



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

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PARA EL SISTEMA
DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, PROVISTO POR LA PLANTA
SANTA LUISA, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**

Juan Pablo Bernal Reyes

Asesorado por el Ing. Omar Flores Beltetón

Guatemala, Julio de 2,010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PARA EL
SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, PROVISTO POR
LA PLANTA SANTA LUISA, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA.**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR:

JUAN PABLO BERNAL REYES

ASESORADO POR EL ING. OMAR FLORES BELTETÓN
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO CIVIL

GUATEMALA, JULIO DE 2010

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero Spínola
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Luis Pedro Ortiz de León
VOCAL V	Br. José Alfredo Ortiz Herincx
SECRETARIA a.i.	Inga. Mayra Grisela Corado

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EXAMEN GENERAL PRIVADO

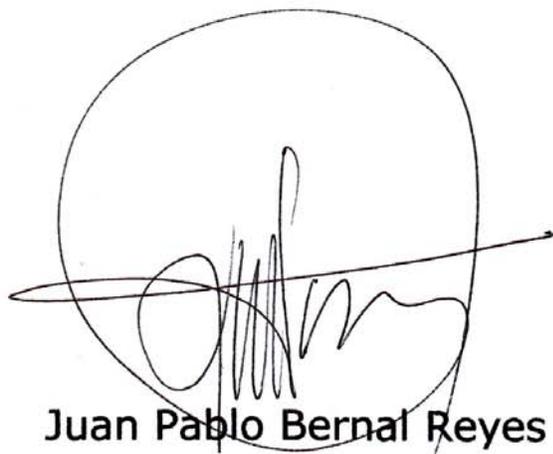
DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Eduardo Ramírez Saravia
EXAMINADOR	Ing. Manuel Alfredo Arrivillaga Ochaeta
EXAMINADOR	Ing. Guillermo Melini Salguero
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, PROVISTO POR LA PLANTA SANTA LUISA, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA,

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Civil, con fecha 27 de julio de 2009.

A handwritten signature in black ink, consisting of a large, stylized 'J' and 'P' followed by 'Bernal Reyes'. The signature is written over a large, faint circular outline.

Juan Pablo Bernal Reyes



Guatemala, 12 de noviembre de 2009

Ingeniero
Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe Depto. de Hidráulica
Facultad de Ingeniería

Ingeniero Aguilar:

Atentamente me dirijo a Ud. Para manifestarle que he realizado la revisión final del trabajo de graduación titulado **“ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, PROVISTO POR LA PLANTA SANTA LUISA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA”**, presentado por el estudiante universitario Juan Pablo Bernal Reyes, el cual, ha cumplido con los objetivos planteados, y de acuerdo a la información que fuera factible conseguir para su desarrollo, en tal sentido me permito recomendar su aprobación en calidad de asesor del trabajo realizado.

Sin otro particular, su atento y seguro servidor,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Ing. Omar Flores Beltetón
Asesor - Profesor investigador
Centro de Estudios Superiores de Energía y Minas -CESEM-





Guatemala,
29 de enero de 2010

FACULTAD DE INGENIERIA

Ingeniero
Hugo Leonel Montenegro Franco
Director de la Escuela de Ingeniería Civil
Facultad de Ingeniería
Presente

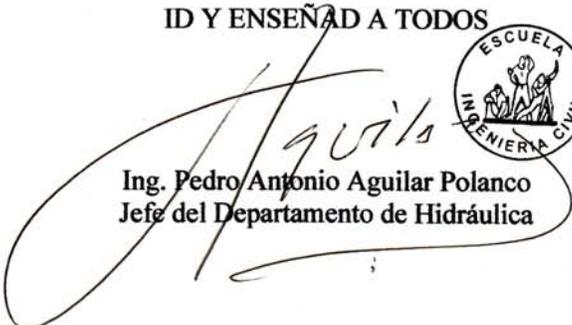
Estimado Ing. Montenegro.

Le informo que he revisado el trabajo de graduación **ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, PROVISTO POR LA PLANTA SANTA LUISA EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, desarrollado por el estudiante de Ingeniería Civil Juan Pablo Bernal Reyes, quien contó con la asesoría del Ing. Omar Flores Beltetón.

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

Atentamente,

ID Y ENSEÑAD A TODOS


Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco
Jefe del Departamento de Hidráulica

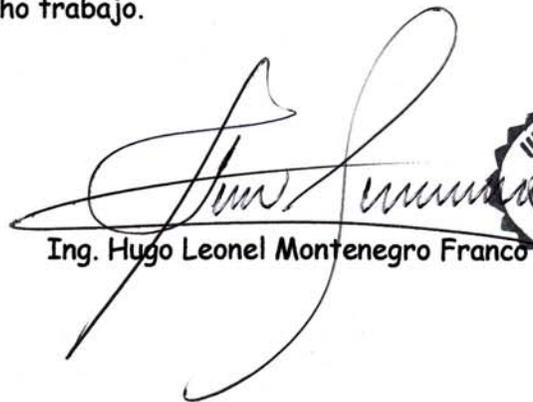


FACULTAD DE INGENIERIA
DEPARTAMENTO
DE
HIDRAULICA
USAC

/bbdeb.



El Director de la Escuela de Ingeniería Civil, después de conocer el dictamen del Asesor Ing. Omar Flores Beltetón y del Jefe del Departamento de Hidráulica, Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco, al trabajo de graduación del estudiante Juan Pablo Bernal Reyes, titulado ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, PROVISTO POR LA PLANTA SANTA LUISA, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA, da por este medio su aprobación a dicho trabajo.


Ing. Hugo Leonel Montenegro Franco



Guatemala, julio de 2010

/bbdeb.



El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Civil, al trabajo de graduación titulado: **ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, PARA EL SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE AGUA, PROVISTO POR LA PLANTA SANTA LUISA, EN LA CIUDAD DE GUATEMALA**, presentado por el estudiante universitario **Juan Pablo Bernal Reyes**, autoriza la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos
DECANO



Guatemala, julio de 2010

/gdech

DEDICATORIA A:

MI PATRIA

MIS PADRES: Fredy Advel Bernal Martínez
Teresa Elizabeth Reyes de Bernal

MI HERMANO: Carlos Alberto Bernal Reyes

MIS FAMILIARES

LA UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

MIS CATEDRÁTICOS, COMPAÑEROS Y AMIGOS.

AGRADECIMIENTOS A:

Dios mi señor, por haberme hecho parte de la corona de la creación y por darme a mis padres que son la base fundamental de todos mis éxitos, ¡Que Dios los bendiga siempre!.

Mis tías Elbia, Sara, Eunice y Sonia, porque han sido soporte sin esperar nada a cambio.

Mis familiares y amigos que han colaborado conmigo en la realización de este trabajo.

Mi asesor Ingeniero Omar Flores Beltetón, por su interés y gran colaboración al aplicar talentos inapreciables en la elaboración de este documento.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	VII
LISTA DE ABREVIATURAS	XI
GLOSARIO	XVII
RESUMEN	XXVII
OBJETIVOS	XXXI
INTRODUCCIÓN	XXXIII
1. ÁREA DE ESTUDIO	1
1.1 Introducción	1
1.1.1 Ubicación.	1
1.1.2 Clima.	1
1.1.3 Comunicaciones.	2
1.1.4 Vías de comunicación.	2
1.1.5 Población.	3
1.1.6 Características urbanas.	3
1.1.7 Energía eléctrica .	4
1.1.8 Salud pública y saneamiento.	4
1.1.9 Residuos sólidos.	5
1.1.10 Agua potable.	6
1.1.11 Recursos hídricos.	6
1.1.12 Aguas superficiales.	7
1.1.13 Estadísticas de salud.	7
1.1.14 Desarrollo socioeconómico.	7
1.2 Organización de los servicios de agua potable.	9

1.2.1	A nivel nacional.	10
1.2.2	A nivel local, organización y cobertura (conexiones y lugares beneficiados).	15
1.3	La organización del servicio de agua potable a nivel nacional y local en situaciones de emergencia.	16
1.3.1	A nivel nacional.	16
1.3.2	A nivel local.	18
2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE "SANTA LUISA"		19
2.1	Introducción.	19
2.1.1	Información de la cuenca Teocinte.	24
2.1.2	Descripción de los ramales que alimentan la microcuenca.	28
2.1.3	Presa y embalse Teocinte.	31
2.1.4	Presa Acatán.	39
2.1.5	Fuentes de la presa Acatán.	40
2.1.6	Pozo Canalitos.	42
2.1.7	Pozo dentro de las instalaciones de la planta Santa Luisa.	48
2.1.8	Pozos emergencia 1.	49
2.2	Geología donde pasa el sistema Santa Luisa.	52
2.3	Producción y tratamiento.	55
2.3.1	Las tomas.	55
2.3.2	Elementos que conforman la planta de purificación.	58
2.3.3	Información general de la calidad del agua desde Los afluentes hasta Santa Luisa.	72

2.3.4 Información general de los beneficiarios del sistema Santa Luisa.	73
3. AMENAZA SÍSMICA	75
3.1 Introducción.	75
3.2 Sismicidad de la zona.	78
3.3 Tipos de suelos en la zona.	81
3.4 Intensidades y aceleraciones máximas esperadas en la zona.	83
4. MATRICES DE VULNERABILIDAD	91
4.1 Introducción.	91
4.2 Metodología.	92
4.2.1 Descripción matriz 1: vulnerabilidad operativa.	92
4.2.2 Descripción matriz 2: vulnerabilidad física e impacto en el servicio.	97
4.2.3 Descripción matriz 3: vulnerabilidad administrativa y capacidad de respuesta.	103
4.2.4 Descripción matriz 4A y 4C: medidas de mitigación y emergencia (aspectos administrativos y operativos).	106
4.2.5 Descripción matriz 4B: medidas de mitigación y emergencia (aspectos físicos).	107
4.2.1.1 Matriz 1 – aspectos operativos.	109
4.2.2.1a Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “cuenca”.	111
4.2.2.1b Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “presa Teocinte”.	112

4.2.2.1c Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “línea de conducción Teocinte I”.	113
4.2.2.1d Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “línea de conducción Teocinte II”.	114
4.2.2.1e Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “presa Acatán y conducción”.	115
4.2.2.1f Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “pozo Canalitos”.	116
4.2.2.1g Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “pozos de emergencia 1”.	117
4.2.2.1h Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto En el Servicio “Planta de Tratamiento”.	118
4.2.2.1i Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “tanques de distribución de concreto”	119
4.2.2.1j Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “tanque elevado metálico”.	120
4.2.2.1k Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “red de distribución”.	121
4.3.1.1 Matriz 3 – vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta.	123
4.4.1.1a Matriz 4A – medidas de mitigación y emergencia (vulnerabilidad operativa).	126

4.4.1.1b Matriz 4B – medidas de mitigación y emergencia (vulnerabilidad física).	128
4.4.1.1c Matriz 4C – medidas de mitigación y emergencia (vulnerabilidad administrativa).	131
5. ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA SISMICA Y VULNERABILIDAD DE TUBERÍAS	133
5.1 Introducción.	133
5.2 Estimación de vulnerabilidad.	133
5.3 Evaluación de una amenaza sísmica.	135
5.3.1 Descripción de las zonas sísmicas del sistema Santa Luisa.	148
5.4 Aplicación de la metodología para la cuantificación de las fallas del sistema Santa Luisa.	158
5.4.1 Tubería de hierro fundido de 18" (Teocinte I).	158
5.4.2 Tubería de hierro fundido de 20" (Teocinte II).	160
5.4.3 Tubería de materiales mixtos diámetros variables (Acatán - Santa Luisa).	162
5.4.4 Tubería de hierro fundido de 8" (Canalitos- Santa Luisa).	165
5.4.5 Tubería de hierro fundido de 18" (Pozos emergencia hacienda nueva - Santa Luisa).	166
5.4.6 Tubería de hierro fundido de 18" (Pozos emergencia San Gaspar – Santa Luisa).	167
5.4.7 Líneas de distribución principal (macro red)	167

6. PLAN DE MITIGACION Y EMERGENCIA	173
6.1 Plan de mitigación.	173
6.2 Plan de emergencia.	178
6.3 Organización y principales acciones.	178
6.3.1 A nivel nacional.	178
6.3.2 A nivel local.	181
CONCLUSIONES	187
RECOMENDACIONES	193
BIBLIOGRAFÍA	195
APÉNDICE	201

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

Figuras

1	Mapa de acceso a la planta Santa Luisa.	3
2	Organigrama de EMPAGUA	13
3	Esquema general de la captación y depósitos de agua "Santa Luisa"	22
4	Mapa de localización de la captación y depósitos de agua	23
5	Mapa del atlas de cuencas de Guatemala	25
6	Cuenca del Motagua	26
7	Ríos que alimentan el sistema Santa Luisa	27
8	Acceso a presa Teocinte	36
9	Embalse Teocinte	38
10	Compuertas Teocinte I y II	38
11	Tubería Teocinte II a Santa Luisa	39
12	Río Teocinte Vista desde la Presa	39
13	Presa Acatán	41
14	Vertientes o Riachuelos de Acatán	41
15	Mapa de ubicación "Canalitos"	44
16	Mapa de Localización "Canalitos"	44
17	Paso aéreo	46
18	Sistema pozo "Canalitos"	48
19	Ubicación del Pozo Santa Luisa	50
20	Mapa de fallas y fracturas	54
21	Ingreso de tuberías de conducción a Santa Luisa	59
22	Vertederos de Ingreso de la planta Santa Luisa	60
23	Canal de mezcla rápida de la planta Santa Luisa	61

