüe, para embalsarlo y retener su caudal. Sirve para regular el agua y dirigirla hacia los canales del sistema de abastecimiento, así como para controlar el caudal de agua durante los periodos de inundaciones y sequía. Se diseñó para una crecida máxima de $1000 \text{ m}^3/\text{s}$.

Las presas de gravedad, como la de la estación de bombeo El Atlántico, son estructuras de hormigón de sección triangular; la base es ancha y se va estrechando hacia la parte superior.

Los aliviaderos aseguran que el embalse no rebase la presa. Los desaguaderos o vertederos que se utilizan para extraer de modo constante agua, son canales o conductos cuyas entradas se encuentran a la altura del nivel mínimo del embalse que poseen unas compuertas o válvulas utilizadas para regular la entrada de agua.

2.3.2. Desarenadores

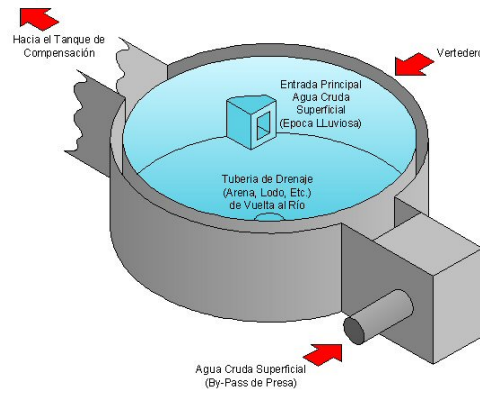
En la estación de bombeo, existen dos desarenadores. El primero es uno circular del tipo “Swirl” o “Grid chamber”, construido en 1996, de alimentación lateral o periférica y tiene la función de eliminar la arena y sólidos gruesos del agua cruda.

Figura 4. Desarenador circular



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

Figura 5. Esquema del desarenador circular



Desarenador

Fuente: Elaboración propia

El segundo, es un desarenador rectangular, construido en 1971 y parcialmente rehabilitado en 1996, funciona para eliminar la arena fina del agua cruda.

Figura 6. Desarenador rectangular y tanque de compensación



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

2.3.3. Tanque de compensación

Tanque de retención el cual se utiliza para aportar a la unidad de tratamiento un caudal razonablemente constante; también denominado cámara o estanque de compensación -ecualización-. La ecualización consiste en brindar un nivel de energía estática adecuado -en caso de detenimiento del sistema- y además puede acotar las ondas de sobrepresión durante un fenómeno transitorio.

Figura 7. Tanque de compensación



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

2.3.4. Fosa de succión

La fosa de succión es un pozo húmedo por medio del cual se bombea el agua del tanque de compensación. En este caso, las bombas están dentro

de la masa líquida de la fosa de succión y los motores, por su parte se encuentran en el exterior.

2.3.5. Canal de demasías

Cuando el nivel del embalse supera condiciones normales, hay que establecer los procedimientos que aseguren la integridad del sistema. Para ello se utiliza el canal de demasías.

Figura 8. Canal de demasías



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

2.3.6. Sistema contra el golpe de ariete

En la estación de bombeo, el sistema contra el golpe de ariete consiste en una campana de aire, la cual tiene la función de reducir la contra presión para proteger las bombas de toma de agua.

Figura 9. Campana de aire -sistema contra golpe de ariete-

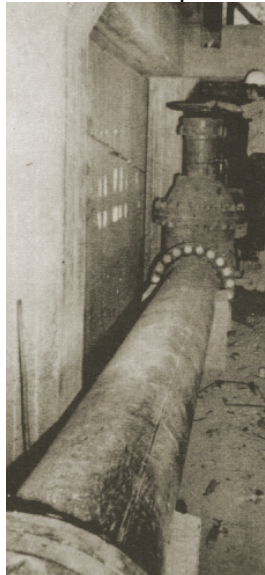


Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

2.3.7. Línea de impulsión

Es la obra destinada al transporte de agua. Consta de una tubería de hierro fundido con una longitud de 6.1 Km. y un diámetro de 500 mm. Con una diferencia de nivel entre la estación de bombeo y la planta de tratamiento de 430 m.

Figura 10. Línea de impulsión en 1972



Fuente: Ernesto Ramírez Pereira. Proyecto Atlántico. Pág. 8

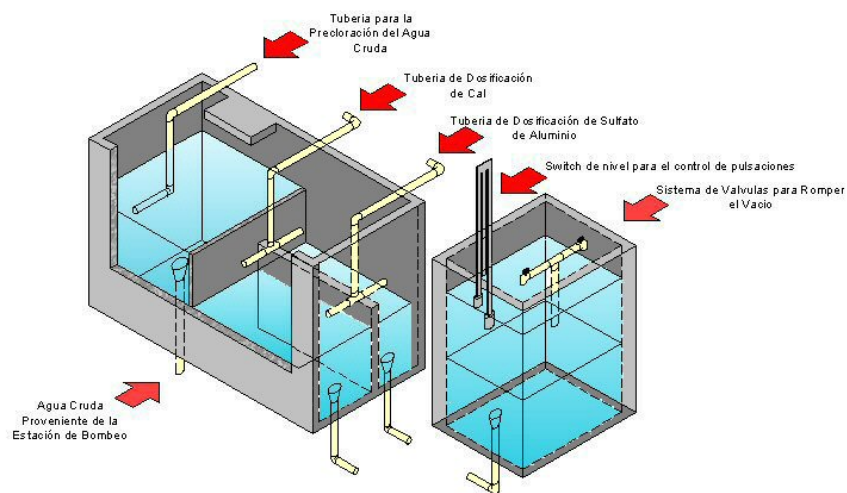
2.4. Planta potabilizadora Las Ilusiones

La potabilizadora Las Ilusiones, se encuentra ubicada en la 4ª Avenida Final de la colonia Kennedy de la zona 18 de la ciudad capital. Es una planta de tratamiento tipo Degrémont, de tecnología francesa. Consiste en un canal de entrada y dos sedimentadores o decantadores con lecho de fangos tipo Pulsator, cuatro filtros Aquazur tipo T, un tanque de recuperación de lodos, un tanque de recuperación de retrolavado y dos tanques de almacenamiento de aguas claras -uno elevado y otro semienterrado-. Luego, desde la planta potabilizadora, una tubería de ocho kilómetros de longitud conduce el agua purificada hacia un tanque de distribución que se construyó bajo la superficie de la cúspide del cerro del Carmen y desde el cual el agua se reparte a la red urbana. Esta misma tubería que conduce el agua ya purificada, distribuye el agua que necesitan las colonias y los barrios que quedan en el trayecto, de esta arrancan las tuberías -ramales troncales- que proveen o refuerzan los caudales de las zonas mas distantes de la ciudad capital. La instalación de esta tubería requirió la excavación de túneles y zanjas, además de la construcción de dos puentes -El mayor, sobre el río las vacas, tiene una luz libre de 20 metros-, bastiones, anclajes, cajas para válvulas y cajas de registro, etc. La planta las Ilusiones fue diseñada para una capacidad de producción de 222 lts/seg. Inicialmente se comenzó con 10,907 m³/día en el año de 1972. Y se incrementó en los años posteriores gradualmente hasta llegar a los 240 lts/seg.

2.4.1. Canal de entrada

El canal de entrada o de mezcla, es una obra que permite la llegada súbita del agua cruda, proveniente de la estación de bombeo, tiene como objetivo también la tranquilización y repartición del agua cruda a los decantadores por medio de dos vertederos regulables de mezcla rápida, pudiendo ser aislados por medio de una trampa.

Figura 11. Esquema del canal de entrada y el pulsador



Canal de Mezcla y Pulsador

Fuente: Elaboración propia

2.4.2. Decantadores

La planta potabilizadora cuenta con dos decantadores de lecho de fangos Degrémont tipo Pulsator, constituido por un depósito de fondo plano, provisto de una serie de tubos perforados que permiten introducir el agua

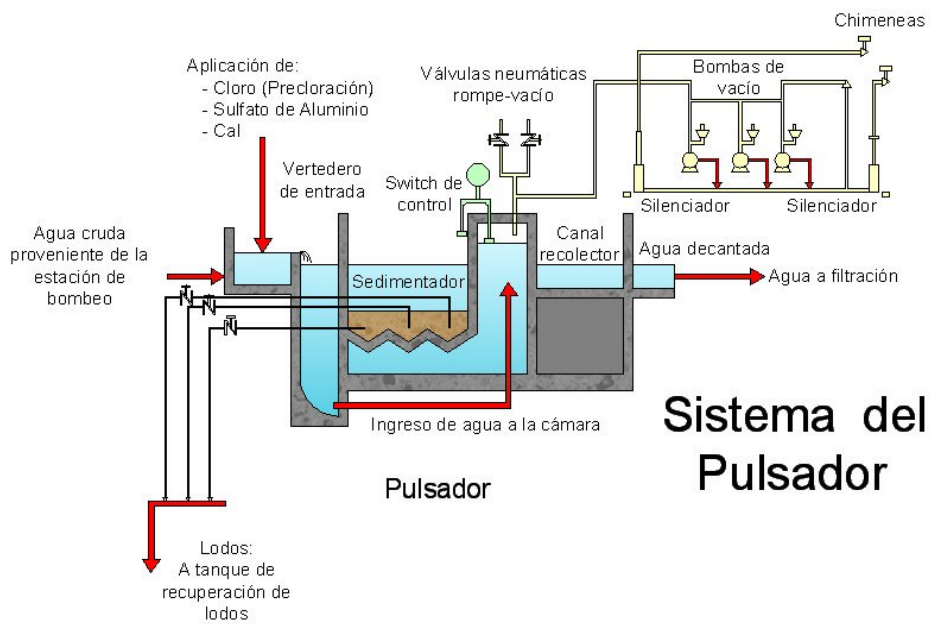
bruta uniformemente por el fondo. En su parte superior va provisto de una serie de canaletas, que permiten la salida del agua decantada.

Figura 12. Decantadores



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

Figura 13. Esquema del sistema del pulsador



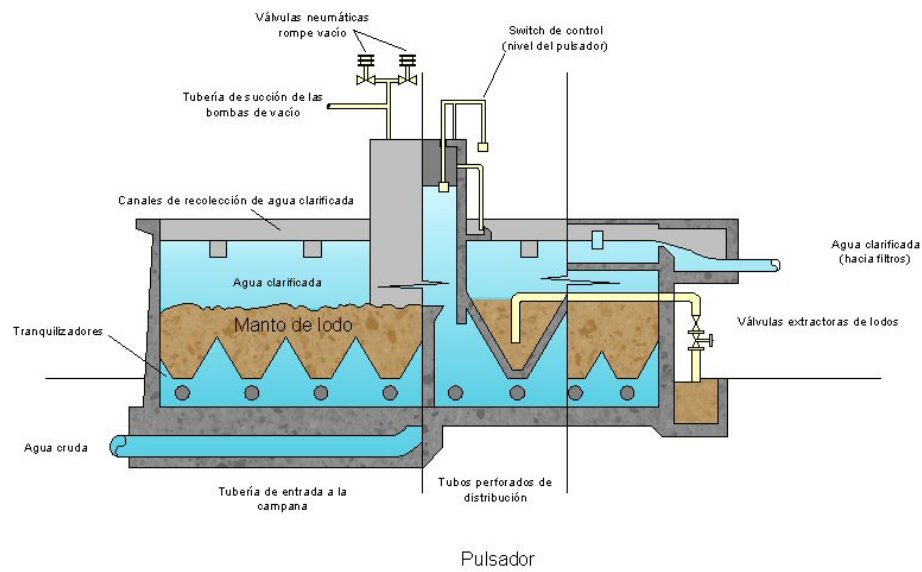
Fuente: Elaboración propia

Figura 14. Panorámica que muestra los decantadores, el pulsador y los filtros



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

Figura 15. Esquema del decantador Clarificador-Sedimentador



Fuente: Elaboración propia

2.4.3. Filtros

Los cuatro filtros de fabricación francesa que funcionan en la planta potabilizadora Las Ilusiones, son Degrémont Aquazur tipo T de acción rápida y lavado simultáneo de aire y agua. Poseen un lecho filtrante compuesto por una capa de arena, en la superficie, y una de antracita o lava volcánica, en el fondo.