24	Floculadores	62
25	Sedimentadores	63
26	Filtros	64
27	Base de filtros	64
28	Vertedero de salida	65
29	Tanques de distribución Acatán visto noroeste	65
30	Tanque de distribución elevado (metálico)	66
31	Estado físico de tuberías	70
32	Compuertas de salida. Macro red de distribución	70
33	Fallas geológicas de la ciudad de Guatemala	78
34	Mapa de sismicidad de Guatemala	80
35	Sismicidad de Guatemala	81
36	Esquema de la propagación de onda	86
37	Mapa de aceleraciones esperadas para la ciudad de Guatemala, provocada por la falla Santa Catarina Pinula	90
38	Mapa tectónico de Centro América	135
39	Índice de daños por propagación de ondas sísmicas en tuberías de hierro, según intensidad de Mercalli Modificada	141
40	Índice de daños por propagación de ondas sísmicas en tuberías de hierro según intensidad de Mercalli Modificada	142
41	Fallas en tuberías en relación a Intesidad de Mercalli según Eguchi	143
42	Mapa del sistema general de zonas de riesgo de Licuefacción	152

43	Mapa geológico y fallas geológicas	153
44	Mapa de clasificación de suelos Simons, microcuenca	154
45	Mapa geomorfológico, microcuenca	155
46	Mapa de localización de tuberías y zonificación de riesgo	156
47	Mapa del sistema Santa Luisa delimitado en tramos de tubería	157

Tablas

I	Examen Físico-Químico del agua "Santa Luisa"	72
II	Examen bacteriológico prueba Colibert, NMP/100 cm ³	73
III	Conexiones y Tarifas	74
IV	Consumo/mes por tarifa de EMPAGUA	74
V	Eventos sísmicos en ciudad de Guatemala	87
VI	Terremotos meta esperados para ciudad de Guatemala	139
VII	Factores de multiplicación relativos al tipo de material	143
VIII	Clasificación amenaza por tipo de perfil del suelo	147
IX	Clasificación amenaza por licuefacción potencial	147
X	Clasificación amenaza por deformaciones permanentes	148
XI	Posibles combinaciones de los factores de amenaza	158
XII	Resumen de daños esperados	171

LISTA DE ABREVIATURAS

AC	Asbesto cemento
AGIES	Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica.
AMG	Área Metropolitana de Guatemala.
Aprox.	Aproximadamente
ASDI	Agencia Sueca de Desarrollo Internacional.
CA-9	Carretera Inter Oceánica que une la costa del pacífico con la costa del atlántico.
CaCO₃	Carbonato de Calcio.
CEPIS	Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del medio ambiente.
CEUR	Centro de Estudios Urbanos y Regionales.
cm	Centímetros.
cm/s	Centímetros por segundo.
cm/s²	Centímetros por segundo cuadrado.
COGUANOR	Comisión Guatemalteca de Normas

COMRED	Coordinadora Municipal para la Reducción de Desastres.
CONRED	Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres.
EEGSA	Empresa Eléctrica de Guatemala, S.A.
EMPAGUA	Empresa Municipal de Agua de la Ciudad de Guatemala.
ERIS	Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y Recursos Hídricos.
FTPS	Factor de amenaza por tipo de perfil del suelo.
FLPS	Factor de amenaza por licuefacción potencial.
FDPS	Factor de amenaza por deformación permanente del suelo.
H.D.	Hierro dúctil.
H.F.	Hierro fundido.
H.G.	Hierro galvanizado
HP	Caballos de fuerza (Horse Power)
IGN	Instituto Geográfico Nacional.

IMM	Intensidad de Mercalli Modificada.
INDE	Instituto Nacional de Electrificación
INE	Instituto Nacional de Estadística
INSIVUMEH	Instituto Nacional de Sismología, Vulcanología, Meteorología e Hidrología.
JICA	Japan International Cooperation Agency
Km	Kilómetro.
Km²	Kilómetro cuadrado.
l/s	Litro por segundo.
M	Metro.
M	Magnitud
m³	Metro cúbico
m³/día	Metro cúbico por día
max.	Máximo
mg/l	Miligramo por litro

mm	Milímetro
msnm	Metros sobre el nivel del mar
MSPAS	Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social
OMS	Organización Mundial de la Salud
OPS	Organización Panamericana de la Salud
pH	Acidez de una solución. Es la concentración de iones hidronios presentes en determinada sustancia.
plg	Pulgadas
PVC	Policloruro de vinilo
Radio UHF	Radio de Frecuencia Ultra Alta –Ultra High Fecuecy–
Radio VHF	Radio de muy alta frecuencia –Very High Frecuecy–
rpm	Revoluciones por minuto.
SEGEPLAN	Secretaría de Planificación y Programación de la Presidencia.
Subd.	Subducción.
TCCR	Tubo cilíndrico de concreto reforzado.

TELGUA	Telecomunicaciones de Guatemala.
Tr	Tiempo de retorno.
U. pH	Unidades de acidez.
U.C.	Unidad de color
UNICEF	Fondo de Naciones Unidas para la Infancia.
USA	Estados Unidos de Norte América.
UTN	Unidad de una medición de turbiedad efectuada con un nefelómetro.
$\mu\text{ohm/cm}$	Resistencia eléctrica en ohmios por centímetro.
(")	Pulgadas
(%)	Porcentaje
°C	Grados Célsius

GLOSARIO

Acceso	Entrada o paso hacia un punto o recinto.
Afluente	Río secundario que desemboca en otro principal.
Agua potable	Agua sanitariamente segura y agradable a los sentidos.
Aguas abajo	Indicador del posicionamiento de un punto de referencia en relación a la cota de nivel en un afluente.
Alcalinidad	Propiedad de las sustancias capaces de ceder iones hidróxido cuando están en disolución acuosa.
Alcantarilla	Acueducto subterráneo fabricado para recoger las aguas llovedizas o residuales y darles paso.
Aluvi3n	Sedimentos arrastrados por las lluvias y las corrientes.
Amenaza	Anuncio de un mal o peligro provocado por un evento catastr3fico.
Área de impacto	Área donde ha ocurrido un evento catastr3fico o de riesgo.
Arena sílice	Conjunto de partículas desagregadas del compuesto químico dióxido de silicio.

Arenas volcánicas	Conjunto de partículas desagregadas de rocas producidas del enfriamiento del magma.
Barranco	Despeñadero o precipicio.
Basamento	Soporte de una estructura.
Batería	Conjunto de elementos con las mismas características que conforman un sistema.
Bombas	Máquina que eleva, comprime y transporta fluidos.
Bypass	Técnica que consiste en circunvalación de un conducto que ha sido obstruido para que haya libre paso del flujo.
Capacidad remanente	Capacidad de un elemento de un sistema de producir, pese al colapso total o parcial de los otros elementos que conforman el sistema
Captaciones	Acción y resultado de captar recursos hídricos.
Cartografía	Arte y técnica que, con la ayuda de las ciencias geográficas y sus afines, tiene por objeto la elaboración de mapas.
Caudal	Volumen por unidad de tiempo que posee una corriente.
Clorificación	Acción de purificación de las aguas, para potabilizarlas por medio de dosificación de cloro.

Cloruro	Combinación del cloro con un metal, con un metaloide o con un radical orgánico.
Coagular	Hacer que un líquido se convierta en sólido o pastoso.
Cohesivo	Que produce cohesión o unión.
Colapso	Decaimiento brusco y grave de una estructura.
Conexión	Enlace, juntura de una tubería a la red principal o líneas de conducción para abastecimiento de agua.
Corrosión	Desgaste o destrucción lento y paulatino de las tuberías o elementos metálicos.
Cota	Número que indica la altura de un punto sobre un nivel de referencia.
Cuaternario	Era que comenzó cerca de los 2,588 millones de años hasta el presente, este período se destina a cubrir los ciclos de glaciaciones.
Cuenca	Territorio hundido y rodeado de montañas cuyas aguas fluyen todas a un mismo río, lago o mar.
Déficit	Balance negativo de la capacidad de producción de un elemento respecto a la demanda.

Deforestación	Reducción progresiva o desaparición de las masas forestales.
Delta de ríos	Territorio triangular formado en la desembocadura de un río, mediante sedimentos que se depositan a medida que la corriente del río va desapareciendo.
Derivado	Encaminar, conducir un caudal de agua que va por un cauce para hacerle ir por otro.
Dosificar	Determinar o graduar las dosis de un componente químico para el tratamiento de las aguas para potabilizarlas.
Embalse	Depósito artificial en el que se almacenan las aguas de un río o de un arroyo, generalmente mediante una presa o un dique que cierra la boca de un valle.
Entronque	Empalme de dos o más tuberías.
Escala Mercalli Modificada	Escala creada por Guiseppe Mercalli, se basa en el efecto o daño producido en las estructuras.
Falla	Fisura que aparece sobre la corteza terrestre provocada por los movimientos geológicos de un terreno.
Flóculo	Es un proceso químico mediante el cual, con la adición de sustancias denominadas floculantes, se

aglutinan las sustancias coloidales presentes en el agua, facilitando de esta forma su decantación y posterior filtrado.

Geomorfología

Rama de la geología que estudia el relieve terrestre y su evolución.

Graben

Fosa tectónica limitada por una serie de fallas escalonadas.

Hoya hidrográfica

Área desde la que escurre el agua que alimenta un río a lo largo de su curso y está delimitada por las zonas más altas que la dividen en otras.

Licuefacción

Proceso por el cual un suelo parece cambiar su estado sólido a líquido ante un terremoto.

Limnígrafo

Es un aparato que consiste en un flotador que sigue las variaciones de nivel de una superficie de agua y cuyo movimiento es transmitido a un dispositivo de lectura o registro.

Línea

Se refiere a los conductos de agua o tubería para la conducción y redes de distribución.

Litosfera

Es la capa superficial de la tierra sólida, caracterizada por su rigidez.

Macro red

Se refiere a las líneas de tubería principal que forman parte de la red de distribución de agua de

donde se derivan los ramales que abastecen a la población.

Matriz

Es una tabla con información descriptiva y numérica que se utiliza para describir un sistema de agua, para tener un panorama claro del estado de cada componente de un sistema.

Micro red

Se refiere a las líneas menores o ramales que salen de la macro red para el abastecimiento de agua de la población.

Mitigación

Moderación, disminución de la severidad o rigor de un evento sísmico.

Nivel dinámico

Es la distancia desde la superficie al nivel que adquiere el espejo de agua durante el proceso de bombeo.

Nivel estático

Es la distancia vertical medida desde la boca del pozo hasta el nivel del agua cuando no haya una bomba de agua operando.

Material piroclásticos

Material con alto contenido de gases como dióxidos, sulfuros o vapor de agua, éste se enfría y descomprime al alcanzar la superficie durante una erupción volcánica.

Percolado

Líquido color negro, mal oliente, que lo produce la basura en descomposición.

Placas geológicas	Es un fragmento de litósfera que se desplaza como un bloque rígido sin presentar deformación interna sobre la astenósfera de la tierra.
Pozo	Excavación profunda que se hace en la tierra con el fin de ahondar hasta encontrar una vena de agua aprovechable.
Presa	Es un muro o barrera fabricado con piedra, hormigón o materiales sueltos, que se construye habitualmente en una cerrada o desfiladero sobre un río, arroyo o canal en el cauce fluvial para su posterior aprovechamiento en abastecimiento.
Riolita	Es una roca ígnea que se produce por la violenta salida al exterior de la tierra, hecha magma y que se produce por el brusco enfriamiento que sufre.
Rocas metamórficas	Es aquella que ha sido formada a partir de otra roca, mediante un proceso llamado matamorfismo.
Rocas sedimentarias	Son rocas que se forman por acumulación de sedimentos que, sometidos a procesos físicos y químicos (diagénesis), resultan en un material de cierta consistencia.
Saneamiento	Conjunto de acciones técnicas que tienen por objetivo alcanzar niveles crecientes de salubridad.

Sedimentación	Es el proceso por el cual el material sólido, transportado por una corriente de agua, se deposita en el fondo.
Sismicidad	Es el riesgo que tiene una región específica de que se presente sismos.
Subducción	Es un proceso de hundimiento de una placa litosférica bajo otra en un límite de placas convergente.
Superávit	Diferencia positiva de la capacidad de los elementos de un sistema de agua de producir agua en relación a la demanda.
Tanque	Elemento fundamental de una red de abastecimiento de agua para compensar las variaciones horarias de la demanda de agua potable, ya que la almacena.
Terciario	Era Cenozoica que se inició hace 65.5 millones de años y que se extiende hasta la actualidad.
Transcurrencia	Los bloques se desplazan uno con respecto del otro en la dirección horizontal.
Turbiedad	Se puede llamar Turbidez, es la falta de transparencia del agua, debido a la presencia de partículas en suspensión.

Vertedero	Es la estructura hidráulica destinada a permitir el pase, libre o controlado, del agua en los escurrimientos superficiales y tiene como fin la seguridad de la estructura hidráulica, al no permitir la elevación del nivel, aguas arriba por encima del nivel máximo, entre otros.
Vertiente	Declive por donde corre el agua.
Volcanoclástico	Se refiere a todo aquello formado por corrientes de densidad con partículas y gases, frecuentemente calientes que se mueven lateralmente, denominadas coladas piroclásticas, avalanchas incandescentes, nubes ardientes.
Vulnerabilidad	Es una medida de qué tan susceptible es un bien expuesto a ser afectado por un fenómeno perturbador natural como un sismo.
Zona ¹	Es una región dentro de la ciudad de Guatemala que delimita ciertas áreas para el ordenamiento urbano de la ciudad.