Figura 16. Filtro



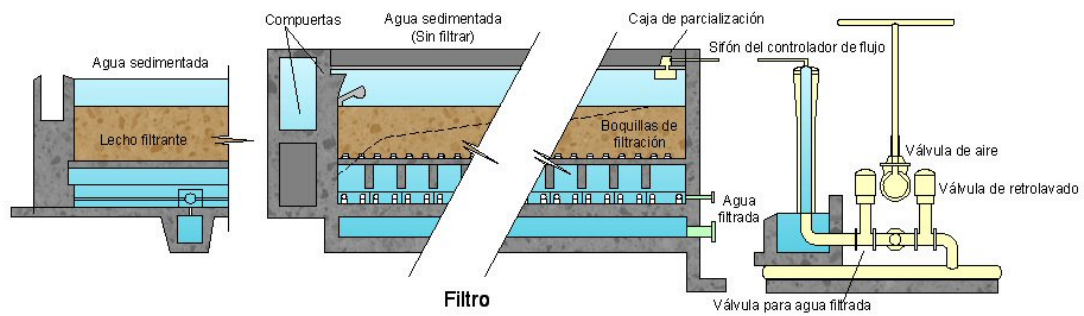
Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

Figura 17. Lecho filtrante



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

Figura 18. Esquema del filtro

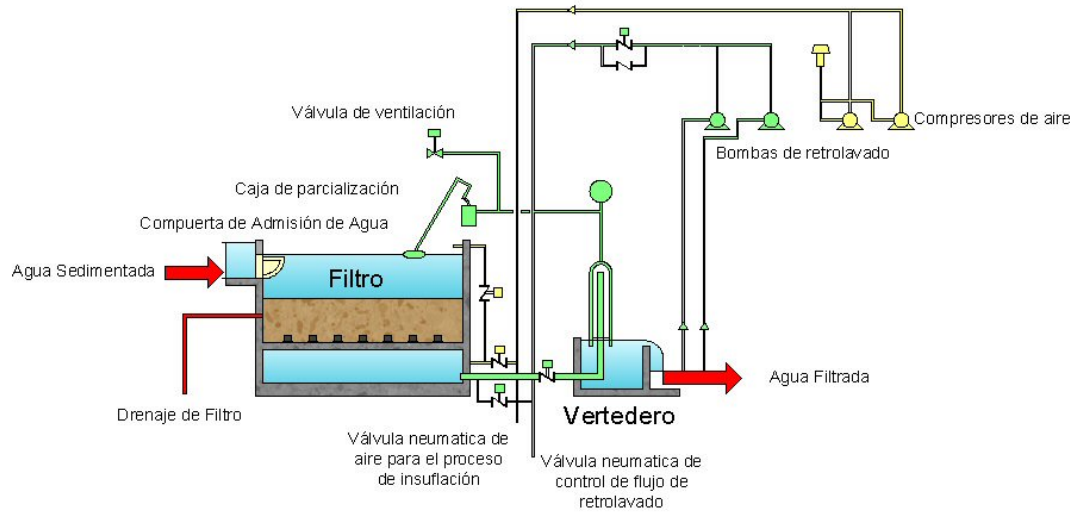


Sistema de Filtración

Fuente: Elaboración propia

Figura 19. Esquema de sistema de filtración

Sistema de Filtración



Fuente: Elaboración propia

2.4.4. Tanque de recuperación de lodos

El agua que es extraída de los decantadores, por medio de las válvulas neumáticas de extracción de lodos, es almacenada en el tanque de recuperación de lodos. Desde este lugar es enviada nuevamente a los vertederos de entrada de agua cruda, para ser tratada nuevamente.

Figura 20. Tanque de recuperación de lodos



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

2.4.5. Tanque de recuperación de retrolavado

En el momento del lavado de filtros, el agua expulsada es almacenada en este tanque con una capacidad de 210 m³ y bombeada a la entrada de agua cruda para ser tratada nuevamente.

Figura 21. Tanque de recuperación de retrolavado



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

2.4.6. Tanques de almacenamiento de aguas claras

La planta potabilizadora, posee dos tanques de almacenamiento de aguas claras. El primero, es un tanque rectangular semienterrado con una capacidad de 4000m^3 y el segundo, es un tanque elevado cuya capacidad es de 190m^3 .

Estos tanques de almacenamiento abastecen a una red que cuenta con tuberías de distribución de entre 2 y 20 pulgadas de diámetro, en materiales de HF, HG, AC y PVC. Ubicadas entre 1,620 y 1,400 m.s.n.m. Llegando a un promedio de 25,000 servicios domiciliarios como mínimo -aproximadamente 150,000 habitantes-.

Figura 22. Tanque elevado



Figura 23. Panorámica del tanque semienterrado



Fuente: Superintendencia del sistema Atlántico-Ilusiones

3. VULNERABILIDAD, RIESGO Y AMENAZA

3.1. Antecedentes

Aparentemente, la palabra riesgo proviene de la palabra griega *rhiza* que hace alusión a los peligros de navegar alrededor de un arrecife, lo que implica alguna noción de cuantificación del riesgo y evaluación de amenazas.

Durante siglos, las decisiones sobre el riesgo, fundamentalmente, estuvieron basadas en el sentido común, el saber tradicional, el ensayo y el error, las creencias o el conocimiento no científico. Kavern y Rubise distinguen tres periodos:

- La edad de la sangre, caracterizada porque el hombre tranquilizaba su temor con sacrificios ofrecidos a la divinidad.
- La edad de las lágrimas, en la cual con el desarrollo de cristianismo, el miedo mayor conducía a las plegarias y procesiones de diversa índole.
- La edad de las neuronas, a partir del terremoto de 1755 en Lisboa, cuando a raíz de este suceso Rousseau afirmó que el hombre es responsable del peligro e indicó que si los efectos del terremoto fueron tan terribles, la culpa fue de los habitantes de dicha ciudad.

La opinión de Rousseau, marcó el comienzo de lo que en francés se denomina *cindynique*: la ciencia del peligro. Debido a la confianza en desarrollos de la ciencia y la tecnología, en la actualidad, la sociedad cada vez más expresa su preferencia por la planificación, el pronóstico, las alertas y la prevención-mitigación -reducción de riesgos-, en contraste con las

respuestas tradicionales a las crisis. Afortunadamente, el uso de análisis cuantitativos, altamente técnicos, de evaluación de riesgos que benefician la gestión de estos, ha aumentado.

3.2. Vulnerabilidad

La vulnerabilidad (*Vulnerability - V*), es la susceptibilidad a la pérdida de un elemento o conjunto de elementos como resultado de la ocurrencia de un desastre, expresada en una escala desde 0 o sin daño a 1 o pérdida total. Esta definición es lo suficientemente amplia para que se aplique tanto a aspectos físicos, operativos y administrativos.

La selección o caracterización del fenómeno depende del problema es completamente subjetiva y depende del analista. El análisis de las estadísticas disponibles sobre las amenazas y sus consecuencias conduce a una clara diferenciación entre dos grupos de problemas:

- Según la peligrosidad e intensidad de las acciones esperadas.
- Según la vulnerabilidad de las obras hechas por el hombre para soportar, con daños tolerables, tales acciones.

3.3. Riesgo

El riesgo (*Risk*), es definido como la contingencia o posibilidad de que suceda un daño. En general, la vulnerabilidad está asociada a la peligrosidad e intensidad de los eventos y a las características de un determinado componente. Si bien, no se puede modificar una amenaza, se puede reducir

la vulnerabilidad para minimizar los daños y mejorar la respuesta durante una emergencia. El riesgo mantiene una relación directamente proporcional con la amenaza y la vulnerabilidad del componente. Por ende, reducir el riesgo implica disminuir la amenaza o modificar la vulnerabilidad.

3.3.1. Riesgo específico

El riesgo específico (*Specific risk* - R_s), es el grado de pérdidas debido a la ocurrencia de un suceso en particular y como función de la amenaza y la vulnerabilidad.

3.3.2. Elementos en riesgo

Los elementos en riesgo (*Elements at risk* - E), son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta a un área determinada.

3.3.3. Riesgo total

El riesgo total (*Total risk* - R_t), se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir el producto del riesgo específico R_s y los elementos en riesgo E .

3.4. Amenaza, peligro o peligrosidad

Una amenaza (*Hazard* - H), es la probabilidad de ocurrencia de un suceso potencialmente desastroso, durante cierto periodo de tiempo, en un sitio dado.

Es un evento debido mayormente a circunstancias naturales que ponen en peligro el bienestar del hombre y/o el medio ambiente. Suele considerárseles como tales a aquellos debidos a fenómenos climáticos o geológicos, e incluso a los riesgos sanitarios que representan los agentes patógenos o contaminantes químicos.

Los desastres naturales, en sus formas más graves, ocurren sobre todo en los países en vías de desarrollo, lo que en parte refleja las condiciones climáticas de los trópicos, en parte la localización de zonas de riesgo geológico, y en parte una peor infraestructura en lo que se refiere a la protección de la población y el medio ambiente.

Las amenazas naturales que con mayor frecuencia se presentan en la región centroamericana son: los sismos, los huracanes, las inundaciones, los deslizamientos, las erupciones volcánicas y las sequías -algunos eventos como los deslizamientos, pueden obedecer a diversos orígenes, ya sea por separado o siendo una combinación de éstos-. Los eventos o fenómenos anteriores pueden agruparse, atendiendo a su origen en:

- Amenazas de origen tectónico o geológico.
- Amenazas de origen meteorológico.
- Amenazas de origen topológico.
- Amenazas de origen antropogénico.

3.5. Medidas cuantitativas de amenaza y riesgo

Tomando en cuenta los conceptos anteriores, desde el punto de vista la evaluación del riesgo puede llevarse a cabo mediante la siguiente fórmula general:

$$R_t = E \times R_s = E \times H \times V$$

Esta fórmula fue propuesta por el grupo de expertos reunidos en 1979, sin embargo una propuesta en el Instituto de ingeniería Sísmica y Sismología (IZIIS) de Skopje, antigua Yugoslavia, durante 1985 se elimina la variable E. Esta variable fue eliminada debido a que se considera implícita en la vulnerabilidad V, sin que esto modificara sensiblemente la concepción original. En otras palabras: no se “es vulnerable” sino se “está expuesto”; la fórmula original fue divulgada por Fournier d’Albe, Milutinoviç y Petrovsky, posteriormente por Coburn y Spence. Esta manera de conceptualizar la vulnerabilidad y el riesgo ampliamente aceptada desde entonces en el campo técnico y científico, y con mayor frecuencia utilizada en las ciencias sociales, fue planteada como:

$$R_{ie|t} = (A_i, V_e)|_t$$

Esto significa que una vez conocida la amenaza o peligro (A_i), entendida como la probabilidad de que se presente un suceso con intensidad mayor o igual a i , durante un periodo de exposición t , y conocida la vulnerabilidad V_e , entendida como la predisposición intrínseca de un elemento expuesto (e) a ser afectado o de ser susceptible a sufrir un daño

ante la ocurrencia de un suceso con la intensidad mayor o igual a i , el riesgo (Rie), se expresa como la probabilidad de que se presente una pérdida durante un periodo de tiempo (t) dado.

La amenaza y el riesgo tienen la característica de que su materialización dentro de un periodo determinado es incierta. Para cubrir esta incertidumbre se debe proporcionar un cierto nivel de protección, por lo que se recurrirá a las medidas cuantitativas para calibrar una ocurrencia incierta. La probabilidad de excedencia (P_{exc}) en el periodo de exposición, es la probabilidad de que ocurra un evento dentro de un lapso de tiempo (T_{exp}) que exceda las medidas de protección, es decir, la probabilidad que durante el lapso (T_{exp}) se genere una situación que rebase los límites tolerables.

Debido a los efectos socioeconómicos que la falla o daño en una obra pueden causar a la población a la que sirven, las obras se clasifican en:

- Obras ordinarias -en las cuales, los daños afectan a pocas personas-
- Obras importantes -en las cuales, los daños afectan a muchas personas pero su servicio puede suspenderse temporalmente-
- Obras esenciales -las cuales, a pesar de los daños, deben permanecer en funcionamiento-
- Obras críticas -son aquellas que deben permanecer siempre en funcionamiento y cualquier daño tiene efectos a escala nacional-

Un sistema de abastecimiento de agua potable se clasificará normalmente como una obra esencial y en casos en los cuales la suspensión de la operación del sistema tuviera un impacto menor, se clasificará como "obra menor"; a menos que sirvan a un área demasiado grande y no existan sistemas de relevo, serán clasificados como "obra crítica".

Para establecer la probabilidad de excedencia (P_{exc}) en el periodo de exposición, se deben utilizar los siguientes criterios de selección para el nivel de protección:

- Para una obra ordinaria: $P_{exc} = 0.20$ en $T_{exp} = 50$ años
- Para una obra importante: $P_{exc} = 0.10$ en $T_{exp} = 50$ años
- Para una obra esencial: $P_{exc} = 0.10$ en $T_{exp} = 100$ años
- Para una obra crítica: $P_{exc} = 0.05$ a 0.01 en $T_{exp} = 100$ años

El criterio de lo que constituye el límite tolerable, la P_{exc} y el T_{exp} no son decisiones puramente técnicas sino políticas de operación. Algunas veces se utiliza el método del “periodo de retorno” como una medida de la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno incierto. Pero, debido a que este método es un tanto impreciso, no permite visualizar con claridad la probabilidad de ocurrencia. Sin embargo, es una medida importante y utilizada para encontrar la probabilidad de excedencia.

Suponiendo un proceso de ocurrencia infrecuente, con una distribución similar a la distribución de Poisson, el periodo de retorno puede calcularse mediante la fórmula:

$$Pr_{et} = \frac{-T_{exp}}{\ln(1 - P_{exc})}$$

o bien, puede obtenerse la probabilidad de excedencia utilizando:

$$P_{exc} = 1 - e^{-\frac{T_{exp}}{Pr_{et}}}$$

4. DESCRIPCIÓN Y CARACTERÍSTICAS DE LA AMENAZA Y SUS PRINCIPALES EFECTOS

4.1. Generalidades

La evaluación del peligro en la zona o región en estudio es esencial para estimar la vulnerabilidad y los daños posibles de los componentes en riesgo.

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

El territorio nacional está repartido en tres placas tectónicas: la de Norteamérica, la del Caribe y la de Cocos. Los movimientos relativos entre estas determinan los principales rasgos topográficos del país y la distribución de los terremotos y volcanes.

Figura 24. Marco tectónico de Guatemala



Fuente. Elaboración propia

El contacto entre las placas de Norteamérica y del Caribe es de tipo transcurrente. Su manifestación en la superficie son las fallas de Chixoy, del Polochic y del Motagua. El contacto entre las placas de Cocos y del Caribe -a este fenómeno de contacto se le conoce con el nombre de subducción-. Este proceso da origen a una gran cantidad de temblores y formación de volcanes. El contacto entre estas dos placas está a 50 Km., frente a las costas del Océano Pacífico.

A su vez, estos dos procesos generan deformaciones al interior de la placa del Caribe, produciendo callamientos secundarios como: Jalpatagua, Mixto, Santa Catarina Pinula, etc.

Debido al historial sísmico, la situación geográfica y las características geológicas de nuestro país, éste está sujeto primordialmente a amenazas de tipo geológico, tales como los terremotos, erupciones volcánicas, derrumbes

y deslizamientos. Ya que se poseen datos históricos de lo sucedido durante el terremoto del año 1976, el presente estudio de vulnerabilidad estará enfocado a las amenazas de origen sísmico.

4.2. Terremotos o sismos

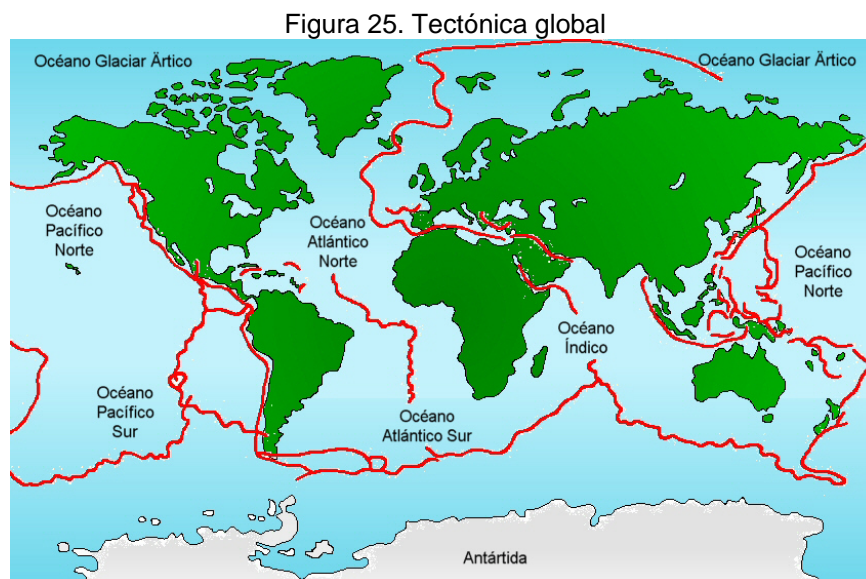
La mayor parte del conocimiento sobre el interior de la tierra se debe al estudio de la propagación de las ondas sísmicas, las cuales permiten medir indirectamente algunas propiedades físicas -densidad y constantes elásticas- del medio a diversas profundidades.

La corteza terrestre experimenta casi continuamente pequeños e imperceptibles movimientos de trepidación, sólo registrables por aparatos especiales de extraordinaria sensibilidad. Pero a veces, estos movimientos de trepidación, conmoción u oscilación, son más intensos y se manifiestan como sacudidas bruscas, ordinariamente repetidas, que el hombre percibe directamente o por los efectos que producen.

Con el nombre general de sismos o seísmos se designa a todos estos movimientos convulsivos de la corteza terrestre, que se clasifican en microsismos, cuando son imperceptibles; macrosismos, cuando son notados por el hombre y causan daños en enseres y casas, y megasismos, cuando son tan violentos que pueden producir la destrucción de edificios, la ruina de ciudades enteras y gran número de víctimas. Los macrosismos y megasismos son los conocidos con el nombre de terremotos o temblores de tierra. El estudio de los fenómenos sísmicos es el objeto de la Sismología.

El origen del 90% de los terremotos es tectónico, relacionado con zonas fracturadas o fallas, que dejan sentir sus efectos en zonas extensas. Otro tipo están originados por erupciones volcánicas y existe un tercer grupo de movimientos sísmicos, los llamados locales, que afectan a una región muy pequeña -debidos generalmente a hundimientos de cavernas, cavidades subterráneas o galerías de minas-.

La teoría de las placas tectónicas propone que los primeros 100 Km. de la superficie terrestre se comportan como un material rígido, quebradizo y poco denso, denominado litósfera. Esta descansa sobre una capa de material más denso y fluido denominado astenósfera.



Fuente. Elaboración propia

La litósfera no es una capa continua, está fragmentada en varios bloques o placas que se mueven a velocidades del orden de varios centímetros cada año. El movimiento relativo entre las placas produce roces y deformaciones en los bordes o límites entre las placas, y es principalmente

por allí donde se localizan la mayoría de terremotos, volcanes y cadenas montañosas.

Las aguas de los mares son agitadas por los movimientos sísmicos cuando éstos se producen en su fondo o en las costas. A veces sólo se percibe una sacudida, que es notada en las embarcaciones; pero con frecuencia se forma por esta causa una ola gigantesca que se propaga por la superficie. Estas grandes olas sísmicas reciben el nombre de olas de translación y también tsunamis, nombre con que se las designa en Japón o como se les denomina frecuentemente: maremotos.

Los tipos más comunes de datos sobre esta amenaza son las siguientes:

- Evaluación de la amenaza o peligrosidad sísmica: esta se fundamenta en la sismicidad de la región, las fuentes sismogénicas, las correlaciones de atenuación, sus varianzas y el empleo de algoritmos de cálculo.
- Mapas de zonificación sísmica : son muchos los países en los cuales se han elaborado mapas de zonificación sísmica, de acuerdo a las necesidades específicas de su aplicación: diseño de edificaciones, verificación de equipos de alto voltaje, diseño de puentes, elaboración de pólizas de seguros y/o reaseguros, y otros; los cuales se construyen al incorporar a los resultados obtenidos en la evaluación de la amenaza, los efectos conocidos de los principales sismos destructores sucedidos en tiempos históricos. Es muy conveniente complementar esta información con mapas sobre información geológica, en los cuales se destaquen los sistemas de fallas activas o

potencialmente activas y que hagan referencia a la calidad y tipos de suelos; estos también son conocidos como “mapas neotectónicos”.

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

- Longitud de ruptura y desplazamientos permanentes de fallas activas: la magnitud Richter de un sismo está directamente relacionada a la longitud de ruptura o superficie del fallamiento, los desplazamientos máximos, y la caída de esfuerzos. Los desplazamientos permanentes asociados a sismos, son particularmente problemáticos cuando interceptan túneles, tuberías enterradas o cimentaciones de edificaciones.
- Maremotos o *Tsunamis*: Epicentros submarinos con ciertos mecanismos focales, así como deslizamientos submarinos, que pueden originar perturbaciones en la masa de agua que se traducen en olas de altura importante e incursiones tierra adentro.

4.3. Escalas de intensidad y magnitud sísmica

Los sismólogos han creado y aceptado internacionalmente dos escalas de medida para describir de forma cuantitativa los terremotos. Una es la escala Richter -que mide la energía liberada en el foco de un sismo- y la otra es la escala Mercalli -que mide la intensidad de un temblor con degradaciones, puesto que la intensidad disminuye con la distancia desde el foco-.

4.3.1. Magnitud de escala Richter

El gran mérito del Dr. Charles F. Richter -del *California Institute for Technology*, 1935- consiste en asociar la magnitud del Terremoto con la "amplitud" de la onda sísmica, lo que redundó en propagación del

movimiento en un área determinada. El análisis de esta onda -llamada "S"- en un tiempo de 20 segundos en un registro sismográfico, sirvió como referencia de "calibración" de la escala. Teóricamente en esta escala pueden darse sismos de magnitud negativa, lo que corresponderá a leves movimientos de baja liberación de energía.

Esta escala es expresada en números arábigos y 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 de energía diez o más veces mayor. Una magnitud 4 no es el doble de 2, sino que 100 veces mayor. Y además, esta escala es "abierta", de modo que no hay un límite máximo teórico.

Tabla I. Magnitud en escala Richter

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.
7.9 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Fuente: Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta

4.3.2. Intensidad en escala de Mercalli

Fue creada en 1902 por el sismólogo italiano Giuseppe Mercalli y modificada en 1931 por Harry O. Wood y Frank Neuman. No se basa en los registros sismográficos sino en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente. Para establecer la Intensidad se

recurre a la revisión de registros históricos, entrevistas a la gente, noticias de los diarios públicos y personales, etc. La Intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo terremoto -la Magnitud Richter, en cambio, es una sola- y dependerá de:

- La energía del terremoto
- La distancia de la falla donde se produjo el terremoto
- La forma como las ondas llegan al sitio en que se registra -oblícuo, perpendicular, etc.-
- Las características geológicas del material subyacente del sitio donde se registra la Intensidad
- Como la población sintió o dejó registros del terremoto
- Los grados no son equivalentes con la escala de Richter

Se expresa en números romanos y es proporcional, de modo que una Intensidad IV es el doble de II.

Tabla II. Intensidad en escala Mercalli

Grado I	Sacudida sentida por muy pocas personas en condiciones especialmente favorables.
Grado II	Sacudida sentida sólo por pocas personas en reposo, especialmente en los pisos altos de los edificios. Los objetos suspendidos pueden oscilar.
Grado III	Sacudida sentida claramente en los interiores, especialmente en los pisos altos de los edificios, muchas personas no lo asocian con un temblor. Los vehículos de motor estacionados pueden moverse ligeramente. Vibración como la originada por el paso de un carro pesado. Duración estimable.
Grado IV	Sacudida sentida durante el día por muchas personas en los interiores, por pocas en el exterior. Por la noche algunas despiertan. Vibración de vajillas, vidrios de ventanas y puertas; los muros crujen. Sensación como de un carro pesado chocando contra un edificio, los vehículos de motor estacionados se balancean claramente.

Continúa en la siguiente página

Viene de la página anterior

Grado V	Sacudida sentida casi por todo el mundo; muchos despiertan. Algunas piezas de vajilla, vidrios de ventanas, etcétera, se rompen; pocos casos de agrietamiento de aplanados; caen objetos inestables. Se observan perturbaciones en los árboles, postes y otros objetos altos. Se detienen de relojes de péndulo.
Grado VI	Sacudida sentida por todo mundo; muchas personas atemorizadas huyen hacia afuera. Algunos muebles pesados cambian de sitio; pocos ejemplos de caída de aplanados o daño en chimeneas. Daños ligeros.
Grado VII	Advertido por todos. La gente huye al exterior. Daños sin importancia en edificios de buen diseño y construcción. Daños ligeros en estructuras ordinarias bien construidas; daños considerables en las débiles o mal planeadas; rotura de algunas chimeneas. Estimado por las personas conduciendo vehículos en movimiento.
Grado VIII	Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en edificios ordinarios con derrumbe parcial; grande en estructuras débilmente construidas. Los muros salen de sus armaduras. Caída de chimeneas, pilas de productos en los almacenes de las fábricas, columnas, monumentos y muros. Los muebles pesados se vuelcan. Arena y lodo proyectados en pequeñas cantidades. Cambio en el nivel del agua de los pozos. Pérdida de control en las personas que guían vehículos motorizados.
Grado IX	Daño considerable en las estructuras de diseño bueno; las armaduras de las estructuras bien planeadas se desploman; grandes daños en los edificios sólidos, con derrumbe parcial. Los edificios salen de sus cimientos. El terreno se agrieta notablemente. Las tuberías subterráneas se rompen.
Grado X	Destrucción de algunas estructuras de madera bien construidas; la mayor parte de las estructuras de mampostería y armaduras se destruyen con todo y cimientos; agrietamiento considerable del terreno. Las vías del ferrocarril se tuercen. Considerables deslizamientos en las márgenes de los ríos y pendientes fuertes. Invasión del agua de los ríos sobre sus márgenes.

Continúa en la siguiente página

Viene de la página anterior

Grado XI	Casi ninguna estructura de mampostería queda en pie. Puentes destruidos. Anchas grietas en el terreno. Las tuberías subterráneas quedan fuera de servicio. Hundimientos y derrumbes en terreno suave. Gran torsión de vías férreas.
Grado XII	Destrucción total. Ondas visibles sobre el terreno. Perturbaciones de las cotas de nivel -ríos, lagos y mares-. Objetos lanzados en el aire hacia arriba.

Fuente: Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta

4.4. Efectos generales de los terremotos

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

4.5. Daños producidos por terremotos

Las obras sobre el nivel del suelo son obras que en su mayor parte están a la vista, por lo que es posible una apreciación visual de los daños casi desde el momento de producirse un sismo. En estas obras, la resistencia de la estructura depende de la relación entre su rigidez y su masa, mientras que para las tuberías enterradas no es relevante la masa,

sino principalmente las deformaciones del terreno producidas por el movimiento telúrico.

Tanto los edificios de administración y de servicios, las bodegas de materiales, así como diversos tipos de estructuras, tenderán a comportarse en forma semejante a construcciones similares de otros sectores como vivienda, salud, etc. y a sufrir daños tales como fisuras, grietas, colapsos parciales o totales. El nivel de daños dependerá del diseño sismorresistente y materiales empleados en la construcción de estas obras.

En el caso de los tanques de agua, la masa determinada por el volumen de agua almacenado puede ser muy grande y, por eso, serán también grandes las sollicitaciones producidas por el sismo. Si son tanques elevados existe el riesgo adicional de que las vibraciones de los terremotos puedan hacerlos resonar -tendencia de las edificaciones elevadas a vibrar al compás de las vibraciones del suelo natural alcanza su intensidad máxima cuando se asientan sobre capas gruesas de depósitos no consolidados-.