Zona ²

Es un área delimitada por cuadros de 2 km x 2 km con el fin de evaluar los suelos por donde pasa el sistema Santa Luisa.

Zona fluvial

Es la zona del espacio fluvial necesaria para preservar el río, entendido en su concepción más común.

RESUMEN

Según informes de *Las Memorias del simposio del terremoto de febrero de 1976* (Bonis, 1996), Guatemala es un país con problemas sociales y económicos de gran trascendencia, hasta antes del terremoto de 1976 enfrentaba problemas sociales fuertes. Siempre ha habido una cobertura muy baja de los servicios con relación a la demanda y no ha habido decisión gubernamental para afrontar seriamente la problemática. Ante esta situación, por primera vez en la historia de planificación nacional, el Plan Nacional de Desarrollo para el período del año 75 al 79 daba un tratamiento especial a los sectores de educación, salud, previsión social y vivienda, formulando políticas de expansión y mejoramiento cualitativo y cuantitativo para la superación de los problemas antes mencionados.

El terremoto del 4 de febrero de 1976, no había impactado en forma significativa a los sectores productivos, si no más bien su daño se había concentrado en los sectores sociales, afectando directamente a los grupos poblacionales de menor ingreso. Esta situación quedó constatada en el estudio de *Evaluación de los daños causados por el terremoto, su impacto sobre el desarrollo económico y social y lineamientos para un programa inmediato de reconstrucción* elaborado por la Secretaria General del Consejo Nacional de Planificación Económica, en el cual se establece que del total del daño estimado de ese momento un 7% se considera en el sector Educativo, un 6% en el sector salud, un 66% en el sector vivienda y un 1% en el sector bienestar social.

Quiere decir que del total del daño reportado un 80% proviene del daño en los sectores tradicionalmente llamados sociales. Cuando sucedió el siniestro todo constituía una sorpresa y de nada se tenía experiencia que pudiera en alguna medida servir de base para tomar decisiones, porque en un principio el conocimiento de las características de la catástrofe era muy superficial y bastante limitado. En las 3 décadas transcurridas desde el terremoto, para amplios sectores de la población metropolitana de Guatemala el riesgo de sufrir las consecuencias de un desastre ha aumentado considerablemente, según indica *Las memorias del simposio del terremoto del 4 de febrero*.

Esta situación no se debe a cambios en el comportamiento de las amenazas físicas existentes en la región, sino a mayores niveles de vulnerabilidad frente a estas amenazas y al incremento de peligros causados por el mismo desenvolvimiento urbano que se ha dado desde entonces. Después de un desastre catastrófico provocado por un terremoto, es de suma importancia que los servicios de agua potable y alcantarillado continúen cumpliendo su misión para garantizar las condiciones de salud y de bienestar, evitando así la propagación de enfermedades como diarreas causados por la contaminación, porque no hay condiciones de salubridad estables que garanticen la salud de la población y la vuelta rápida a la normalidad.

En esta investigación evalúa un sistema de abastecimiento de agua para analizar qué medidas de prevención y post-desastre se deben adoptar para reducir el daño y las consecuencias en el futuro, el análisis de vulnerabilidad presentado en este trabajo, provee una

metodología sencilla para dar respuesta a la pregunta. ¿Cuál es la vulnerabilidad de cada uno de los componentes del sistema, ante el impacto de las amenazas propias de la zona? Todo se basa en la metodología propuesta por la Organización Panamericana de la Salud de la Organización Mundial para la Salud.

OBJETIVOS

1. Reforzar la administración de la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala con sugerencias de programas enfocando en garantizar un sistema sin interrupciones, o si en caso de un desastre garantizar la pronta rehabilitación del sistema de agua y drenaje.
2. Obtener un programa de planificación considerando las características del evento, la infraestructura del sistema y la capacidad de la zona para aplicar las guías elaboradas.
3. Identificar la amenaza que impera en el sistema y la magnitud de éste y que las medidas de mitigación propuestas ayuden a que el sistema no falle o colapse en un desastre para evitar la interrupción en el servicio de agua.

INTRODUCCIÓN

Para lograr los objetivos del estudio, el presente informe se ha estructurado de la siguiente manera:

Capítulo 1: la presentación del informe, antecedentes, objetivos del estudio, metodología a usar y estructura del informe.

Capítulo 2: área de estudio y organización de los servicios de agua:

- Descripción de las condiciones de la zona, especialmente vías de acceso, características urbanas, suministro energético, condiciones de salud pública y saneamiento, desarrollo social, económico y recursos.
- Organización de los servicios de agua potable en condiciones normales y de emergencia, tanto local como nacional, y la legislación que les corresponde.

Capítulo 3: descripción del sistema de agua potable, desde la captación que comprende:

- La presa y embalse Teocinte en el río con el mismo nombre.
- La presa Acatán.
- El pozo Canalitos.
- La batería de pozos ubicados alrededor de la planta Santa Luisa.
- La línea de conducción desde las tomas hasta la planta de tratamiento.

- La planta de tratamiento y los tanques de almacenaje y distribución.
- La línea principal de distribución de la red.

Se describe en detalle cada componente del sistema de agua de Santa Luisa.

Capítulo 4: análisis de la amenaza sísmica de la ciudad de Guatemala donde abastece el sistema de Santa Luisa y se calculan las condiciones de aceleración máxima esperada para la ciudad de Guatemala, de acuerdo a la historia sísmica que existe. (Colegio de Ingenieros, 1996).

Capítulo 5: matrices de vulnerabilidad: incluye los resultados obtenidos del análisis de vulnerabilidad (matrices 1, 2 y 3) y las medidas de mitigación y emergencia propuestas (matriz 4).

Capítulo 6: metodología propuesta para calcular daños en tuberías: muestra una metodología sencilla para estimar los daños esperados en las tuberías de conducción y distribución de agua potable.

Capítulo 7: se analiza la organización de EMPAGUA y su visión para responder a los desastres sísmicos y de prevención de éstos en el fallo del sistema ocurrido después del terremoto del año 76, encontrándose que existe carencia de planes para la atención de desastres.

1. ÁREA DE ESTUDIO

1.1 Introducción

Este capítulo se definió con el propósito de informar acerca del estado actual del entorno que beneficia el sistema y los aspectos generales y socioeconómicos de los beneficiarios. Así también detallar en caso de existir legislación cuales son los incisos que comprenden la mitigación de desastre y la respuesta rápida a la atención de las emergencias, con el propósito de establecer en los capítulos posteriores las medidas de mitigación y emergencia que habrían de aplicarse en la planta Santa Luisa en relación a un sismo esperado.

1.1.1 Ubicación

Se encuentra ubicada al este de la ciudad de Guatemala, en la jurisdicción de Acatán, Santa Rosita, zona 16, a una distancia aproximadamente de 10 Km. del centro de la ciudad de Guatemala (Herrera, 2002).

1.1.2 Clima

El área de mayor incidencia para la planta Santa Luisa se encuentra en San José Pinula, debido a que su mayor afluente es el Teocinte, de acuerdo al atlas climatológico de Guatemala (INSIVUMEH, 1993):

- Al este; semicálido húmedo con invierno benigno seco, esta área comprende parte de los municipios de San José Pinula parte de Fraijanes, Santa Catarina Pinula y Guatemala.
- La precipitación anual se estima en 1250 mm. de lluvia, la temperatura promedio anual estimada es 20 °C, alcanzado temperatura máxima promedio anual de 25 °C, y una temperatura mínima promedio anual de 12.5 °C. (INSIVUMEH, 1993)

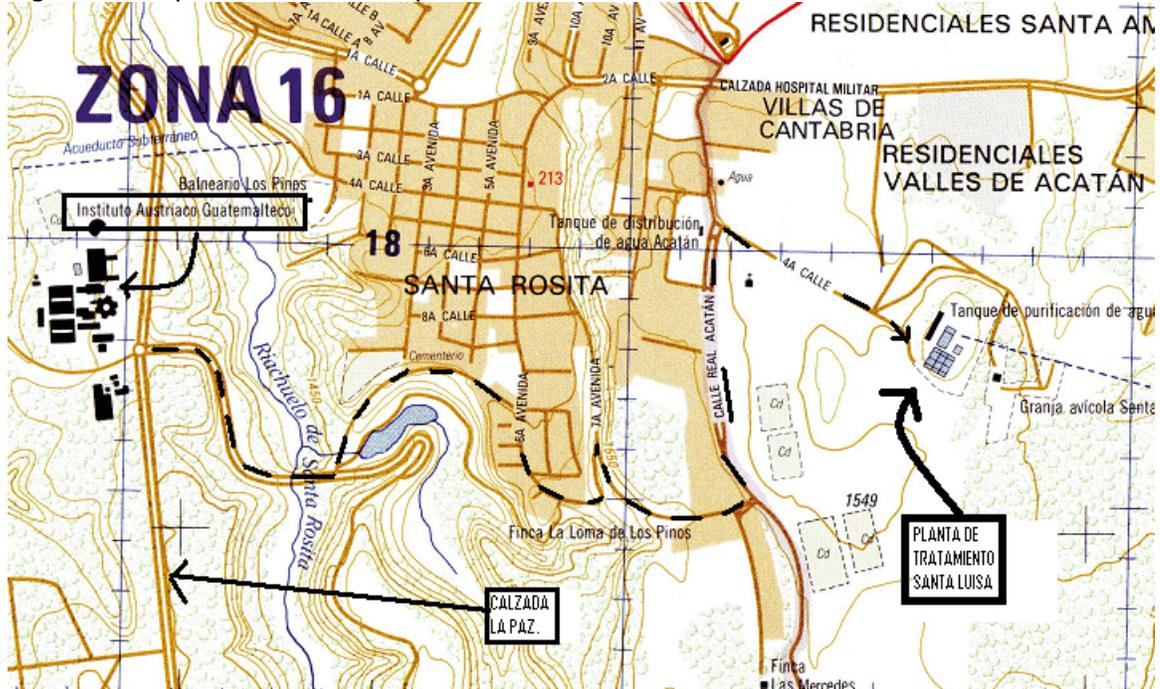
1.1.3 Comunicaciones

La comunicación con que cuenta la planta son radios y la cobertura telefónica de Telgua (502) 2255-9625.

1.1.4 Vías de comunicación

La calzada la Paz es una vía de acceso a la planta Santa Luisa, ingresando a la derecha (en dirección a la carretera al Atlántico) a altura del colegio Austriaco-Viena. Esta vía comunica con el bulevar Vista Hermosa de la zona 15. Hay otro acceso por la zona 5, tomando la 27 calle que conecta a la calzada la paz. (Ver Fig.1.)

Figura 1. Mapa de acceso a la planta Santa Luisa



Fuente: IGN

1.1.5 Población

La planta abastece parte de las zonas 1, 4, 5, 10, 16 y 17 de la ciudad (Eris, 2003), Aproximadamente abastece para zona 1, (48,492), zona 5, (68,093), zona 10, (9,990), zona 16 (14,451), zona 17, (15,726) habitantes, de una población total de 961,981 habitantes en el área metropolitana, esto representa un 16.29% de la población total de la ciudad de Guatemala. (EMPAGUA, 2001).

1.1.6 Características urbanas

En una zona completamente urbana de la ciudad de Guatemala en la zona 16. Actualmente el área se conforma de colonias de clase social media (predominante). Se pueden identificar las siguientes colonias o sectores de ocupación

urbana como: aldea Santa Rosita, residenciales de Acatán, colonia Lourdes, residencial las Acacias, residenciales San Carlos, lotificación San Isidro, finca Las Mercedes. La zona está compuesta por cuadrantes regulares y calles asfaltadas y bien definidas, la topografía es bastante accidentada. Las viviendas son en su mayoría de mampostería reforzada y losa de concreto de 1 y 2 niveles. El comercio es mínimo y predomina el sector residencial. (Apreciación personal, ayuda de mapa de escala 1:15,000 del Instituto Geográfico Nacional).

1.1.7 Energía eléctrica

La planta cuenta con el suministro de electricidad provisto por EEGSA (Empresa Eléctrica de Guatemala). El circuito que alimenta a la planta de agua es la subestación eléctrica San Isidro, en la zona 16. La Planta Santa Luisa posee una planta generadora de energía a Diesel que provee la energía suficiente para mantener la planta de tratamiento en debido funcionamiento sin que afecte su capacidad de producción de agua actual.

En cuanto a los pozos que abastecen la planta son alimentados con la misma subestación y no poseen planta eléctrica de emergencia. (Información proporcionada por base de datos EEGSA).

1.1.8 Salud pública y saneamiento

La alta concentración geográfica en las áreas urbanas determina que en el caso del departamento de Guatemala, una quinta parte de la población total del país, se encuentre en este departamento, con un total de 2.8 millones de personas en el año 2002 (INE, 2002). Existen 7 hospitales, que podrían ayudar en caso de emergencia a la ciudad de Guatemala (5 ubicados en el municipio de Guatemala, 1 en Amatitlán y 1 en San José Pinula, 10 Centros de Salud, 5 maternidades y 7 puestos de salud.

Toda esta infraestructura para los 866,426 habitantes solo en la ciudad capital, y estimando que existen 165,830 viviendas, que hace 39,383.00 habitantes por servicio de salud. Estos centros de salud juntos pueden atender a más de 25,000 personas. La distancia media de acceso a los servicios de salud es de 2.99 km. En caso de haber una interrupción del abastecimiento de agua a la población se corre el riesgo de que proliferen las epidemias como la diarrea y problemas virales como consecuencia de la contaminación provocadas por la falta de agua.