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

Los tanques semienterrados son construidos usualmente de mampostería de piedra, de hormigón, hormigón armado u otros materiales y pueden sufrir daños tales como grietas en los muros, piso, cubierta o en las zonas de encuentro de dichos elementos, así como en los lugares de entrada o salida de las tuberías. Estas grietas pueden variar desde las fácilmente reparables, hasta las que implican reconstruir totalmente la obra. Derrumbe parcial de la cubierta, pilares interiores o parte de muros o piso, que pueden requerir desde reparaciones parciales de cierta importancia a la reconstrucción total. Derrumbe o colapso de la obra.

Los tanques elevados de tamaño regular o grande se construyen usualmente de acero o de hormigón armado. Los tanques sostenidos por estructuras de acero, con amplios tirantes diagonales, soportan bien los terremotos; su punto más vulnerable está donde los tubos -que forman la estructura soportante- penetran en la tierra. Sin embargo, diversas formas de diseño, construcción y mantenimiento de los tanques de acero, combinado con diversas magnitudes de los sismos y distinta respuesta del terreno de fundación, podrían producir daños leves como cortadura de tirantes diagonales, los que pueden ser reparados o reemplazados rápidamente; daños en la estructura de apoyo, y/o en la cuba -donde se almacena el agua-, que pueden variar desde menores hasta graves, y que pueden producirse, más probablemente, en la zona de unión con la estructura soportante o donde entran o salen las tuberías de agua; colapso o derrumbe de la obra.

Los tanques de hormigón, debido a sismos podrían verse afectados por pérdidas superficiales de estucos, fácilmente reparables, aunque pueden requerir andamios; daños en tuberías de entrada o salida del estanque o de elementos sobrepuestos, tales como escalas de acceso o similares, que en si no comprometen la estructura del estanque y pueden ser reparables con

labores de simple a mediana dificultad; grietas en la estructura de apoyo y/o en la cuba, las que pueden producirse, por ejemplo, en las zonas de traslape de excesivo número de armaduras de hierro; en las zonas en que las tuberías cruzan los muros de hormigón; en la unión de cuba y estructura soportante o en la base de esta última; desaplome o inclinación de la estructura o fallas en las cimentaciones, usualmente de significado muy grave; derrumbe o colapso de la obra.

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

Los pequeños tanques elevados, usados para viviendas aisladas, pequeños grupos de viviendas, escuelas, pequeñas industrias, etc., se construyen en una gran variedad de materiales que incluyen estructura de apoyo de madera, o perfiles metálicos u hormigón armado, etc. y la cuba de plancha de hierro corrugado o liso, asbestocemento, fibra de vidrio u hormigón armado, etc. Los tanques de hierro corrugado se derrumban con frecuencia ante los terremotos, pero la experiencia indica que esto se debe más al mal mantenimiento que a la inestabilidad. Los pequeños tanques elevados pueden sufrir daños en la estructura de apoyo y/o en la cuba, desde ligeros, fácilmente reparables, hasta el desplome de la estructura y/o necesidad de cambiar la cuba. En las estructuras de madera probablemente

se pueda recuperar parte del material lo mismo que en las estructuras metálicas.

En las represas y embalses para abastecimientos de agua potable, un movimiento sísmico importante puede ocasionar, grandes olas en el embalse con el riesgo de que rebasen por sobre la presa. Este peligro puede ser aún mayor cuando derrumbes o deslizamientos de tierras, producidas por el propio terremoto, caen dentro del embalse, produciendo casi un maremoto interior. La ruptura de una represa puede tener consecuencias muy graves y muy inciertas por efecto de la avalancha de las aguas que pueden afectar a poblaciones ubicadas aguas abajo de la presa.

Las represas en relleno rocoso son más flexibles que las de hormigón y más resistentes que las de tierra pero, como se suele utilizar hormigón o arcilla para impermeabilizarlas, estos materiales pueden agrietarse con un terremoto y presentar fugas de agua. Los daños que se pueden presentar serían las grietas o filtraciones menores, medianas o grandes; embanques del embalse por derrumbes y el colapso o derrumbe de la presa.

Las represas de tierra pueden sufrir daños durante un sismo, debido a fallas en las cimentaciones, grietas en los núcleos, deslizamientos de tierras en los diques o rebalses sobre la cortina debido a olas en el embalse, o derrumbes en el propio borde de contención. Los posibles daños son menores. Tanto que, si implican filtraciones, deben repararse con urgencia para evitar el aumento de las fugas debido a la erosión; embanques por derrumbes, los que habría que dragar si es necesario y el colapso o derrumbe de la represa.

Las presas de hormigón pueden agrietarse o sufrir fallas en las cimentaciones. También, como en todas las presas, existe el peligro de que se formen olas que rebasen la cortina. Los daños que podrían presentarse son las grietas o filtraciones menores que debieran repararse rápidamente; las grietas que van de medianas a mayores que pudieran requerir incluso el vaciamiento del embalse para repararlas -lo que puede implicar la pérdida de agua almacenada-, embanques por derrumbes y el colapso o derrumbe de la presa.

Las obras bajo el nivel del suelo o enterradas, se incluye en este punto a toda clase de tuberías y conductos de agua potable, alcantarillados sanitarios y desagües de aguas pluviales, incluyendo las respectivas redes de distribución, cámaras, válvulas e instalaciones domiciliarias; las captaciones de aguas subterráneas como pozos, drenes, galerías, etc.

Estas obras presentan diferencias significativas con las que están sobre el nivel del suelo, ya que la mayor parte no está a la vista, por lo que la mayoría de los daños directos no serán visibles. Ello hará que la determinación real de los daños sea usualmente mucho más lenta y laboriosa. En el terremoto de Ciudad de México, por ejemplo, aunque a los 15 días de ocurrido el desastre se habían reparado los daños mayores en los acueductos de agua potable, se requirió de meses para completar las reparaciones menores y fue aún más complejo y lento reparar las redes de alcantarillado pluvial y sanitario. Los terremotos ocasionan daños en las tuberías y/o en sus uniones rígidas. Esto implica que se pueden esperar menores daños en las tuberías relativamente más flexibles -de PVC o acero soldado, por ejemplo- y mayores en las tuberías más rígidas de mortero comprimido, hormigón, hierro fundido y asbestocemento, especialmente si tienen uniones rígidas.

En tuberías de agua potable, los daños se producen, por lo común, afloramientos de agua en zonas cercanas a las roturas de tubos o uniones, pero para determinar su magnitud y alcance y hacer las reparaciones -que usualmente son urgentes- habrá que excavar y poner al descubierto las tuberías rotas. Sin embargo, es posible que la alta permeabilidad del suelo en que se produjeron las roturas o presión baja del agua, oculte zonas de roturas que tal vez se podrían ir detectando posteriormente, una vez reinstalado el servicio.

La detección de fugas puede ser un trabajo a mediano o largo plazo, especialmente si no se dispone del equipamiento y experiencia a nivel local. Por otra parte, puede resultar difícil saber cuáles fugas se deben al sismo y cuáles son anteriores a él; mediante la utilización de medidores de caudal en las alimentadoras o en la red, si es que existen o pueden instalarse en los puntos adecuados, para determinar la posible existencia de otras fugas.

Si se rompen simultáneamente las tuberías de las redes de agua potable y las de alcantarillado sanitario, es posible que las aguas servidas se mezclen o penetren a la red de agua potable. Ello se debe a que usualmente las tuberías de agua potable y de alcantarillado sanitario se construyen en forma paralela, por las mismas calles y a pocos metros entre sus ejes.

En algunas oportunidades existen aguas subterráneas superficiales que cubren las redes de agua potable y de alcantarillado. Si el sismo produce roturas y fugas en la red de alcantarillado se contaminará la capa freática así como el agua subterránea subsuperficial. Por su parte, esa capa superficial puede contaminar el agua de la red de abastecimiento de agua a través de grietas en la misma.

En captaciones de aguas subterráneas donde se extrae agua de pozos o galerías profundas puede ocurrir que el terremoto ocasione que el agua subterránea se encauce hacia fallas recién abiertas, determinando una disminución -e incluso agotamiento- de la fuente de captación. Por otra parte existe el riesgo de que el agua subterránea se contamine con grietas o fallas recién abiertas que conectan el agua superficial o agua negras.

Este es un riesgo serio ya que puede dejar fuera uso una o varias captaciones. Dada la variedad de pozos que existe se pueden producir daños variados que van desde: hundimiento del suelo alrededor del pozo, con daños de leves a graves; el colapso y pérdida total del pozo -debido, por ejemplo, a una falla que pasa por el mismo pozo y produce su colapso, o por derrumbes que lo cubren- daños en los mecanismos de bombeo de leves a graves -los equipos de bombeo se evaluarán por separado-.

En galerías de infiltración o drenes, debido al sismo se pueden producir diversos tipos de daños, como grietas en los muros, tubos o dovelas que forman el dren o galería que pueden variar desde grietas pequeñas, relativamente fáciles de reparar -si la galería es visitable- hasta grietas mayores que pueden requerir colocar refuerzos interiores o cambiar el revestimiento; derrumbe de parte de la galería o dren o de algunos de los pozos de inspección; colapso total de la galería o dren; daños en los equipos de bombeo -si existen-, los que se evaluarán por separado.

Anteriormente se hizo referencia a los riesgos de contaminación del agua subterránea, pero es mucho más frecuente que ocurra contaminación de fuentes superficiales de agua potable, ya sea por presencia de animales muertos, derrames de petróleo -o sus derivados-, productos industriales o

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

4.5.1. Influencia de los tipos de suelo de los daños

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

El reblandecimiento del suelo es uno de los efectos más dañinos de los terremotos ya que reduce la capacidad de soporte de las cimentaciones. Gran parte del daño de las tuberías, en terrenos de aluvión o de arena saturada de agua, se debe al reblandecimiento ocasionado por las vibraciones de los sismos. Se conoce un caso, en el Japón, en que una zona de arenas saturadas, debido a la vibración del sismo, se convirtió prácticamente en un líquido -proceso de licuefacción- en el que tubos y edificaciones “flotaron”, causando grandes daños a las instalaciones.

Por otra parte, conviene tener presente que las tuberías de gran diámetro, ubicados a poca profundidad, sufren más daños que los de diámetro menor, debido a que tienen menos capacidad para resistir las

ondas Rayleigh, que debido al sismo se desplazan sobre la superficie del terreno en forma semejante, a las olas del mar.

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

La utilidad de planos y mapas de riesgos sísmicos, según calidad de terrenos. Dadas las dificultades para ubicar los daños en las tuberías existentes sería recomendable revisar los planos de riesgos sísmicos de las localidades afectadas por el terremoto -si es que existen-, ya que habrá más probabilidad de que ocurran daños en las zonas más vulnerables al sismo, por ejemplo:

- Áreas con capas profundas de suelos “blandos”, arenas y gravas sedimentarias, ciénagas y terrenos rellenados -subsuelos que no amortiguan las vibraciones de los terremotos como las rocas duras-.
- Áreas con capas de arena suelta, saturada de agua y otras capas de suelo carentes de cohesión, en las que se puede reblandecer el suelo.
- Fallas en los estratos de rocas: las tuberías que atraviesan esas fallas pueden sufrir daños.

5. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD EN EL SISTEMA DE ESTACION DE BOMBEO EL ATLÁNTICO Y PLANTA POTABILIZADORA LAS ILUSIONES

5.1. Generalidades

Anteriormente han sido realizados dos estudios del presente caso, el primero, por el Dr. Héctor Monzón Despang en el sistema de agua potable Atlántico-Ilusiones, frente a amenazas sísmicas y, el segundo, por el Ing. Julio Mérida Ramírez, frente a diversas amenazas. Las diferencias que existen en la forma en que aparecen en dichos estudios de caso y la que aquí se utiliza, se deben principalmente a que la metodología ha sufrido algunas variaciones en el método de recopilar y presentar los datos relevantes para la identificación de la vulnerabilidad.

5.2. Descripción de la metodología

La metodología, fue desarrollada en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), como elemento de información sobre la magnitud del daño y las expectativas de rehabilitación en términos de tiempo para que las empresas que prestan los servicios de agua potable, puedan realizar los estudios de análisis de vulnerabilidad frente a las amenazas naturales más comunes, está basada en un arreglo matricial que toma en cuenta diversos factores, estos factores se encuentran agrupados en:

- Aspectos operativos.
- Aspectos administrativos y de capacidad de respuesta.
- Aspectos concernientes a la identificación de la organización y legislación vigente.

Estos aspectos son evaluados haciendo un análisis retrospectivo de los efectos causados por amenazas previas y tomando en cuenta el estado actual y las características de cada uno de los componentes que conforman el sistema de potabilización de agua.

5.2.1. Evaluación de los aspectos operativos

Para el caso de sistemas de agua potable, en la primera columna de la Matriz 1 se anota el componente analizado, como puede ser la captación, planta de tratamiento, tanque, zona de abastecimiento, etc. En la segunda columna se escribe la capacidad del componente, utilizando las unidades correspondientes, como pueden ser de volumen $-m^3-$, de caudal $-m^3/s-$ u otras; en la tercera, el requerimiento actual; y en la cuarta, el superávit o déficit, ambos expresados en las mismas unidades empleadas para describir la capacidad. En la quinta columna se detalla lo referente a la existencia y funcionamiento eficiente de sistemas remotos de alerta asociados con cada uno de los componentes, como pueden ser los diferentes sistemas de instrumentación y monitoreo colocados puntualmente en el componente. Es importante destacar que si no existe un componente necesario para el sistema -reservorio, por ejemplo-, en la segunda columna sobre capacidad se anotará cero y en la cuarta columna el volumen se registrará como déficit.

En la parte inferior izquierda de esta Matriz se encuentra un detalle de diferentes posibilidades de sistemas de alerta e información hacia la empresa, en términos de relación con otras entidades e instituciones para obtener información oportuna sobre la ocurrencia o desarrollo de fenómenos naturales, con el fin de indicar cuáles de ellos existen y funcionan. En la parte inferior derecha, se especifican diferentes medios de información dentro de la empresa y varias posibilidades de sistemas de información a los usuarios.

5.2.2. Evaluación de los aspectos administrativos y capacidad de respuesta

Para evaluar las debilidades y limitaciones relativas a los aspectos administrativos de los sistemas, tal y como se plantea en la Matriz 2, es preciso conocer sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento de agua y evacuación de aguas residuales en situaciones de emergencia, así como en la fase de rehabilitación. La información necesaria para completar esta matriz es la misma, tanto para el caso de los sistemas de agua potable como de alcantarillado.

5.2.3. Evaluación de la organización institucional

En la primera columna de la Matriz 2 se indican las fortalezas y debilidades correspondientes a la organización institucional. Se deben diferenciar los niveles central, regional y local y, si es necesario, se

elaborarán matrices separadas para cada uno de estos niveles, como se detalla a continuación:

- Indicar la existencia o no de planes de atención de emergencias, especificando, si los hay, las revisiones y actualizaciones periódicas de estos planes.
- Indicar la existencia o no de planes de mitigación.

5.2.4. Evaluación de la operación y mantenimiento

En la segunda columna de la Matriz 2, se detallan las fortalezas y debilidades correspondientes a los aspectos de operación y mantenimiento para los niveles central, regional y local. Los aspectos relevantes que serán considerados son los siguientes:

- Indicar si los programas de planificación incluyen o no la temática de desastres.
- Indicar la existencia o no del tema de desastres en los programas y manuales de operación.
- Indicar la existencia o no de temas de desastres en los programas de mantenimiento preventivo.
- Indicar la disponibilidad o no de personal capacitado en temas relacionados con la prevención y mitigación de desastres y la atención de emergencias.
- Indicar la disponibilidad o no de equipo, maquinaria, materiales y accesorios para llevar a cabo los programas y para la rehabilitación del servicio en caso de emergencia, especificando el tipo de equipo y maquinaria -usar para ellos los espacios disponibles en esa columna-.

5.2.5. Evaluación del apoyo administrativo

En la tercera columna de la Matriz 2 se anota la vulnerabilidad de los sistemas de apoyo administrativo:

- Indicar la disponibilidad o no de dinero para situaciones de emergencia, insumos y “*stock*” de emergencia, y detallar el monto reservado con este fin.
- Indicar si existe o no el apoyo logístico de personal, proveeduría y transportes.
- Indicar la disponibilidad o no de contratación ágil de empresas y servicios para apoyar medidas de mitigación y rehabilitación, y detallar un listado resumido de estas entidades, si existen en un registro de proveedores -usar los espacios disponibles en esa columna-.

La capacidad de respuesta institucional, para implementar medidas de mitigación y atender el impacto de los desastres, podrá ser evaluada de acuerdo con el análisis de los resultados obtenidos.

5.2.6. Evaluación de los aspectos físicos e impacto en el sistema

En el encabezado de la Matriz 3 se anotará el tipo de amenaza de la zona que pudiera impactar los sistemas físicos de agua potable o de alcantarillado sanitario, así como el área de impacto que corresponde a la zona que ve afectada la operatividad del sistema. Para su estimación se

requiere simular eventos posibles y analizar las consecuencias esperadas en el sistema, lo cual se facilita superponiendo los mapas que definen el sistema y los mapas de la intensidad de la amenaza considerada. Además, debe incluirse en esta estimación a la población, instituciones y elementos del medio ambiente potencialmente afectados.

Adicionalmente, en el encabezado se hará la selección de la prioridad general para el análisis, referida al sistema en forma global, categorizada en tres niveles correspondientes a los siguientes niveles de daño:

- Prioridad 1 (alta): más de un 50% de componentes afectados y/o afectación de la captación y de la conducción
- Prioridad 2 (media): entre un 25 y un 50% de componentes afectados, sin afectación de la captación y de la conducción
- Prioridad 3 (baja): menos de un 25% de componentes afectados, sin afectación de la captación y de la conducción.

5.2.7. Evaluación de los componentes expuestos

En la primera columna de la Matriz 3, se indicarán los componentes expuestos directamente al impacto de la amenaza. Los componentes deben indicarse preferiblemente en el sentido del flujo del agua y catalogados en la forma siguiente: captaciones -diferentes tipos- y sus estructuras, aducciones, plantas de tratamiento, estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, redes principales de conducción o matrices, y redes de distribución.

5.2.8. Evaluación del estado del componente

En la segunda columna de la Matriz 3 se detalla el estado del componente, procurando que se haga en términos descriptivos -por ejemplo, para la tubería de hierro galvanizado indicar si presenta corrosión- sin utilizar categorizaciones relativas como bueno y regular.

5.2.9. Evaluación de los daños estimados

En la tercera columna de la Matriz 3, se describen las características del impacto esperado sobre cada uno de los elementos expuestos. Una descripción detallada de los principales daños que puede causar la amenaza en estudio se ha realizado en el capítulo 4.

5.2.10. Evaluación del tiempo de rehabilitación -TR-

En la cuarta columna de la Matriz 3, se escribe la estimación del tiempo de rehabilitación del componente analizado. Según la metodología desarrollada en el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria (CEPIS), se aplica a componentes estructurales tales como: estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento o tuberías de conducción y distribución, etc. Para cuencas hidrográficas, acuíferos o grandes represas, el método es válido aún cuando requiere de análisis especializados.

El tiempo de rehabilitación depende de:

- El tipo y la magnitud del daño, el cual se obtiene después de efectuar un análisis detallado.
- Las necesidades y disponibilidad de recursos humanos, materiales, financieros y de transporte para reparar el daño.
- El acceso al sitio donde debe efectuarse la rehabilitación.

Por estas razones, con frecuencia el TR sólo podrá estimarse en forma de rangos. El TR, expresado en días, se establece para cada componente afectado del sistema, por lo que será necesario calcular los TR para cada componente y para el sistema como un todo.

Se requiere amplia experiencia en: rehabilitación, reconstrucción y reparación, conocimiento detallado del sistema de abastecimiento de agua potable, los recursos disponibles y la capacidad de la empresa para atender estas situaciones con recursos propios, de Defensa Civil y/o de la empresa privada.

Para estimar el TR del sistema, se hará la sumatoria en “serie” o en “paralelo” de los tiempos de rehabilitación de los componentes. Esta sumatoria es en serie cuando la rehabilitación se hace uno después del otro, y en paralelo cuando se realicen en forma simultánea. Esta metodología también se aplica por etapas de rehabilitación; así por ejemplo, puede establecerse el TR para determinado componente al 25%, 50% y finalmente al 100% de su capacidad. Ello se expresa como TR_{25} , TR_{50} y finalmente TR, que equivale a TR_{100} .

El TR así calculado servirá para comparar los TR de diferentes daños y determinar los componentes críticos para priorizar la ejecución de medidas

de mitigación o reforzamiento. Si durante la rehabilitación, resultan necesarias otras formas de abastecimiento de agua potable, deberá incluirse como procedimiento en el plan de emergencia. El análisis de los diferentes desastres probables en la zona producirá un cuadro general de amenazas, componentes y TR, lo que permitirá determinar cuáles son los componentes críticos del sistema.

5.2.11. Evaluación de la capacidad remanente

En la quinta columna de la Matriz 3 se anota la capacidad remanente de operación del componente en unidades acordes al componente analizado -como pueden ser de flujo en tuberías, volúmenes en reservorios y tanques- y de porcentaje respecto a la capacidad con anterioridad al impacto del desastre.

El tiempo de rehabilitación -TR- y la capacidad remanente son un buen índice de la vulnerabilidad del componente expuesto.

5.2.12. Evaluación del impacto al servicio

En la sexta columna, para cada elemento expuesto se indica el impacto al servicio. Para ello, se toma en cuenta que el impacto no es únicamente la interrupción total del servicio, sino que este puede verse deteriorado en términos de calidad o de cantidad. La cuantificación del impacto en el servicio se hará entonces mediante la medición del número de conexiones para las que el servicio se ha interrumpido, o para aquellas para las cuales el servicio se mantiene, pero con una disminución significativa de su calidad -deterioro

de la calidad del agua, por ejemplo- o de su cantidad -racionamientos de agua-.

La información aquí consignada es la clave del análisis de vulnerabilidad y se le deberá poner especial énfasis. Deberá ser elaborada por profesionales con amplia experiencia en operación, mantenimiento, diseño y rehabilitación de sistemas de agua potable, que puedan pronosticar con la mejor aproximación posible las situaciones que generarán las solicitudes externas para determinar los parámetros de vulnerabilidad.

Esta información, conjuntamente con el tiempo de rehabilitación, se utilizará en el plan de emergencia para indicar las necesidades de proveer agua por otros medios, el tiempo durante el cual este servicio se deberá implementar, y las conexiones e instalaciones prioritarias de atención del drenaje.

5.2.13. Evaluación de las medidas de mitigación y emergencia -aspectos administrativos y operativos-

De manera general, la reducción de la vulnerabilidad operativa y administrativa se puede lograr con medidas como mejoras en los sistemas de comunicación, previsión del adecuado número y tipo de vehículos de transporte, previsión de generadores auxiliares, frecuencia de inspecciones en la línea, detección de deslizamientos lentos tipo repteo, corrección de fugas en áreas de suelos inestables, planificación para atención de emergencias. Es decir, acciones preventivas identificadas en el análisis de vulnerabilidad que además de reducir las debilidades ante la eventual

ocurrencia de desastres naturales, optimicen la operación del sistema y minimicen el riesgo de fallas en condiciones normales de servicio.

En la Matriz 4A se plantean las medidas de mitigación y de emergencia para cada componente analizado o identificado como vulnerable. Para cada caso se indicarán las medidas de mitigación y sus costos estimados, así como las medidas de emergencia y sus costos estimados. Se debe hacer referencia a las medidas de mitigación y de emergencia correspondientes, los aspectos de:

- Organización.
- Operación y mantenimiento.
- Administrativos.
- Aspectos operativos.

5.2.14. Evaluación de las medidas de mitigación y emergencia -aspectos físicos-

En la Matriz 4B se sintetizan las medidas de mitigación y de emergencia correspondientes a los componentes físicos; éstos se indicarán en el mismo orden en que fueron analizados en la Matriz 3. Es aconsejable que esta matriz sea llenada por el mismo equipo de profesionales que efectuó el análisis de vulnerabilidad físico.

Esta matriz de vulnerabilidad se encuentra dividida en dos secciones. En la primera, plan de mitigación, se indicarán las medidas de mitigación para los componentes físicos que pueden corresponder a obras de reforzamiento, sustitución, rehabilitación, colocación de equipos redundantes,

mejoramiento de accesos, etc. Junto a cada componente se indicará la prioridad de atención que corresponderá a los que tengan:

- Mayor tiempo de rehabilitación.
- Mayor frecuencia.
- Componentes críticos.

Así mismo se indicarán los costos asociados a la implementación de dichas medidas. En la segunda, plan de emergencia, se indicarán las medidas y procedimientos de emergencia necesarios a ser implementados, si el impacto se presentara antes que las medidas de mitigación fuesen ejecutadas.

Algunas de las medidas de mitigación que pueden ser consideradas para reducir la vulnerabilidad por las condiciones desfavorables del estado actual de algunos de los componentes en los sistemas de agua son:

- Reemplazar el componente, equipo o accesorio si su estado de conservación es malo, monitorearlo periódicamente si su estado es regular.
- Reparar los elementos, equipos y accesorios con funcionamiento defectuoso.
- Reemplazar los elementos, equipos y accesorios no adecuados o sin funcionamiento.
- Adquirir componentes, equipos y accesorios faltantes.

5.3. Aplicación de la metodología realizando un estudio de análisis de vulnerabilidad en el sistema de estación de bombeo El Atlántico y planta potabilizadora Las Ilusiones

Los datos que a continuación se presentan han sido recopilados en el periodo comprendido del 16 de febrero de 2004 al 16 de agosto de 2004, contando con la ayuda del personal que labora en el sistema de agua potable Atlántico-Ilusiones, de la ciudad de Guatemala, para realizar un análisis de vulnerabilidad del sistema frente a amenazas sísmicas.

5.3.1. Identificación de la organización y la legislación vigente

La metodología solicita información respecto a la organización y legislación vigente en relación a la potabilización de agua, que en este caso se refiere a la Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA).

La Empresa municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala (EMPAGUA) fue creada por acuerdo municipal del 28 de noviembre de 1972. Es la responsable de administrar, operar y mantener los sistemas de agua para consumo humano y de drenaje de la ciudad capital de Guatemala.