Según la Organización Panamericana de la Salud (OPS), se estima que en Guatemala por cada 10,000 habitantes hay 9 médicos, es una tasa bastante baja para la demanda en caso de una catástrofe nacional (OPS, 2001).

1.1.9 Residuos sólidos

El servicio de recolección de basura lo realizan tanto el departamento de limpieza de la municipalidad de Guatemala, como empresas privadas, según información de este departamento, el servicio municipal lo lleva a cabo en 2 subsistemas, barrido y transporte. Los residuos son recolectados de domicilios, mercados, parques y son transportados en vehículos (de volteo, compactadores, rectangulares, carretas, etc.). El transporte vehicular municipal consiste en 20 camiones, 3 cargadores frontales y una barredora que traslada los desechos generados en mercados, calles, hospitales y criaderos abiertos. El servicio privado cuenta con 198 camiones, 36 carros tirados por caballos, 15 carretas manuales y con 876 personas realizando el trabajo de recolección. La basura se deposita en el basurero general autorizado y ubicado entre las zonas 3 y 7 de la ciudad (CEUR, 2006).

1.1.10 Agua potable

El servicio de agua potable está a cargo de la Empresa Municipal de agua de la ciudad de Guatemala –EMPAGUA- La cobertura del agua es de un 100% en la zona 16 donde se encuentra la planta.

1.1.11 Recursos hídricos

La deforestación de los bosques está causando un incremento creciente de sedimentos en los cauces de agua

superficial que disminuye el volumen de descarga de los ríos, la inexistencia del tratamiento de las aguas residuales, tanto domésticas como industriales; la contaminación de los cuerpos de aguas superficiales (ríos y lagos) y subterráneas y como también de las costas marítimas, problemas que son agravantes día a día. En la década de 1980-89 la precipitación promedio anual fue de 1,112.3 mm, la cual recargó acuíferos subterráneos, que están sobre explotados, y abasteció los caudales superficiales, los cuales tienen su calidad degradada por la contaminación. (EMPAGUA, 2001).

1.1.12 Aguas superficiales

Aproximadamente un 70% (varía conforme a la época de lluvia o seca) del suministro actual de agua potable proviene de aguas superficiales que son captadas de cuencas hídricas del área. El 30% restante es de los acuíferos locales del valle de Guatemala, captadas por medio de pozos. (EMPAGUA, 2001).

1.1.13 Estadísticas de Salud

No se ha hecho un estudio de salud después de 1998, donde se detectó que la mortalidad infantil en la ciudad de Guatemala es de 19/1000. La mortalidad en menores de 5 años fue de 3.25/1000 y la mortalidad materna es de 58/100,000. En términos del servicio de salud en la ciudad de Guatemala, para el año de 1998 se logró la inmunización completa en un 98%. La esperanza de vida en Guatemala es en mujeres de 69.31

años y de los hombres es de 63.85 años, en promedio la esperanza de vida en Guatemala es de 65 años (MSPAS, 1999).

1.1.14 Desarrollo socioeconómico

La macrocefalia de la ciudad de Guatemala y su área metropolitana, evidenciado por un elevado índice de primacía, está frenando el desarrollo de otros lugares poblados del interior del país. Se estima que 1/5 de la población total de Guatemala está asentada en el área metropolitana, en cifras absolutas son alrededor de 2 millones de habitantes al inicio de la década de los 80. Se estima que el 60% de la producción industrial se generará en la ciudad capital de Guatemala, con un 70% de las plantas industriales que están asentadas en esa misma área. Lo que respecta a la actividad comercial interna, se estima que en esta área se desarrolla el 90% del total nacional.

Su actividad industrial se observa como la de mayor absorción de mano de obra y recursos financieros intensivos. Esto es característico de una metrópoli dependiente de insumos importados y no orientada al mercado interno de consumo popular. Durante el censo de poblacional de 1,994, se observó que la cantidad de habitantes asentados en el -AMG- es del 20% de la población Nacional. Se estima que para el 2010 haya alrededor de 6 millones de habitantes. Se estima que en el Área Metropolitana de Guatemala -AMG- está concentrada el 80% de bienes y servicios del total del país, La inversión privada, que es atraída por la infraestructura de apoyo realizada con la inversión pública se estima que en un 80% se destina al AMG.

Un 70% de la producción industrial se genera en el AMG, y del sector construcción, un 85%. Estos indicadores representan el mayor grado de absorción de mano de obra que hay en el país y que se estima en un 80% de la totalidad del país.

De este proceso, que se enfatiza la inmigración, surge la causa del incremento de la economía informal, la que en el AMG se concentro hasta en un 90%. La economía turística, como otro generador dinámico socioeconómico, también contribuye a la concentración de los servicios, ya que en el AMG se encuentra localizada el 34% de la infraestructura hotelera y 90% de los servicios de gestión administrativa y transporte. Entre los recursos humanos calificados (tomando como parámetro para la sustentación de ese calificativo, el que sea egresado de las universidades), que es el principal componente comprometido con el desarrollo socioeconómico del país, el 77% se encuentra concentrado en el AMG, Y el 23% restante está localizado en el interior del país. (Velásquez /Peláez, 1992).

1.2 Organización de los servicios de agua potable

A continuación se describe la organización nacional y local del servicio de agua potable en condiciones normales y de emergencia, así como la normativa y legislación vigentes a 2005.

1.2.1 Nivel nacional

I. Constitución legal

La EMPRESA MUNICIPAL DE AGUA DE LA CIUDAD DE GUATEMALA, nombre que puede abreviarse así –EMPAGUA-, fue creada con los fines que corresponden de la prestación y mantenimiento, mejoramiento y ampliación del servicio municipal de agua potable en las ciudades de Guatemala y en si el área de influencia urbana, en el municipio de Guatemala y según los convenios que se firmaren y aprobaren conforme a la ley en cualquier otro municipio. Las atribuciones para el debido cumplimiento de sus fines, queda a cargo de:

- Administrar y operar dicho servicio;
- Velar por la conservación, incremento y defensa de los recursos hidráulicos utilizados o utilizables para la prestación del servicio;
- Planificar, diseñar, financiar, construir y supervisar las obras necesarias;
- Conocer de todo estudio relacionado con el servicio y resolver acerca de las obras atinentes al mismo;
- Asesorar a las municipalidades en materia de su competencia;
- Coordinar sus programas y actividades con los programas y actividades de las dependencias municipales, cuando fuere necesario;

No existe ninguna ley que ayude a la atención ni prevención en el caso de desastres. (Constitución de la República de Guatemala y Código Municipal).

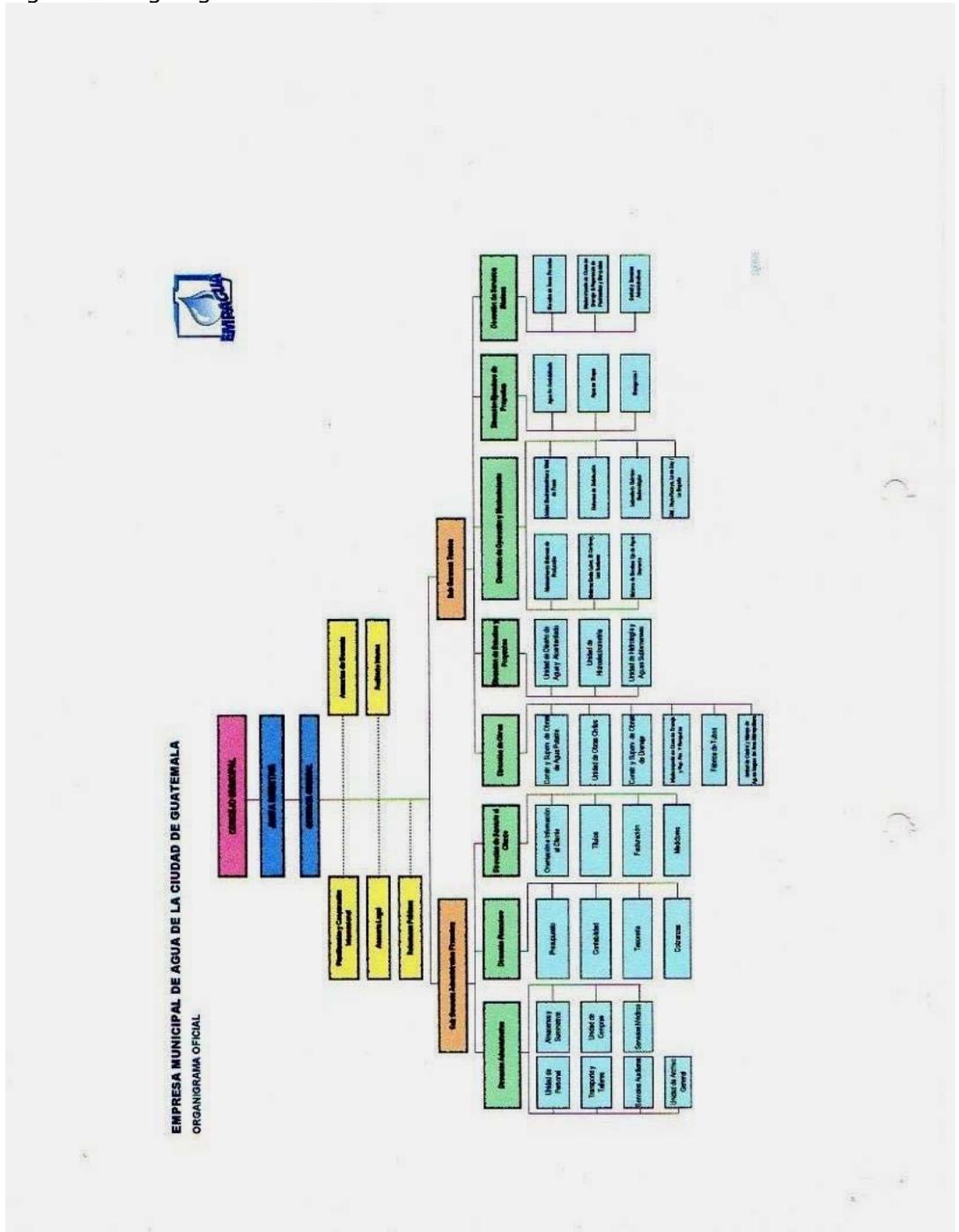
II. Cobertura

En el presente año 2009, EMPAGUA tiene bajo su jurisdicción directa la administración de alrededor de 198,000 conexiones de agua, y 7,000 servicios que únicamente utilizan el servicio de alcantarillado ya que disponen de sistema propio de abastecimiento, entre ellas están los servicios de la empresa de agua de Mariscal una empresa privada que presta este servicio. Aparte de Mariscal que es una empresa privada, también se organiza la administración directa por grupos de vecinos agrupados en juntas de administración de condominios etcétera, industrias, hoteles y edificios privados, entre otros. Estas organizaciones privadas que trabajan conjuntamente con EMPAGUA la mayoría adolece de recursos técnicos, físicos y financieros, por lo que en una emergencia, lejos de contar con su apoyo, hay que considerarlos demanda de recursos, ya que en caso de un desastre el recurso hídrico sería aportado por EMPAGUA si sus instalaciones estuvieran en ese momento en buen estado, ya que hay una capacidad de almacenamiento de 150,000 metros cúbicos (EMPAGUA, 2007).

III. Estructura Orgánica

En la Fig. 2. se presenta la estructura orgánica de EMPAGUA, vale la pena resaltar, que en el organigrama, que las regiones operativas dependen directamente de una dirección general de operación y mantenimiento de agua potable y ésta de la subgerencia técnica, lo que hace más fácil el planeamiento y control operacional de estas funciones.

Figura 2. Organigrama de EMPAGUA



Fuente: EMPAGUA

IV. Recursos humanos, financieros, materiales y equipos

i. Recursos humanos:

EMPAGUA dispone de 1450 empleados, los cuales en un 90% están capacitados técnicamente y que son permanentes los cuales son suficientes en una situación de emergencia a menos que la gravedad de la catástrofe sea sumamente destructiva y que se necesiten jornadas ininterrumpidas, ya que entonces se necesitaría reemplazo (EMPAGUA, 2007).

ii. Recursos financieros

La situación financiera de EMPAGUA a grandes rasgos es la siguiente:

En el año 2000 se realizó un incremento del 40% a la tarifa y en el año 2004 otro incremento del 60 % estos incrementos prácticamente han servido para cubrir el alza desmedida de la energía eléctrica y parcialmente el mantenimiento porque ha habido necesidad de recortar personal de mantenimiento (EMPAGUA, 2007).

iii. Recursos materiales

Se dispone de un almacén central en la zona 4 y de bodegas periféricas, las cuales siempre mantienen materiales, sin embargo, por la situación financiera de los últimos años, este inventario ha disminuido, anualmente en el presupuesto de egresos se planifican las compras. Por lo

que actualmente este problema podría ser muy importante a la hora de una emergencia (EMPAGUA, 2007).

vi. Equipos

EMPAGUA dispone de 25 camiones de volteo no recientes y cerca de 25 camiones de 3 toneladas de años recientes y de alrededor de 60 pick-ups y otros tipos de vehículos, además dispone de tres equipos especiales para destapar tuberías de drenajes y tragantes, 2 retroexcavadoras y 2 grúas para extraer equipos de bombeo de los pozos. No se cuenta con una disposición suficiente en bodegas de repuestos y equipos electromecánicos.

No cuenta con equipo de perforación de pozos profundos, ni camiones cisterna, ni tanques para poder instalarse en otros camiones, en general EMPAGUA en condiciones normales opera y mantiene en forma satisfactoria sus sistemas, y cuenta con los recursos básicos para atender una emergencia para un sistema de mediana complejidad y tamaño (EMPAGUA, 2007).

1.2.2 A nivel local organización y cobertura (conexiones y Lugares beneficiados)

La planta de tratamiento de agua "Santa Luisa" es un componente importante del acueducto general de la red de distribución de agua en la ciudad de Guatemala, por lo tanto la administración de ésta es responsabilidad de EMPAGUA.

Los recursos humanos y financieros si son suficientes para cubrir los gastos administrativos, operación y mantenimiento correctivo hasta cierto nivel, ya que los problemas han sido resueltos hasta hoy, pero no existe un programa de mantenimiento preventivo, lo que incrementa la vulnerabilidad del acueducto ante los desastres naturales.

Recursos materiales y equipo, el material que existe en Santa Luisa tiene tubería de H.F. de 16" para construcción de pozos que en el futuro alimentarán a la misma, aproximadamente hay en existencia material suficiente para instalación de 1 km. de línea de conducción. No existe tubería ni accesorios.

1.3 La organización del servicio de agua potable a nivel Nacional y local en situaciones de emergencia

1.3.1. A nivel nacional:

I. Comisión Nacional de Emergencias:

La Comisión Nacional de Emergencias estaría a cargo de CONRED y la organización administrativa de EMPAGUA, pero cada departamento de las áreas operativas y mantenimiento crean sus propias instrucciones de emergencia, tampoco existen documentos de guía si no mas bien son procedimientos aprendidos que se irían afinando en la carrera de la atención de emergencias.

En este caso, CONRED es la comisión designada a velar por la prevención de los desastres (Acuerdo Gubernativo 443-2000). El Presidente de la República considerando que el gobierno debe proteger la vida humana creó esta institución y dentro de sus atribuciones es velar por la prevención de los desastres y alertar a las instituciones gubernamentales o privadas a ejecutar las correcciones necesarias para evitar las peores consecuencias en situaciones de emergencia.

II. Organización responsable del planeamiento, dirección, control y coordinación de los programas y actividades de protección, salvamento y reconstrucción de las zonas de desastre, así declarados por Decreto del Poder Ejecutivo

Esta responsabilidad se le atribuye al departamento de Dirección de Obras y a la junta directiva de EMPAGUA sería la encargada de evaluar las propuestas de los programas y actividades de protección, salvamento, reconstrucción, y su aprobación, trabajos que serían atendidos conjuntamente con la gerencia general, quien sería la responsable de emitir órdenes de ejecución.

III. ¿En caso de un desastre como se manejarán los fondos, para brindar flexibilidad en el caso de las reconstrucciones, especialmente?

No existe ninguna normativa particular para emergencias ocasionadas por desastres, ni planes ni instructivos tanto a nivel nacional como local propiamente

de Santa Luisa, únicamente existe un manual de emergencias en caso de intoxicación por cloros.

Según la ley del acuerdo de la creación de EMPAGUA no existe tal normativa institucional, ni existen convenios con organizaciones para la atención de emergencias, ni tampoco para la movilización de los recursos humanos y materiales, se sabe que en caso de emergencias se tiene entendido que el manejo sería a cargo de la dirección de Operación y Mantenimiento, dirección que en caso de emergencia tendría prioridad en el presupuesto de EMPAGUA, quien encausaría los fondos necesarios para reparar los daños que existieran para normalizar el sistema de abastecimiento (EMPAGUA, 2001).

1.3.2 A nivel local

La Planta Santa Luisa cuenta con el apoyo de la Dirección de Obras y de la Dirección de Operación y Mantenimiento de EMPAGUA. No existen ni planes ni instructivos para la atención de emergencias.

2. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE AGUA POTABLE, "SANTA LUISA"

2.1 Introducción

La planta Santa Luisa fue construida en 1938, como parte del sistema de abastecimiento de la empresa municipal de agua -EMPAGUA-. Esta planta se ha ido construyendo en varias etapas, en función de las captaciones de agua. Primero fue diseñada para tratar 18,000 m³/día (Herrera, 2001).

En este mismo año de 1,938, se construyeron los tanques de almacenamiento, tratamiento y distribución de un sistema situado en el oeste de la ciudad de Guatemala, en terrenos de la aldea Acatán, en la zona postal número 16 y se le denominó Santa Luisa, con una capacidad de tratamiento de dieciocho millones de litros diarios. En 1958 la planta fue ampliada para tratar un total de 31,104 m³/día con un caudal 360 l/seg. Capacidad que a la fecha es la que tiene. (De acuerdo a declaraciones hechas por el superintendente de la planta en septiembre de 2,006).

En 1976 fue destruido por el terremoto uno de los sedimentadores que obligó a la planta a bajar nuevamente su producción a 18,000 m³/día, éste colapsó debido a las múltiples fisuras que ocasionaron fugas de agua. Por esta razón se hizo necesario el reacondicionamiento del sedimentador más antiguo, para tratar el caudal necesario, la rehabilitación del sedimentador destruido se realizó un año después. Debido a que

el servicio del usuario sería interrumpido cada vez que se realizaba limpieza del sedimentador surgió la necesidad de construir uno nuevo, en el año 1978 se construyó un depósito de sedimentación de tipo placa oscilante inclinada. (Martínez, 1982).

En 1979 se realizaron proyectos de reparación a los sedimentadores y sellado de fisuras existentes. El sistema de tratamiento de agua emplea un depósito de formación de flóculos de tipo circulante, un depósito de sedimentación por coágulos del tipo flujo lateral y un tanque de filtrado por presión.

La capacidad de procesamiento según especificaciones del diseño son 40,000 m³/día, de acuerdo con datos estadísticos hasta la fecha el volumen procesado es de 26,130 m³ / día, es decir un 65% del valor estimado (EMPAGUA, 1986-1993).

La planta ha venido sufriendo varios problemas en los últimos años por la falta de mantenimiento, lo que ha provocado serios deterioros de sus instalaciones, así como es el equipo mecánico y eléctrico. Debido a los años de uso, a las altas turbiedades en tiempo de invierno de las aguas a tratar y la falta de mantenimiento preventivo y correctivo se provocan problemas en los distintos procesos del tratamiento, disminuyendo la calidad y producción de agua.

Esto es un factor importante que afecta al proceso de producción de agua y por ende es causante de que la planta no funcione en su máxima capacidad.

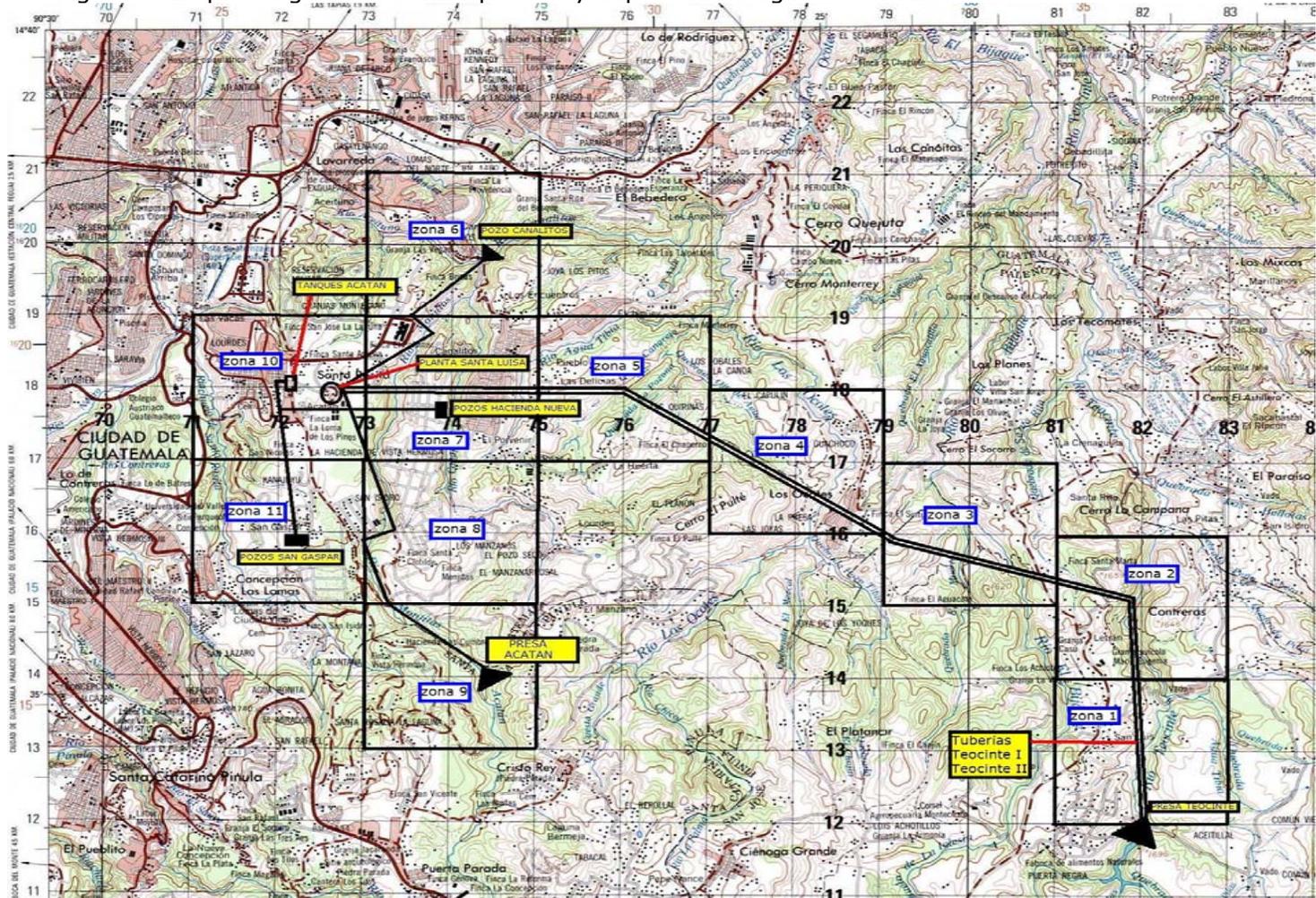
El gobierno japonés brindó su apoyo a EMPAGUA renovando su equipo mecánico y eléctrico, para la rehabilitación de dicha planta la cual inició en 1997 y terminó en 1998.

Para su funcionamiento el sistema Santa Luisa recurre a cinco componentes, los cuales son

1. Presa y embalse Teocinte
2. Presa Acatan
3. Pozo Canalitos
4. Tanques Lourdes
5. Pozos de emergencia

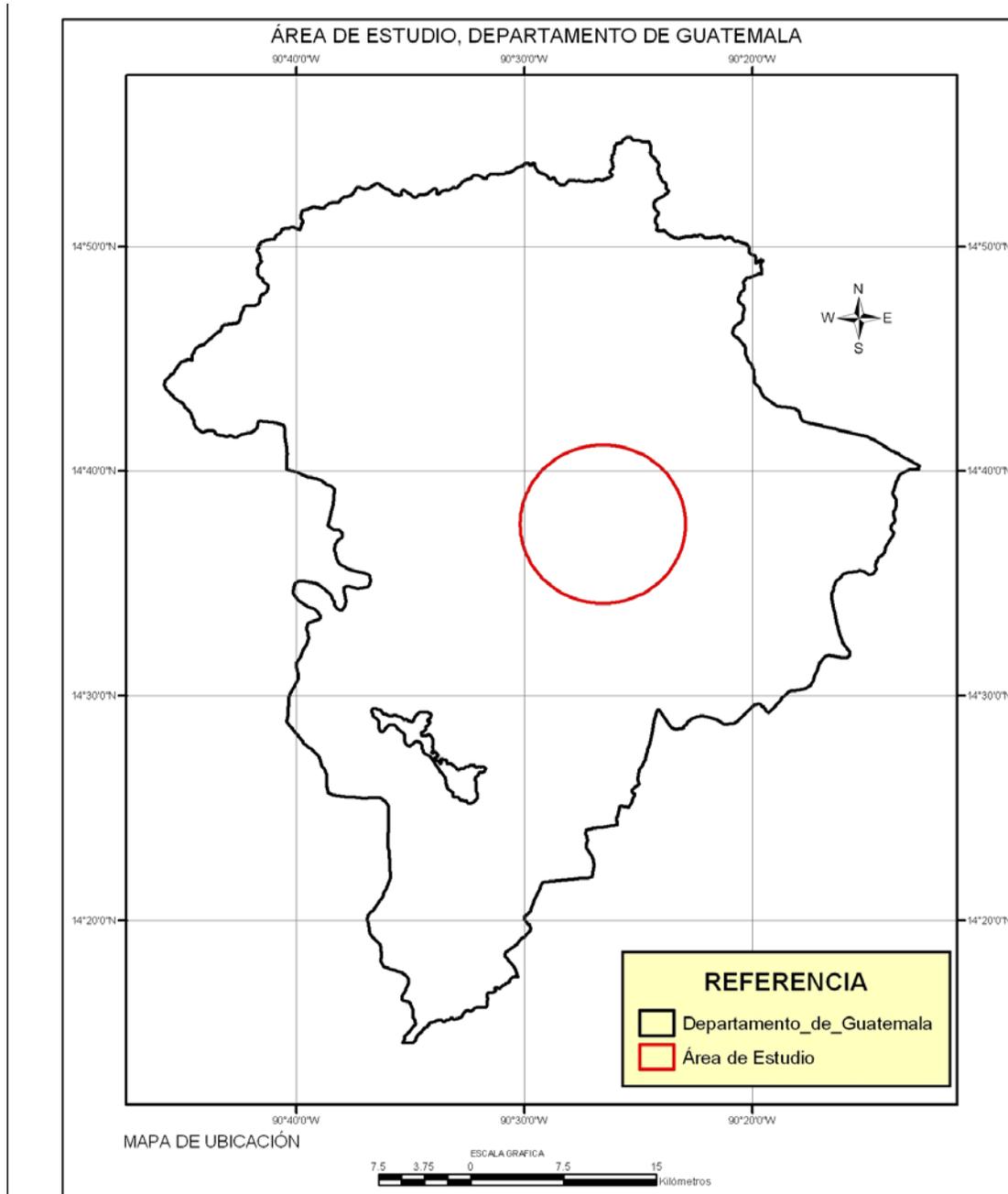
(Herrera, 2002) Ver Fig. 3. y Fig. 4.