Hasta el golpe de Estado de 1982, Guatemala se gobernó bajo una Constitución que entró en vigor en 1966. En 1985 la Asamblea Nacional Constituyente redactó una nueva Constitución por la cual el sistema de

gobierno es definido como republicano, democrático y representativo. Esta Constitución fue suspendida el 25 de mayo de 1993, pero fue reinstaurada días después. En el artículo 139 de la Constitución Política de la República de Guatemala, se establece la Ley de Orden Público, en la cual se regula las medidas y facultades durante los estados de prevención, alarma, de calamidad pública, de sitio y de guerra. Por el acuerdo gubernativo 443-2000 del 12 de diciembre del 2000, se emitió el Decreto número 109-96 para crear una instancia integrada por entidades de los sectores públicos y privados, orientada a prevenir, mitigar, atender y participar en la rehabilitación y reconstrucción por daños derivados de los efectos de los desastres de origen natural o provocado. De esta manera se establece el reglamento de la ley en la cual se dota a la Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres (CONRED) de una estructura administrativo-financiera y de procedimientos para el cumplimiento de las funciones encomendadas en dicha ley.

Aunque en Guatemala aún no existe normativa para cuerpos receptores de agua -se han presentado ante el Congreso de la República aproximadamente 23 propuestas de ley desde el año 1960-. Las normas que comúnmente se utilizan son las recomendadas por la OPS/OMS.

5.3.2 Descripción de la zona, del sistema y su funcionamiento

La metodología solicita una breve descripción de la zona geográfica -área de influencia- en la que se encuentra ubicado el sistema de potabilización de agua así como el funcionamiento de cada uno de los componentes que lo conforman, que en este caso se refiere a el sistema Atlántico-Ilusiones.

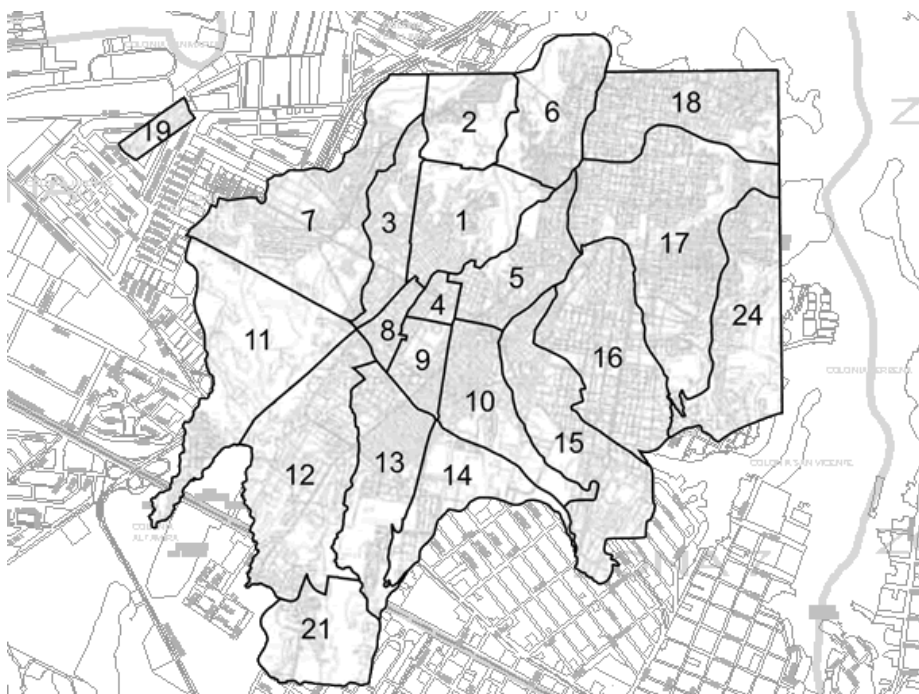
El sistema Atlántico-Ilusiones, abastece a los sectores con mayor crecimiento demográfico de la ciudad capital, con aproximadamente un 7% de incremento poblacional. Por lo cual es bastante difícil suplir sus servicios con el caudal proveniente de otros sistemas.

El área de cobertura del servicio por parte del sistema Atlántico-Ilusiones, comprende las zonas 17, y 18 de la ciudad capital de Guatemala. La zona 17, se describe a partir del punto donde la carretera que conduce a la aldea Santa Rosita pasa sobre el río Las Vacas; hacia el norte aguas abajo hasta la altura del puente de Belice. De este punto hacia el oriente por medio de la carretera al Atlántico, hasta hallar el punto de origen del camino que conduce a la aldea Los Ocotes, y luego por medio de dicho camino hacia el sur hasta el sitio donde atraviesa el río Canalitos, el que se recorrerá aguas arriba dejando al oriente la aldea del mismo nombre; y a la altura de la finca Santa Clotilde, se rodeará ésta incluyéndola en la zona hasta alcanzar el anillo periférico, el cual se recorrerá hacia el norte hasta encontrar la prolongación ideal del riachuelo de invierno que separa el regimiento Mariscal Zavala y la aldea Santa Rosita, dicho riachuelo que se seguirá aguas abajo hasta el punto de sentido contrario al de las manecillas del reloj hasta encontrar su intersección con la carretera al Atlántico, la cual se seguirá en dirección a la ciudad, hasta el punto donde se inicia el camino que conduce a la aldea Los Ocotes; luego por medio de este camino hacia el sur hasta encontrar el río de Los Ocotes, para por medio de este último aguas arriba hasta alcanzar el punto de origen de la descripción.

La zona 18, se describe a partir del punto donde el río Las Vacas corre bajo el puente 'Belice', hacia el norte por medio de dicho río aguas abajo hasta alcanzar el límite del municipio a la altura del leprocomio La Piedad,

luego por medio de dicho límite hacia el oriente hasta su intersección con la carretera al Atlántico, la cual se recorrerá en dirección a la ciudad hasta encontrar el punto de origen, de esta descripción.

Figura 26. Zonas del municipio de Guatemala



Fuente: Elaboración propia

En el capítulo 2, se resumen las características más importantes del sistema y su funcionamiento, con los cuales se ejemplificará el uso de las matrices de vulnerabilidad.

A continuación se presentan las matrices de vulnerabilidad que determinan la vulnerabilidad física, administrativa y operativa del sistema de abastecimiento de agua potable Atlántico-Ilusiones, así como el análisis respectivo que provee la información necesaria para que se pueda priorizar la inversión con la finalidad de reducir riesgos por amenazas naturales.

5.3.3 Matrices de evaluación

Matriz 1 - Aspectos operativos

Nombre del sistema de agua potable: Sistema Atlántico-Ilusiones

COMPONENTE	CAPACIDAD DEL COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DEFICIT (-) SUPERAVIT (+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
Estación de bombeo	28,512 m ³ /día	20,736 m ³ /día	+7,776 m ³ /día	No Existen
Presas	500 l/s	300 l/s	+200 l/s	No Existen
Desarenador circular	300 l/s	300 l/s		No Existen
Desarenador rectangular	350 l/s	300 l/s	+ 50l/s	No Existen
Tanque de compensación	5,700 m ³	10,000 m ³	-4,700 m ³	No Existen
Fosa de succión	187.5 m ³	200 m ³	-12.5 m ³	No Existen
Bombas	330 l/s	330 l/s		No Existen
Canal de demasías	75 l/s	75 l/s		No Existen
Campana de aire	ND/NS	ND/NS	ND/NS	No Existen
Línea de impulsión	115 l/s	115 l/s		No Existen
Planta potabilizadora	30,240 m ³ /día	20,800 m ³ /día	+9,440 m ³ /día	No Existen
Canal de entrada	350 l/s	240 l/s	+110 l/s	No Existen
Decantadores	2020.8 m ³ (Agua) 19.2 m ³ (Lodos)	2020.8 m ³ (Agua) 19.2 m ³ (Lodos)		No Existen
Filtros	65m ³	65m ³		No Existen
Tanque de recuperación de lodos	750 m ³	1,000 m ³	-250 m ³	No Existen
Tanque de recuperación de retrolavado	210 m ³	210 m ³		No Existen
Tanque elevado	190 m ³	190 m ³		No Existen
Tanque Semi enterrado	4,500 m ³	4,500 m ³		No Existen
Red	19,180 m ³ /día	ND/NS	ND/NS	No Existen
SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL <input type="checkbox"/> CONRED <input type="checkbox"/> INSIVUMEH <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>Ninguno</u>		SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA EN LA EMPRESA <input checked="" type="checkbox"/> Radio UHF <input type="checkbox"/> Radio VHF <input type="checkbox"/> Teléfono <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>Teléfono celular</u>		
		SISTEMAS DE INFORMACION Y ALERTA A LA POBLACION <input type="checkbox"/> Radio <input type="checkbox"/> Televisión <input type="checkbox"/> Circulares <input checked="" type="checkbox"/> Otro: <u>Periódico</u>		

Matriz 2 - Vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta

Nombre del sistema de agua potable: Atlántico-Ilusiones

ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL	OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	APOYO ADMINISTRATIVO
A. PLANES DE ATENCION DE EMERGENCIAS <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Última revisión: 1998 (Durante el Huracán Mitch).	A. PROGRAMAS DE PLANIFICACION <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	A. DISPONIBILIDAD Y MANEJO DE DINERO <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO Monto: <u>Q 50,000</u>
B. PLANES DE MITIGACION <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	B. PROGRAMAS DE OPERACION <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	B. APOYO LOGISTICO DE PERSONAL, ALMACENES Y TRANSPORTE <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO
C. COORDINACION INTERINSTITUCIONAL <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	C. PROGRAMAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
D. COMISION DE FORMULACION DE LOS PLANES DE MITIGACION <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	D. PERSONAL CAPACITADO <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
E. COMITÉ DE EMERGENCIAS <input type="checkbox"/> SI <input checked="" type="checkbox"/> NO	E. DISPONIBILIDAD DE EQUIPO Y MAQUINARIA <input checked="" type="checkbox"/> SI <input type="checkbox"/> NO	
MIEMBROS DEL COMITÉ (NOMBRE Y CARGO)	TIPO DE EQUIPO Y MAQUINARIA	NOMBRE DE LA EMPRESA
No existe comité de Emergencias	Para la línea de conducción y red de distribución de agua, hay en existencia materiales para mantenimiento regular (Preventivo o Correctivo).	Dentro de la dirección de operación y mantenimiento, existe una unidad de atención a emergencias, cuenta con presupuesto propio, equipo, herramientas y personal calificado para el efecto.
Según su estructura orgánica, EMPAGUA se encuentra conformada de la siguiente manera: Junta Directiva Gerencia General Asesoría de Gerencia Auditoría Interna Asesoría Legal Sub-Gerencia Técnica Dirección de Obras Dirección de Operación y Mant. Dirección de estudios y Proyectos Dirección Ejecutora de Proyectos Sub Gerencia Administrativa Dirección Administrativa Dirección de Finanzas Dirección de Servicios al Usuario	Para emergencias de pequeña y mediana magnitud, existe alta disponibilidad de equipo propiedad de la empresa.	La Ley de Contrataciones del Estado (Decreto 57-92, Acuerdo gubernativo 1056-92), regula la contratación de un empresa privada cuando el precio de los bienes, obras, suministros o la remuneración de servicios que excedan Q10,000 y no sobrepasen Q900,000.

Matriz 3 - Aspectos físicos y de impacto en el servicio

Nombre del sistema de agua potable: Sistema Atlántico-Ilusiones

Tipo de amenaza: Evento sísmico

Prioridad⁽¹⁾: 1 2 3

Área de impacto: Zonas 17 y 18 de la ciudad de Guatemala.

COMPONENTES EXPUESTOS	ESTADO DEL COMPONENTE	DAÑOS ESTIMADOS	TR ₁₀₀ (DIAS)	CAPACIDAD REMANENTE INMEDIATA		IMPACTO EN EL SERVICIO ⁽²⁾ (CONEXIONES)
				□	%	
Captación	ND/NS	Daños provocados por derrumbes y aumento en los niveles de turbiedad.	ND/NS	ND/NS	ND/NS	ND/NS
Estación de Bombeo	Buen estado. Es vulnerable a los deslizamientos y derrumbes. Debido a la contaminación del agua, los impulsores de las bombas generalmente no se encuentran en estado óptimo.	Fisuras y grietas en edificios administrativos. Daños provocados por derrumbes o deslizamientos de tierra desde el talud. Daños a las paredes del tanque de compensación provocados por la oscilación de las aguas	7	20,000 m ³ /día	70%	25,000
Línea de impulsión	Su antigüedad no garantiza un estado óptimo.	Ruptura y fugas en tuberías, daño en válvulas.	5	80 l/s	70%	25,000
Planta de tratamiento	Buen estado. Las válvulas de extracción de lodos se encuentran en mal estado. Algunos equipos presentan desajustes	Fisuras y grietas en edificios administrativos. Daños provocados por el tratamiento de aguas con altos niveles de turbiedad.	3	21,040 m ³ /día	70%	25,000

	mecánicos leves debido a su antigüedad.					
Tanques de almacenamiento	Buen estado. El tanque elevado de acero posee un grado leve de corrosión. Pequeñas fisuras en el tanque semiesenterrado.	Perdida superficial de estuco y agrietamiento leve. Posible daño de las tuberías de entrada y salida.	10	4,690 m ³	100%	25,000
Red	NS/ND	Ruptura y fugas en tuberías cercanas a las uniones. Contaminación de agua potable al mezclarse con aguas servidas en el área de las fugas.	60	13,480 m ³ /día	70%	25,000

- (1) **Prioridad 1 (Alta):** >50% de componentes afectados y/o afectación de la captación o conducción.
Prioridad 2 (Media): 25-50% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción.
Prioridad 3 (Baja): <25% de componentes afectados, sin afectación de la captación o conducción

- (2) Número de conexiones afectadas en términos de calidad, cantidad y/o continuidad del servicio.