Figura 3. Esquema general de la captación y depósitos de agua "Santa Luisa"



Fuente: IGN, Mapa escala 1:15,000

Figura 4. Mapa de localización de la captación y depósitos de agua

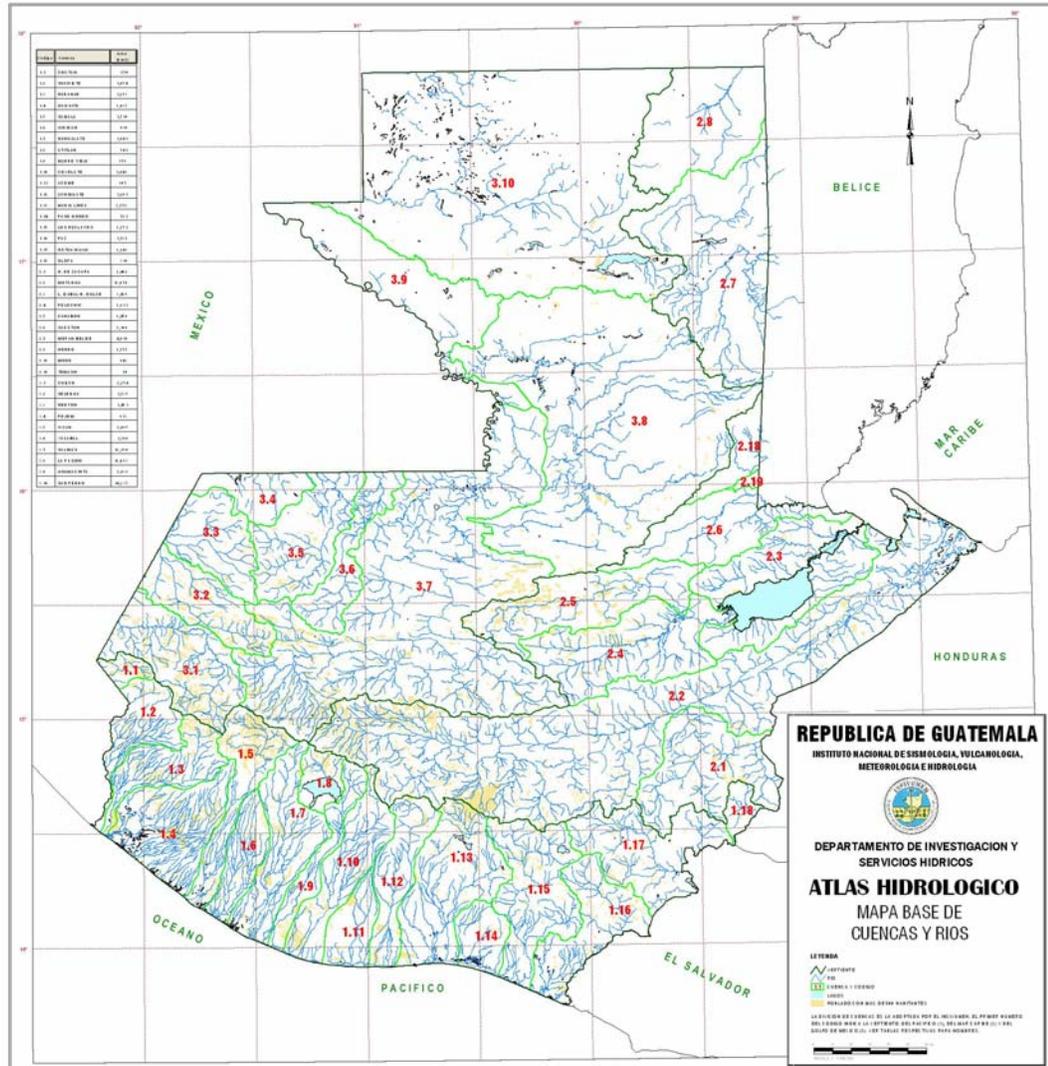


Fuente: IGN

2.1.1 Información de la cuenca Teocinte

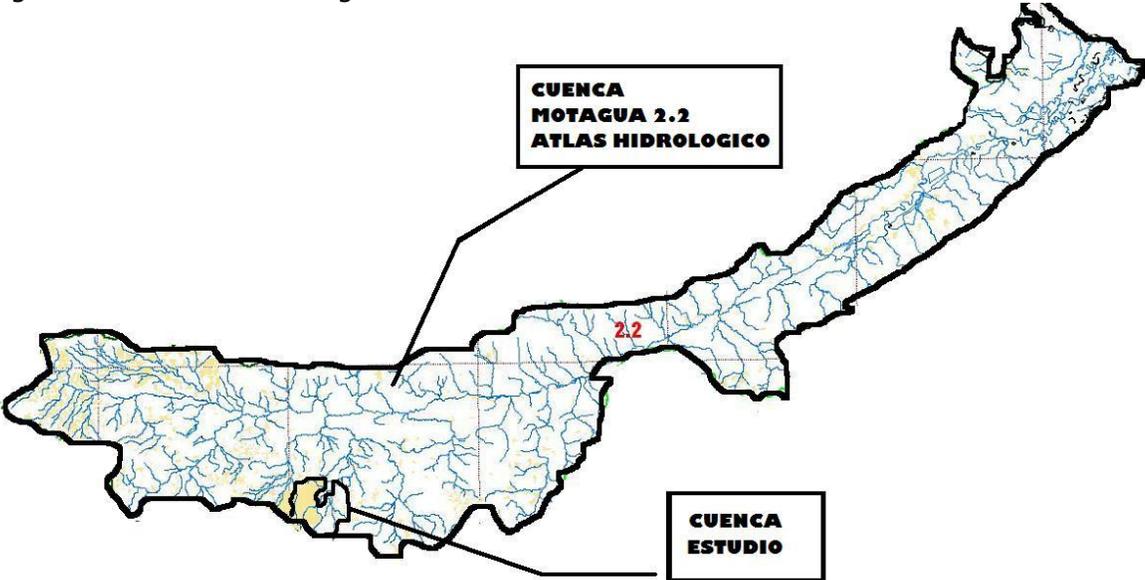
La microcuenca que alimenta al sistema Santa Luisa pertenece al sistema de cuenca del río Motagua. Para este estudio se tomará en cuenta únicamente una parte de la cuenca en mención, según el Atlas Hidrográfico (Fig. 5), corresponde al área resaltada (Fig. 5, Fig. 6., Fig. 7) de la cuenca del Motagua que está conformada por los ríos Teocinte, La Manguita, Agua Viva, La Piedrona, San José Pinula y San Antonio. Ésta se encuentra al este de la ciudad de Guatemala y se forma con bosques densos, en su mayoría de encino, ciprés y pino. El río teocinte se encuentra azolvado en un 80% y es el ramal principal de esta microcuenca. La geomorfología en su mayoría presenta pendientes no mayores de 25% (capítulo 5, matriz de vulnerabilidad física).

Figura 5. Mapa del atlas de cuencas de Guatemala



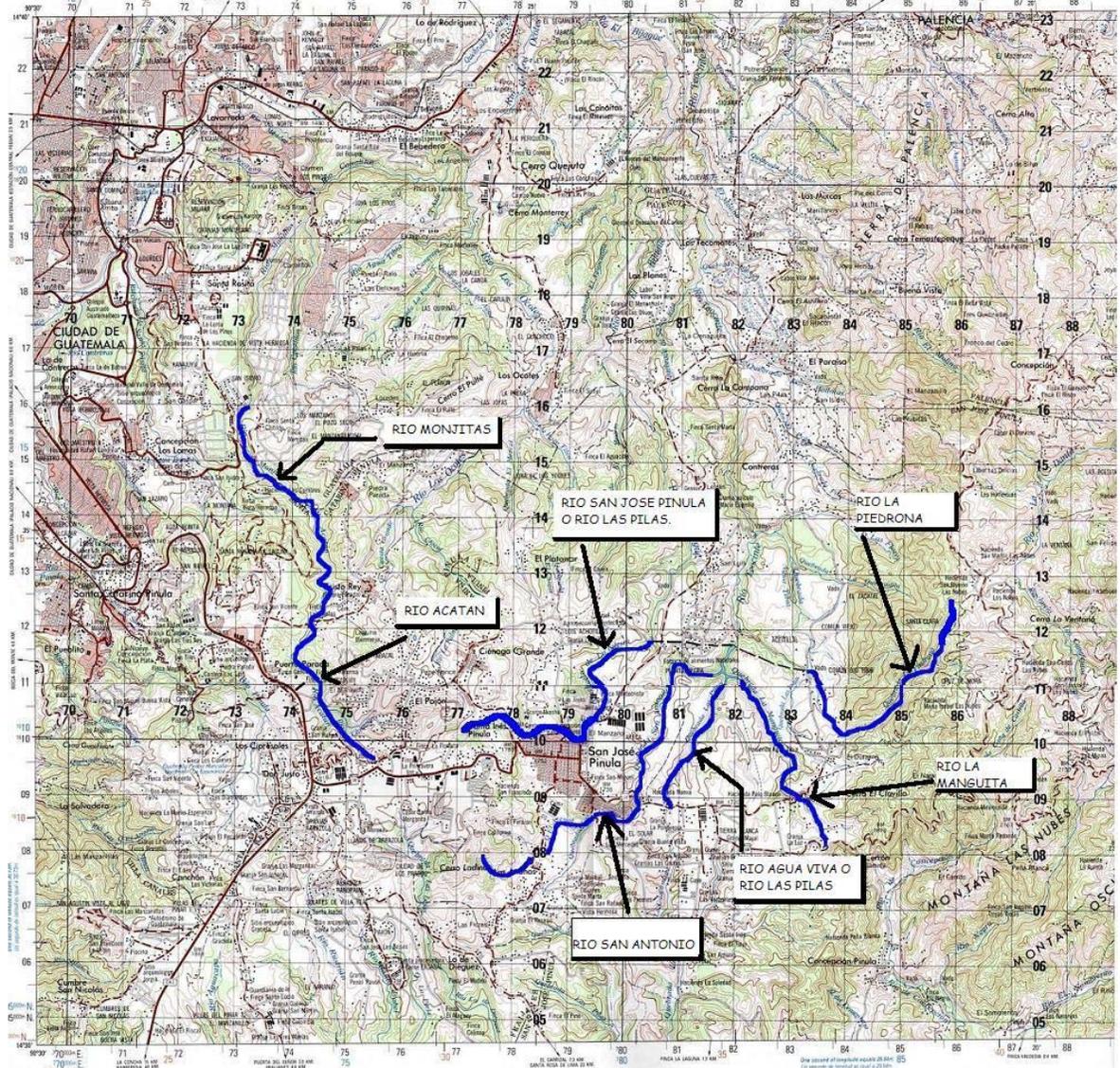
Fuente: Atlas Hidrológico de la República de Guatemala, INSIVUMEH.

Figura 6. Cuenca del Motagua



Fuente: Atlas Hidrológico de la República de Guatemala, INSIVUMEH

Figura 7. Ríos que alimentan el sistema Santa Luisa.



Fuente: IGN, Mapa 1:15,000

2.1.2 Descripción de los ramales que alimentan la microcuenca

I. Río la Manguita

Esta fuente superficial se origina en terrenos de la Hacienda Peña Blanca y Cerro El Calvillo en jurisdicción del municipio de San José Pinula en la aldea Concepción Pinula del departamento de Guatemala.

En el lecho de este río antes del embalse se construyó una pequeña presa derivadora y por medio de una tubería de concreto de aproximadamente dos kilómetros de longitud, el caudal de esta fuente es conducido hacia una caja reguladora de caudal y trasladado a un vertedero principal, ubicado al margen derecho del embalse, para ser derivado hacia la planta Santa Luisa, a través de 2 líneas paralelas de tubería de hierro fundido de 16 y 20 pulgadas de diámetro y una longitud de 7,100 metros, para cada una (ver Fig. 7.).

Es importante mencionar que el caudal en la época de verano es captado por la derivación en su totalidad, no así en época de invierno cuyo excedente se utiliza para el llenado del embalse y ser utilizado en los meses de verano posteriores. El caudal de esta fuente es de 10.4 litros por segundo. (Vásquez, 2004).

II. Río Agua Viva (Las Pilas)

También llamado río las pilas cuyos afluentes nacen en terrenos de la Hacienda Nueva y Hacienda Palo Blanco ambos terrenos en jurisdicción del municipio de San José Pinula y dentro de la joya hidrográfica del embalse. Cabe señalar que un noventa y cinco por ciento del caudal de esta fuente proviene de manantiales verticales ubicados dentro de lecho de esta fuente, que vierte su caudal directamente al embalse para su llenado y posterior derivación hacia la planta Santa Luisa. El caudal de dicha fuente es de 69.9 litros por segundo. (Vásquez, 2004) ver Fig. 7.