	<p>y otras instituciones.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Detallar y especificar los materiales necesarios para la atención de emergencias. • Detallar y especificar los equipos necesarios para la atención de emergencias; además de una retroexcavadora, una planta eléctrica, dos bombas hidráulicas para la instalación de tanques cisterna y equipo para la limpieza de obstrucciones en las válvulas. 		<p>operación y mantenimiento con experiencia en el manejo de emergencias de las zonas no afectadas hacia la zona de desastre.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Priorizar la reparación de daños. • Programar, dirigir y controlar las labores de rehabilitación. • Proceder a la contratación de personal y maquinaria. • Solicitar el apoyo de equipo y materiales de otras áreas operativas. • Establecer horario de racionamiento y reparto de agua. • Mantener bitácoras de de acciones efectuadas y registro de las intervenciones. • Trasladar fondos a la zona afectada e incrementar el dinero en la caja chica, así como al renglón de compras y transportes. • Girar instrucciones para la atención de emergencias en 	
--	---	--	---	--

			la zona afectada durante las 24 horas, incluso los fines de semana.	
C) APOYO ADMINISTRATIVO	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer normas y reglamentos para asegurar la disponibilidad de recursos financieros para emergencias, con procedimientos ágiles para su uso. • Establecer procedimientos que faciliten el traslado de personal de zonas afectas a la zona de desastre y flexibilizar la contratación de personal. • Establecer mecanismos para el traslado del listado actualizado de materiales, equipo y repuestos. 	15,300.00		
D) ASPECTOS OPERATIVOS	<ul style="list-style-type: none"> • Elaborar un nuevo trazo para el tramo final de la carretera de acceso a la estación de bombeo. 	110,000.00	<ul style="list-style-type: none"> • Enviar cuadrillas para las reparaciones en la zona de emergencia. • Reparar estructuras dañadas con los materiales que se encuentran en la zona (cuando sea posible). 	10,000.00
TOTAL		240,800.00		45,000.00

Matriz 4B - Medidas de mitigación y emergencia (aspectos físicos)

Nombre del sistema de agua potable: Sistema Atlántico-Ilusiones

COMPONENTE	PLAN DE MITIGACIÓN		PLAN DE EMERGENCIA	
		COSTO EN US\$		COSTO EN US\$
Captación	<ul style="list-style-type: none"> Realizar un estudio de vulnerabilidad de segundo nivel. 	50,000.00	<ul style="list-style-type: none"> Plan de racionamiento, si es posible se debe realizar interconexión con otros sistemas o repartir agua en camones cisterna. 	105,000.00
	<ul style="list-style-type: none"> Estudio de fuentes alternativas. 	10,000.00	<ul style="list-style-type: none"> Uso de los pozos existentes en la zona. 	10,000.00
Estación de bombeo	<ul style="list-style-type: none"> Realizar labores de mantenimiento en el canal de demasías. 	500.00	<ul style="list-style-type: none"> Uso de estructuras en gaviones para evitar la erosión en el asiento de la presa. 	50,000.00
	<ul style="list-style-type: none"> Reparar las estructuras de soporte de la caseta de mandos y tanque de compensación. 	12,000.00	<ul style="list-style-type: none"> Reforzar las estructuras de soporte de la caseta de mandos. 	1,000.00
	<ul style="list-style-type: none"> Construir un sistema de pretratamiento para evitar altos niveles de turbiedad. 	500,000.00	<ul style="list-style-type: none"> Aplicación de sustancias floculantes/coagulantes para reducir la turbiedad o para 	30,000.00

			reducir costos la implementación de algún tratamiento físico.	
Línea de impulsión	<ul style="list-style-type: none"> • Construcción de By Pass para evitar las tomas ilícitas en las válvulas de desfogue. 	250,000.00	<ul style="list-style-type: none"> • Establecer vigilancia en las válvulas de desfogue. • Adquirir tubería de los diámetros necesarios para reparar las fallas esperadas. 	2,000.00
	<ul style="list-style-type: none"> • Instalación de juntas antisísmicas 	90,000.00		10,000.00
	<ul style="list-style-type: none"> • Identificar dentro y fuera de la empresa al personal con experiencia en trabajos de soldadura y la disponibilidad del equipo necesario. 	0.00		
Planta de tratamiento	<ul style="list-style-type: none"> • Arristrar los cilindros de cloro gaseoso. 	200.00	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar las reparaciones necesarias en los decantadores y en los filtros. 	5,000.00
	<ul style="list-style-type: none"> • Sustituir el material de las pantallas difusoras de los decantadores y del fondo falso de los filtros por material menos frágil. 	5,000.00		
	<ul style="list-style-type: none"> • Planificar un sistema de manejo de lodos. 	5,000.00		
TOTAL		922,700.00		213,000.00

5.3.4 Análisis de resultados

- En la matriz para la evaluación de aspectos operativos -Matriz 1-, se puede observar que en la estación de bombeo el tanque de compensación y la fosa de succión funcionan con un déficit, debido primordialmente a que el sistema abastece a los sectores con mayor crecimiento demográfico de la ciudad capital, superando el límite de la capacidad para la cual fue diseñado. En la planta potabilizadora, el tanque de recuperación de lodos funciona con un déficit debido a los altos niveles de turbiedad del agua proveniente de la estación de bombeo. Además se hace obvia la necesidad de implementar sistemas remotos de alerta, así como sistemas de información y alerta interinstitucional.
- En la matriz para la evaluación de la vulnerabilidad administrativa de la empresa y la capacidad de respuesta -Matriz 2-, se puede observar que en cuanto a la organización institucional, no se cuenta con coordinación interinstitucional -con otras dependencias gubernamentales o empresas privadas-, ni tampoco existe un comité para la atención de emergencias.
- En la matriz para la evaluación de los aspectos físicos y de impacto en el servicio -Matriz 3-, se puede observar que no se dispone de información sobre componentes esenciales en el sistema, así como una serie de problemas menores debido a la antigüedad y que no garantizan un estado óptimo. Se destaca además la vulnerabilidad de las edificaciones que conforman la estación de bombeo ante los deslizamientos y derrumbes debido

a su proximidad con un talud rocoso con pendiente muy pronunciada. Los altos niveles de turbiedad son el mayor problema que afecta a la planta potabilizadora, así como rupturas y fugas en las tuberías que conforman la red de distribución. La contaminación, producto del contacto del agua proveniente de esas rupturas y fugas con aguas servidas, no se puede descartar como un factor de riesgo. Por los factores mencionados anteriormente el nivel de prioridad correspondiente es el de más del 50% de componentes afectados durante un evento sísmico.

- En la matriz para la evaluación de las medidas de mitigación y emergencia para los aspectos administrativos y operativos -Matriz 4A-, así como en la matriz para la evaluación de las medidas de mitigación y emergencia para los aspectos físicos -Matriz 4B-, se puede observar que el costo directo de las medidas de mitigación es superior al costo directo de las medidas de emergencia, esto se debe a que las medidas de mitigación están diseñadas para la reducción de la vulnerabilidad ante un evento mientras que las medidas de emergencia están diseñadas para afrontar los efectos posteriores a este y son de carácter temporal aunque, si se toman en cuenta otros factores generados por la falta de inversión en las medidas de mitigación, el número de personas que habitan en el área de cobertura del sistema y sus actividades económicas, el número de negocios y empresas afectadas por la irregularidad o ausencia del servicio de agua potable, etc. la brecha entre los costos totales se reduce a favor a la inversión en las medidas de mitigación, reduciendo los costos indirectos y minimizando sus efectos. Con las matrices 4A y 4B matrices completa la información necesaria para

priorizar la inversión con la finalidad de reducir riesgos por amenazas naturales.

- En base a la información obtenida en las matrices 4A y 4B, se puede observar que se debe elaborar un programa para la atención de emergencias y desastres de acuerdo a las guías de la OPS/OMS así como establecer normas y reglamentos para asegurar la disponibilidad de recursos financieros, maquinaria, personal y equipo para priorizar la inversión con la finalidad de reducir riesgos por amenazas naturales. Además se debe realizar un estudio de vulnerabilidad de segundo nivel y hacer una búsqueda de fuentes alternativas de agua para satisfacer las necesidades de la población en el área de cobertura del sistema.

CONCLUSIONES

1. El sistema de abastecimiento de agua potable Atlántico-Ilusiones, es, altamente, vulnerable a eventos sísmicos, debido a que la estación de bombeo se encuentra ubicada cerca de una zona propensa a los derrumbes y deslizamientos.
2. En la planta de tratamiento, los altos niveles de turbiedad durante el invierno, evidencian que durante un evento sísmico la calidad y cantidad del agua tratada podría disminuir debido a la ausencia de tratamientos previos que reduzcan, significativamente, este parámetro.
3. Debido a que el sistema abastece a los sectores con mayor crecimiento demográfico de la ciudad capital, muchos componentes del sistema trabajan superando el límite de la capacidad para la cual fueron diseñados, presentando un mayor riesgo ante amenazas naturales causado por funcionamiento deficiente dado su antigüedad.
4. La falta de sistemas remotos de alerta en los componentes del sistema, así como sistemas de información y alerta interinstitucional aumentan el riesgo de falla o ruptura de los componentes ante una amenaza natural y reducen las posibilidades de obtener de forma inmediata materiales, equipo y personal necesarios para las reparaciones durante el desastre.

5. Los elementos con mayor probabilidad de daño son la captación y la línea de conducción, reduciéndose la vulnerabilidad al realizar mejoras a las vías de acceso que conducen a la captación con el fin de llevar materiales de manera inmediata y evitar retrasos innecesarios en las reparaciones de las obras en caso de desastre.

6. El costo de las medidas de mitigación es muy superior a el costo de las medidas de emergencia, esto se debe a que las medidas de mitigación están diseñadas para la reducción de la vulnerabilidad ante un evento mientras que las medidas de emergencia son de carácter temporal y están diseñadas para afrontar los efectos posteriores al evento en cuestión.

RECOMENDACIONES

1. Debido a que los daños provocados por un sismo afectarían varios componentes del sistema, es importante contar con reservas de materiales, tubería y accesorios de los tipos y diámetros necesarios, a fin de contar con material para reparaciones en el lugar, ya que, en condiciones de desastre la obtención de estos es casi imposible.
2. Es necesario elaborar un programa para la atención de emergencias y desastres así como establecer normas y reglamentos para asegurar la disponibilidad de los recursos necesarios para priorizar la inversión a fin de reducir riesgos por amenazas naturales.
3. Se deben implementar sistemas remotos de alerta en los componentes del sistema, así como sistemas de información y alerta interinstitucional para reducir el riesgo intrínseco de la falta de información.
4. Priorizar la inversión hacia las medidas de mitigación, pues éstas están diseñadas para la reducción de la vulnerabilidad ante un evento en vez de priorizarla hacia las medidas de emergencia, que están diseñadas para afrontar los efectos posteriores a un desastre ya que son de carácter temporal.

BIBLIOGRAFÍA

1. **Análisis de vulnerabilidad del sistema de abastecimiento de agua de la cabecera municipal de Teculután, departamento de Zacapa.** Guatemala: OPS/OMS, 2002. 52pp.
2. **Biblioteca de Consulta Microsoft Encarta.** Estados Unidos: Microsoft Corporation, 2003. 4CDs.
3. Cabrera Albizures, Manuel de Jesús. **Evaluación de la rehabilitación de la planta de tratamiento Las Ilusiones.** Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, 1986. 131pp.
4. **Estudio de optimización del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Guatemala, Especificaciones técnicas del programa seleccionado: Estaciones de bombeo.** (Informe final, tomo 7) Guatemala: SOGREAHEMPAGUA, 1989. 105pp.
5. **Estudio de optimización del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Guatemala, Especificaciones técnicas del programa seleccionado: Plantas de tratamiento.** (Informe final, tomo 9) Guatemala: SOGREAHEMPAGUA, 1989. 108pp.
6. **Estudio de optimización del sistema de distribución de agua potable de la ciudad de Guatemala, Planos.** (Informe final, tomo 11) Guatemala: SOGREAHEMPAGUA, 1989. 75pp.

7. Gómez M., Patricia y otros. **Mitigación de desastres en sistemas de agua potable y saneamiento**. Perú: CEPIS - OPS/OMS, 2002. 14pp.
8. **Manual para la organización de las coordinadoras departamentales, municipales y locales para la reducción de desastres**. Guatemala: CONRED, 1999. 49pp.
9. **Manual técnico del agua Degrémont**. 4ª edición en español. España: Artes gráficas Grijelmo S.A., 1979. 1217pp.
10. Mérida Ramírez, Julio Ramiro. **Vulnerabilidad del sistema de agua potable Las Ilusiones**. Guatemala: CEPIS-EMPAGUA, 1996. 19pp.
11. **Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario, guías para el análisis de la vulnerabilidad**. (Serie mitigación de desastres). Estados Unidos: OPS/OMS, 1998. 100pp.
12. Monzón Despang, Héctor. **Informe sobre el curso corto de análisis de vulnerabilidad de sistemas de agua potable, caso sistema Atlántico-Ilusiones**. Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala, 1986. 45pp.
13. Pionnié, Joel. **Preparación teórica a la operación de la planta potabilizadora Las Ilusiones**. Guatemala: Degrémont-EMPAGUA, 1972. 112pp.