III. Río La Piedrona

Los afluentes que conforman el río La Piedrona nacen en terrenos de la Hacienda Maria Isabel las Nubes, Hacienda San Carlos las Nubes y la Hacienda San Ramón Las Nubes en jurisdicción del municipio de San José Pinula del departamento de Guatemala, fuente que es desviada hacia el embalse Teocinte mediante un túnel de aproximadamente de un kilómetro de longitud y junto con las fuentes anteriores es trasladada hacia la planta Santa Luisa. El Caudal de esta fuente es de 10.00 litros por segundo. (Vásquez, 2004) ver Fig. 7.

IV. Río San José Pinula

Esta fuente, más conocida como riachuelo La Iglesia, antiguamente era captado por medio de una presa derivadora

llamada presa "la negra" y a través de un túnel que era utilizado como tubo de desviación (bypass), este caudal se trasladaba para el llenado del embalse Teocinte, pero a finales de la década de los años ochenta fue utilizado por la municipalidad del municipio de San José Pinula para verter en dicho lecho las aguas residuales e industriales provenientes de casi cincuenta por ciento de la población de dicha población, obligando a la empresa municipal de agua suspender dicha derivación para evitar la contaminación del embalse y de esta manera pierde el uso de esta fuente superficial. El caudal de esta fuente es de 78 litros por segundo. (Vásquez, 2004) ver Fig. 7.

V. Río San Antonio

Los afluentes de este río nacen en los alrededores del caserío Las Flores y cerro Ladino, ambos situados en jurisdicción de la aldea las Anonas del municipio de San José Pinula. A mediados de la década de los años noventa fue desviada por la empresa municipal de agua a través de una tubería de concreto de aproximadamente dos kilómetros de longitud, que descarga en el talud aguas abajo de la presa Teocinte.

El río San Antonio, que alimenta al río Teocinte, por haber sido utilizado por algunas colonias residenciales, como la de Monte Cristo y asentamientos, para la descarga de sus aguas negras, se ha convertido en caudal de aguas negras, por lo que se ha separado del río teocinte debido a su alta contaminación. De este río podría aprovecharse su caudal haciendo al menos un

tratamiento primario a las aguas, ya que es responsabilidad de cada municipalidad devolver los recursos naturales utilizados a la naturaleza tal y como fue recibida.

También dentro de la finca Agua Tibia, existe un riachuelo sin nombre que desemboca en el río del Teocinte, 100 m aguas abajo de la presa, que podría aprovecharse. El caudal de dicha fuente es de 40.3 litros por segundo.

Es importante mencionar que dentro de la joya hidrográfica del embalse Teocinte a pesar del movimiento de tierras realizado en distintos lugares dentro de la misma, el bosque permanece en un 70 por ciento del área y el agua aquí embalsada presenta límites aceptables de calidad que permiten la vida de algunas especies de peces y otros animales acuáticos que atraen la práctica de la pesca para algunos lugareños de las aldeas circunvecinas. (Vásquez, 2003) ver Fig. 7.

2.1.3 Presa y embalse Teocinte

En la parte noroeste del municipio de San José Pinula, en el año de 1,938 se construyó una presa del tipo de gravedad de mampostería y concreto, cuyas dimensiones originales eran de 27 metros de altura y 75 metros de ancho, cuya cuenca hidrográfica es de 35.44 kilómetros cuadrados, que representa para el embalse una capacidad de 417,000 metros cúbicos de agua y se encuentra situada a una elevación de 1,609.0 metros sobre el nivel del mar. Esta presa se encuentra dentro de la finca Agua Tibia (Herrera,

2001), ver Fig. 9. y Fig. 13. En 1952 se hace una ampliación para tratar más caudal. Es importante mencionar que desde su construcción la erosión constante proveniente de las laderas del embalse en las épocas de invierno el vaso de la presa empezó a sufrir de acumulación de lodos, lo que se acrecentó con el movimiento de tierras realizado en diferentes áreas dentro de la joya hidrográfica por la urbanización de colonias residenciales y de campos deportivos, estos lodos superan actualmente los 14 metros de altura y por ende la capacidad del embalse ha disminuido considerablemente La presa se encuentra ubicada al este de Santa Luisa y permanece azolvada casi en un 80%. (Herrera, 2001)

Las fuentes superficiales que actualmente aportan caudal al embalse para ser utilizado por medio de bombeo en la época de verano son el río Agua Tibia, La Manguita, La Piedrona y Las Pilas.

Las aguas de San Antonio están actualmente altamente contaminadas por lo que el caudal de éste no aporta al caudal del embalse de la presa, sino que es desviado aguas abajo de la presa por medio de tuberías.

I. Caudales actuales

TEOCINTE I: 18" H.F. Gravedad 120 l/seg. (Aprox. 14 km. Longitud)

TEOCINTE II: 20" H.F. Gravedad 140 l/seg. (Aprox. 14 km. Longitud), (Fig. 9, 10, 11, 12)

El agua del embalse del Teocinte viaja desde la presa hasta la Planta Santa Luisa en tubería Hierro fundido (H.F.). La tubería de conducción de la presa se encuentra en buen estado sin corrosión y con pintura anticorrosiva. Esta posee una válvula de compuerta en cada tubo de 18" y 20" que están parcialmente abiertas debido a la poca cantidad de agua que aporta la presa como consecuencia del asolvamiento que ésta sufre.

Según información dada por los empleados de planta en la presa y embalse Teocinte, se hicieron trabajos para dragar el material azolvado, se construyó un acceso paralelo al cauce de la las aguas de la cuenca, pero según informes verbales, la empresa contratada para este trabajo extrajo 24,000 m³ de material azolvado, pero relleno 21,000 m³ para construir plataformas para que trabajara la excavadora.

La presa cuenta con un sistema de drenaje para dragado de los materiales de asolvamiento, el que por falta de mantenimiento se encuentra tapado y cada vez empeora con el tiempo.

Las líneas de conducción están alimentadas por los caudales producidos por los ríos La Piedrona y La Manguita se conectan a un canal desarenador construido de mampostería (ladrillos) y concreto, éste se conecta hacia el tubo de 18" directamente, que desemboca en la planta purificadora Santa Luisa. Las líneas de conducción pasan por la falla de Santa Catarina, se puede ubicar en la cuadrícula del mapa geodésico 1:15,000 (Fig. 3.) en la cuadrícula entre los límites de longitud 17 y 18 y entre los límites de latitud 73 y 74.

La presa cuenta con dos bombas de oxigenación de las aguas para ayudar a la purificación de ésta. Una bomba tipo Búster (para impulsión) marca Cornell Pomp Co., Modelo: 6RB – F18, de 150 HP de fuerza, BM: SBE485A-A00, que tiene el objetivo de aumentar el caudal desde la presa hasta la planta Santa Luisa, con el fin de incrementar la producción.

Debido a la disminución del aporte de la presa, la bomba ha estado sin uso desde aproximadamente 3 años. La tubería de conducción está construida de hierro fundido, con un espesor de 1.3 cm. y de 18" y 20" de diámetro nominal respectivamente, estos tubos son unidades de 5 m de largo. Es importante señalar que ambas tuberías Teocinte I y II salen de la presa en válvulas de compuertas de 18", pero en una de las líneas se ensancha hasta las 20".

II. Acceso

El acceso a la presa Teocinte es a través de la carretera que va hacia Palencia al final del poblado de San José Pinula, el trayecto es de 3 Km. de carretera asfaltada, que bifurca hacia un acceso de terracería, que cruza el caserío de San Luís. Es recomendable transportarse en vehículo de doble tracción, principalmente en temporada de invierno. Ver Fig. 8.

Figura 8. Acceso a presa Teocinte



Fuente: Google Earth

III. Comunicación

La comunicación es por medio de radio, y celular de tipo personal de los empleados de la planta, pués la señal telefónica es muy mala.



Comunicación radial

IV. Energía

La energía eléctrica es proporcionada por la Empresa Eléctrica de Guatemala, ésta es usada para iluminación y por el equipo de bombeo, la cual no está en uso desde hace unos tres años, existe una planta de emergencia pero solo para iluminación, ya que no es suficiente para generar energía para la bomba.

V. Mantenimiento

El trabajo de mantenimiento se realiza con 3 personas, quienes tienen la atribución de limpieza, destape de las tuberías, supervisar que las tomas de las aguas de los ríos que alimentan al Teocinte estén limpias y supervisión de que las aguas de los riachuelos no se encuentren altamente contaminadas.

VI. Personal de operación

Éstos se componen de 3 equipos de 3 personas, que trabajan en turnos de 24 X 48, lo que significa que por cada 24 horas trabajadas corridas descansan 48 horas. Este grupo se compone de un Jefe de Turno y dos Guardabosques, éstos se encargan de la operación de las válvulas, bombas y los guardabosques supervisan el trabajo del personal de mantenimiento y también contribuyen en la realización de los trabajos de mantenimiento, el grado de escolaridad del personal es de nivel medio, lo cual es suficiente para el trabajo que

desempeñan y no sería un factor que afecte a la vulnerabilidad.

VII. Manual de operación y mantenimiento

No tienen ninguno.

Figura 9. Embalse Teocinte



Figura 10. Compuertas Teocinte I y II



Figura 11. Tubería Teocinte II a Santa Luisa



Figura 12. Río Teocinte Vista desde la Presa



2.1.4. Presa Acatán

En el año de 1,897 se construye una pequeña presa derivadora de caudal sobre el lecho del río Acatán que tiene ocho metros de ancho por diez metros de alto, de mampostería, capta el caudal proveniente de esta fuente y a través de un

vertedero de setenta y dos centímetros de ancho deriva dicho caudal a una línea de aproximadamente siete kilómetros (7 Km.) de largo, con tramos de concreto de 16 pulgadas de diámetro y algunos otros tramos de hierro fundido de 12 y 24 pulgadas y pvc de 16" de diámetro, todo por gravedad. Tiene un aporte de 50.64 l/seg. en verano y 61.79 l/seg. en invierno. (Ver Fig. 3 y Fig. 13)

La hoya hidrográfica de esta presa sobre el río Acatán es de 10 kilómetros cuadrados y su elevación es de 1,667 metros promedio sobre el nivel del mar (Vásquez, 2004).

2.1.5 Fuentes de la presa Acatán

I. Vertientes de Acatán

Después del sitio de la presa Acatán directamente a la línea de conducción se une una tubería de seis pulgadas de diámetro, proveniente de una fuente que se conoce con el nombre de las vertientes de Acatán, que son una serie de manantiales, diez en total, de brotes definidos, con sus respectivas cajas de recolección y sus salidas de tubería de diámetros que oscilan entre una y dos pulgadas de diámetro. Todos estos manantiales provenientes de una caja unificadora de caudal, denominada los Ocales, se encuentran situados en las márgenes del río Candeleros o Candelas.

Es importante mencionar que el caudal que se extrae de los manantiales denominados las vertientes de Acatán (riachuelos que se unen) no se pudo establecer porque tanto la línea principal como las secundarias son conductos cerrados.

Hay que señalar que en el lugar donde se encuentran estos manantiales se presenta deforestación, que se debe al uso del área para sembradillos que realizan arrendatarios o dueños de terrenos que comprenden la zona. (Vásquez, 2004). El caudal del río Candelas es de 4.3 litros por segundo. (Figura 2.7)

Figura 13. Presa Acatán



Figura 14. Vertientes o Riachuelos de Acatán



II. Río Acatán

Como se describió anteriormente el río Acatan nace en terrenos de la Labor San Jorge, de la aldea el Manzano, en jurisdicción del municipio de Santa Catarina Pinula y está formado por el río Candelas o Chiquito y río Acatán propiamente dicho y es captado en la presa y luego su caudal es conducido por gravedad hacia la planta Santa Luisa, el río Acatán es parte de la microcuenca No.6 de la cuenca el Motagua.

Se debe señalar que en la mayor parte de su recorrido ambos márgenes del río Acatan han sufrido bastante deforestación por la tala inmoderada de árboles de todo tipo para la urbanización de colonias residenciales e instalaciones de fabricas e industrias de diversa índole.

El caudal de esta fuente es de 15.2 litros por segundo (Vásquez, 2004).

2.1.6 Pozo Canalitos

En la actualidad bombea el agua proveniente del pozo perforado dentro de las instalaciones de la presa.

Es importante mencionar que en los primeros años de la década de los noventa los afluentes del río Canalitos se utilizaron de una manera descontrolada para la descarga de

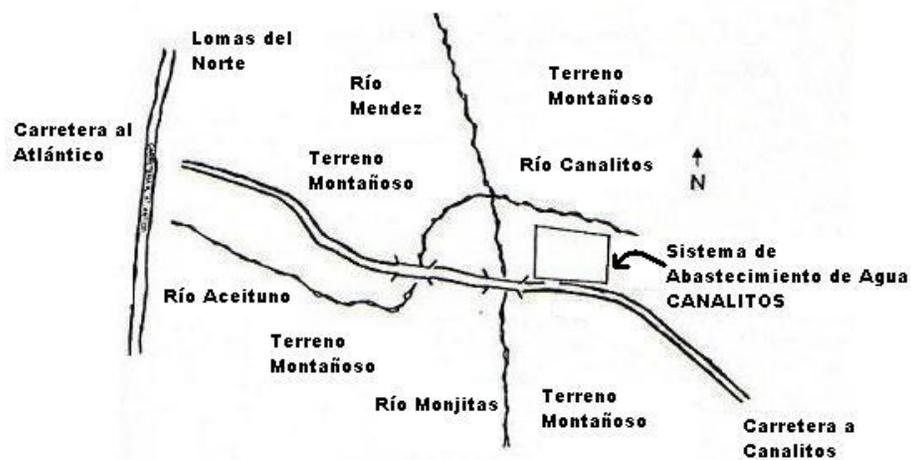
aguas domésticas y residuales de fabricas e industrias de todo tipo, que le dieron un olor y color a dicha agua, lo que provocó que la empresa ya no la captara y por ende se suspendió el bombeo hacia dicha planta.