14. Ramírez Pereira, Ernesto. **Proyecto Atlántico**. Guatemala: Dirección de aguas y drenajes de la Municipalidad de Guatemala, 1972. 13pp.

15. **The history of drinking water treatment**. Estados Unidos: United States environmental protection agency, 2000. 10pp

APENDICES

Apéndice 4

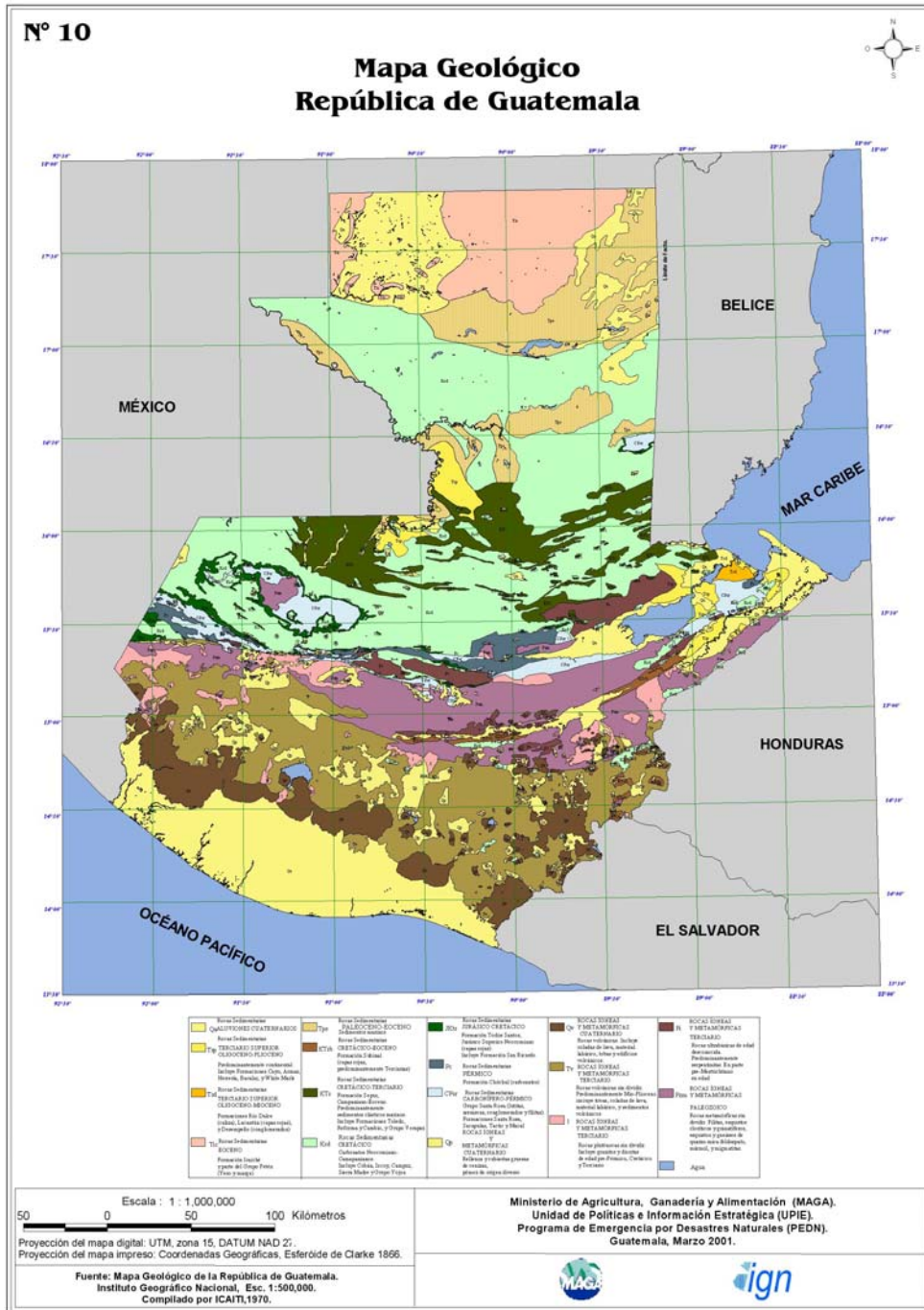
Matriz 4A - Medidas de mitigación y emergencia (aspectos administrativos y operativos)

Nombre del sistema de agua potable: _____

ÁREA	MITIGACIÓN		EMERGENCIA	
		COSTO EN US\$		COSTO EN US\$
A) ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL				
B) OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO				
C) APOYO ADMINISTRATIVO				
D) ASPECTOS OPERATIVOS				
TOTAL				

Apéndice 6

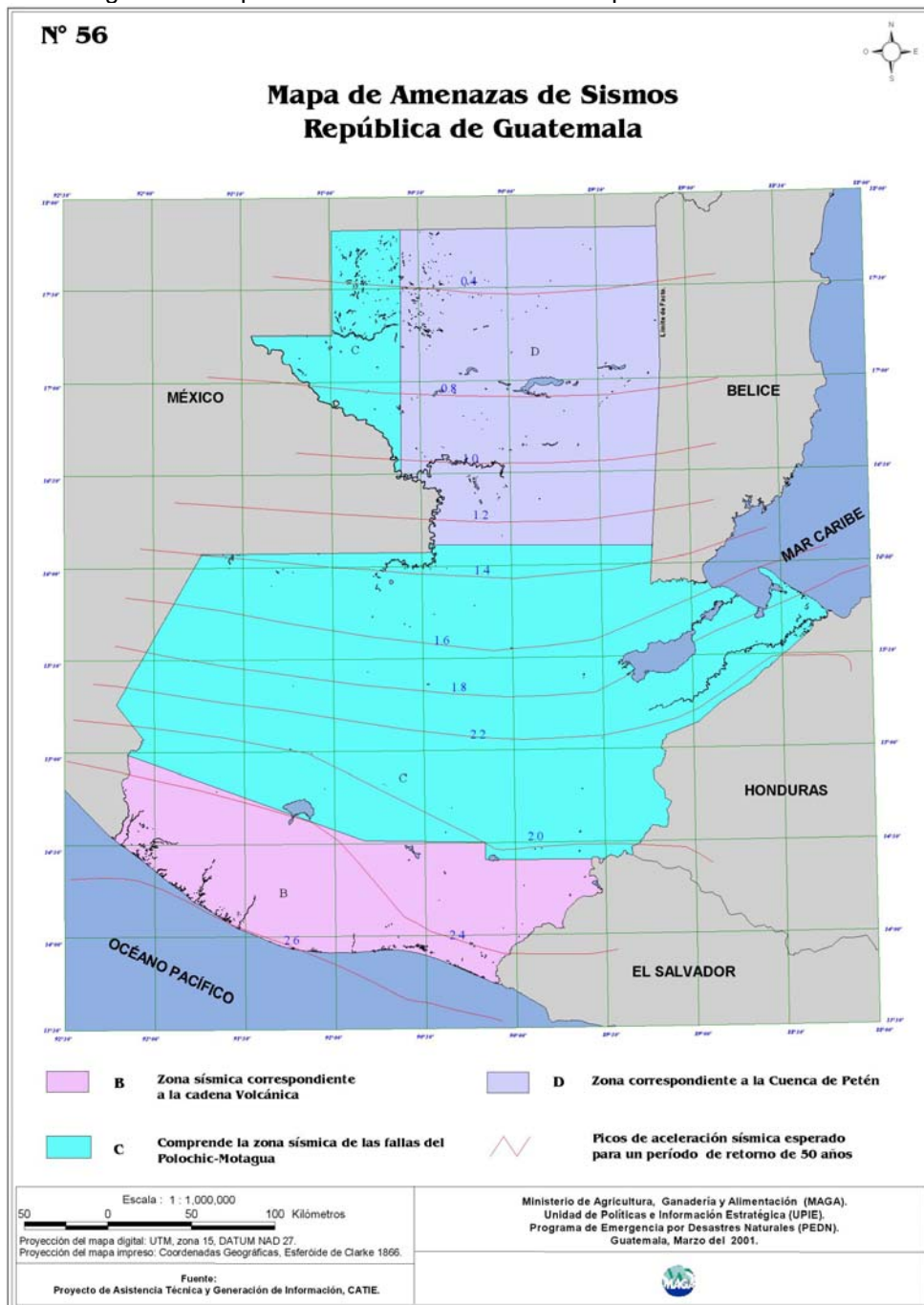
Figura 27. Mapa geológico de la República de Guatemala



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-, Unidad de Políticas e Información Estratégica –UIPE-, Programa de Emergencia por Desastres Naturales –PEDN.

Apéndice 7

Figura 28. Mapa de amenaza sísmica en la República de Guatemala



Fuente: Ministerio de Agricultura, Ganadería y Alimentación –MAGA-, Unidad de Políticas e Información Estratégica –UPIE-, Programa de Emergencia por Desastres Naturales –PEDN.

Apéndice 8

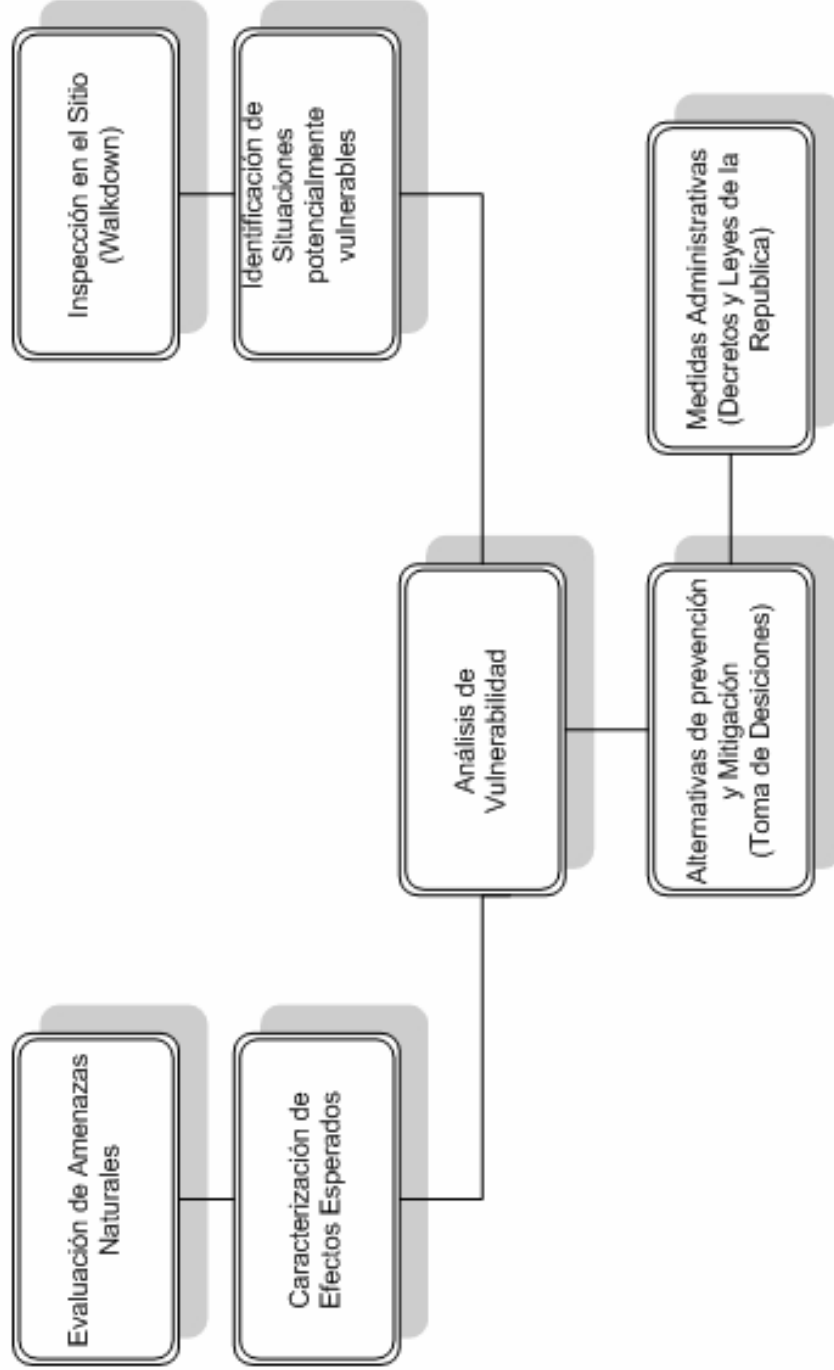
Tabla III. Estados de emergencia por actividad sísmica

Alerta	Interpretación
Verde	<ul style="list-style-type: none"> • Vigilancia inicial, revisión y actualización de los planes de emergencia
Amarilla	<ul style="list-style-type: none"> • Verificación de disponibilidad del personal y el equipo. • Anuncio público de posible emergencia y de las medidas para hacerle frente. • Movilización de personal y equipo.
Roja	<ul style="list-style-type: none"> • Implementación de planes específicos de atención y respuesta a contingencias.

Fuente: Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres -CONRED-, Manual para la organización de las coordinadoras departamentales, municipales y locales para la reducción de desastres.

Apéndice 9

Figura 29. Diagrama para la evaluación de vulnerabilidad y medidas de mitigación



Fuente: Organización Panamericana de la Salud/Organización Mundial de la Salud -OPS/OMS-, Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario, guías para el análisis de la vulnerabilidad.