Este pozo fue perforado en 1995, el agua que produce el pozo pasa por un desarenador y después es almacenada en un depósito de succión, por último es bombeada a través de la línea de conducción hasta la planta de tratamiento Santa Luisa ver Fig. 15 y Fig. 16 (Herrera, 2002).

I. Ubicación

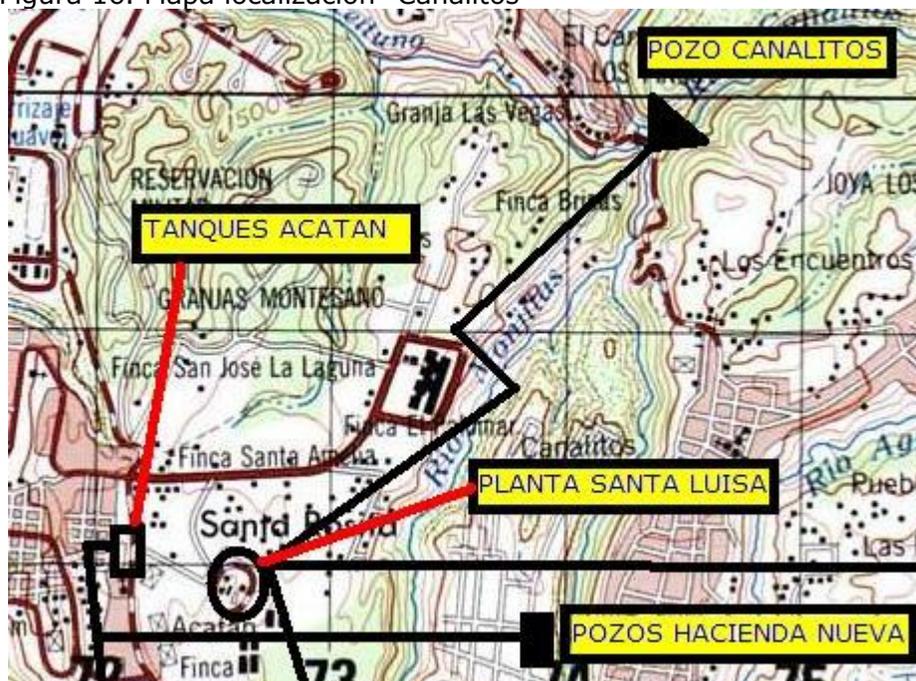
El sistema de abastecimiento denominado "Canalitos", se encuentra situado en la parte Norte de la ciudad de Guatemala, a dos kilómetros con cuatrocientos metros con dirección de la carretera pavimentada que conduce a la aldea Canalitos, la cual se desprende de la CA-9 (carretera a El Atlántico), a la altura de Lomas del Norte, a cinco kilómetros del parque central de la ciudad Guatemala. Sus coordenadas geográficas son $90^{\circ} 27.4'$ de longitud Oeste y $14^{\circ} 38.4'$ de latitud Norte. Fig. 16 (Herrera, 2002)

Figura 15. Mapa de ubicación "Canalitos"



Fuente: Herrera, 2002

Figura 16. Mapa localización "Canalitos"



Fuente: Herrera, 2002.

II. Características del lugar

El terreno en donde se encuentra es plano y está rodeado de pendientes montañosas. Por el terreno pasa el río Canalitos, el cual está formado por la unión unos metros antes, de tres ríos, los cuales son el río Monjitas, Aceituno y Méndez (mejor conocido como INCASA).

Características de los suelos, desde la planta hasta la línea de conducción:

Según estudios realizados por lotificaciones circundantes (Herrera, 2002) y taludes observados en los alrededores, el tipo de suelo es un material no cohesivo (material selecto). En el entronque de los ríos se extrae arena.

En lo que se refiere a la línea de conducción, se observó que en todo su trayecto, la línea está enterrada, a excepción de los primeros metros que tiene un paso aéreo ubicado aproximadamente en el 0+550 km desde el pozo Canalitos hacia Santa Luisa; este paso atraviesa el cauce del río Monjitas. La línea de conducción atraviesa la finca Brisas y la finca Santa Amelia, hasta llegar a la planta Santa Luisa ubicada a 1,545 msnm. Ver Fig. 17 (Herrera, 2002).

Figura 17. Paso aéreo km 0+550 hacia Santa Luisa, conducción Canalitos



III. Características del pozo

El pozo tiene una profundidad de 1,380 pies, su diámetro es de 12 pulgadas, el nivel estático está a 45 pies y el dinámico a 69.3 pies. EL caudal que produce este pozo es de 26.3 litros/seg.

El agua tiene una calidad microbiológica buena, debido a la purificación natural mediante el percolado y almacenamiento prolongado, el agua requiere un tratamiento mínimo de desinfección antes de su uso. (Herrera, 2002)

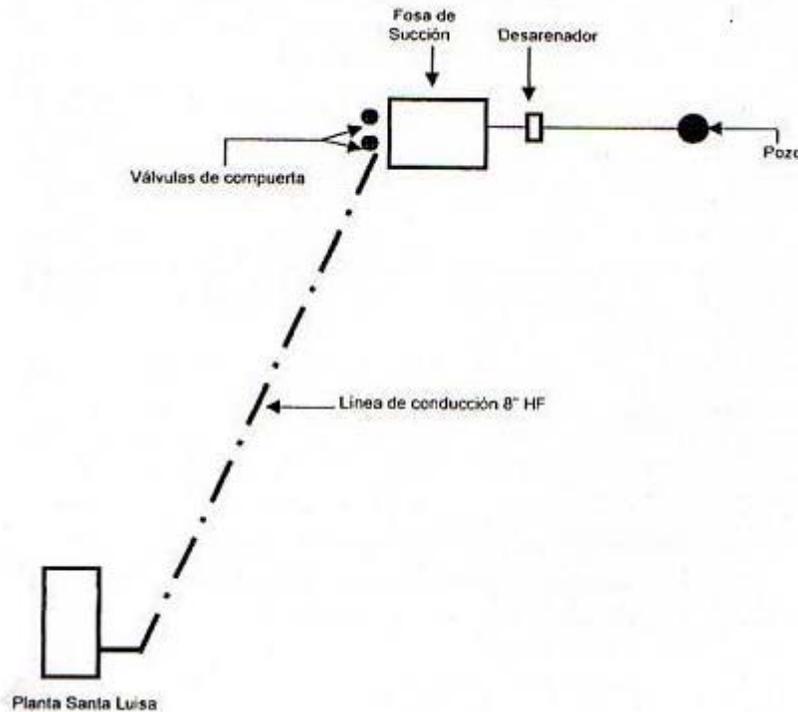
IV. Normas y estándares

Los estándares de los componentes del sistema de abastecimiento de agua potable Canalitos, son importantes para establecer la calidad de materiales que fueron utilizados en su construcción; este sistema fue construido en 1957, bajo las normas establecidas por la Municipalidad de Guatemala. (Normas de construcción, Municipalidad de Guatemala, 1952). La calidad del agua se basa en la norma COGUANOR NGO 29001, aprobada según decreto 1523 del congreso de la Republica de Guatemala en el año de 1999. (Herrera, 2002)

V. Componentes del sistema

El sistema de abastecimiento consta de 4 componentes: el pozo electromecánico, el desarenador, el depósito de succión y la línea de conducción (Fig. 18). El pozo se conecta al desarenador por medio de un tubo de PVC de 6" y éste a la fosa de succión por medio de un tubo de 6" de PVC. Finalmente el agua sale a través de 2 válvulas de compuerta que se conectan al tubo que es de 8", de hierro fundido, que va hacia Santa Luisa.

Figura 18. Sistema pozo Canalitos



Fuente: Herrera, 2002

El caudal que llega a la planta proveniente del pozo es de 26.3 litros por segundo, encausado por una tubería de HF. de 8", de 2.6 Km.

Este sistema se encuentra a una elevación de 1,375.86 msnm, en jurisdicción del municipio de Canalitos del departamento de Guatemala.

2.1.7 Pozo dentro de las instalaciones de la planta Santa Luisa

Existe un pozo construido y que está en funcionamiento dentro del perímetro de la Planta Santa Luisa, que descarga

seguidamente de los sedimentadores, dando un caudal aproximado de 9.0 l/seg. (Ver Fig. 19).

2.1.8 Pozos emergencia 1

Se está construyendo un nuevo pozo en las instalaciones de la planta por parte del proyecto Emergencia 1.

Estos pozos se encuentran ubicados dentro del perímetro de la planta Santa Luisa, en Hacienda Real y San Gaspar jurisdicción de la zona 16, de la ciudad capital. Estos pozos de emergencia 1, es un sistema de pozos en toda la periferia de la ciudad de Guatemala que alimentan los caudales del servicio de distribución de agua por medio de tubería H.F. de 18" de diámetro y refuerzan el sistema de Santa Luisa proveyendo un caudal total de 200 litros/seg. Los pozos que son parte de Emergencia 1, y que alimentan el caudal de Santa Luisa son:

I. En Hacienda Nueva

C-10, C-9, C-8, C-7, C-6 (ver Fig. 3, localización general de la batería de pozos, en área sombreada).

II. En San Gaspar

H-1, H-2, H-3, H-7, IPM (ver Fig. 3, localización general de la batería de pozos, en área sombreada).

III. Pozo dentro de instalaciones Santa Luisa

Pozo Santa Luisa. (Fig. 19).

Figura 19. Ubicación del Pozo Santa Luisa



Fuente: ERIS, 2003

La producción de agua de estos pozos es bombeada hacia una planta de purificación que reúne las aguas de todos los pozos que se encuentran en la Hacienda Real y de aquí, estas aguas son entubadas en tubos de 18" de H.F. y bombeadas a los taques de distribución de Acatán. Los únicos pozos que operan de manera independiente son el H-1, y el Pozo Santa Luisa.

El bombeo se realiza por medio de 2 bombas tipo Búster de Rebombeo, marca: US Electrical Motors, de 75 H.P., y 1785 rpm. aunque en esta planta existen tres bombas, se encuentra una suspendida ya que sirve para casos de emergencia.

IV. Comunicación

La comunicación la realizan por medio de radios.

V. Acceso

El Acceso es por la carretera que va desde Acatán zona 16 a San José Pinula, luego sobre esa misma carretera a 3 kilómetros de Acatán, se desvía hacia Puerta de Hierro, 2 kilómetros adelante se encuentra Hacienda Real. Dentro de la colonia se encuentra la batería de pozos que son parte del proyecto Emergencia 1 y que alimentan Santa Luisa.

VI. Calidad del agua

No existe ningún informe sobre la calidad del agua, que es extraída por estos pozos, pero ésta al pasar por el tratamiento de clorificación en el tanque de nivelación en la Planta de Hacienda Real queda suficientemente limpia para agregarla al caudal de distribución que viene a reforzar el caudal producido por la planta Santa Luisa.

2.2. Geología donde pasa el sistema Santa Luisa

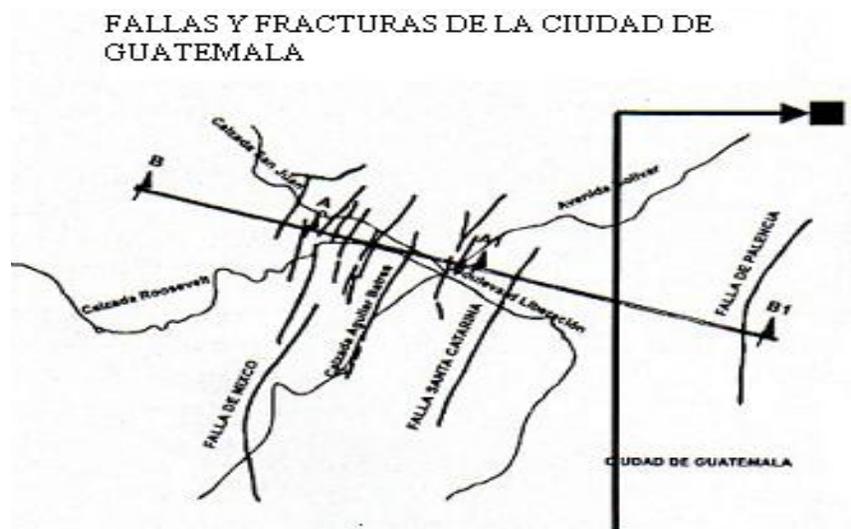
La geología del lugar muestra que el sistema de abastecimiento de agua Santa Luisa, se encuentra localizado entre las fallas de Mixco y la de Santa Catarina, de hecho pasa sobre la falla de Santa Catarina como muestra la fig. 20. Las fallas antes indicadas, actualmente son activas, aunque Santa Catarina no se activó durante el terremoto del año 1976, fueron activadas una serie de fallas secundarias en la zona occidental del valle de Guatemala como las que comprenden la falla de Mixco.

Sin embargo, no se sabe porque ésta no fue activada, pero sería un error concluir que puesto que no fue activada no sería activada en un evento futuro (Colegio de Ingenieros, 1996). Para efectos de espectro de diseño, se determina que el área de estudio (ver figs. 3 y 43) se conforma de suelo tipo B, C y E de la clasificación AGIES, generalmente los suelos se encuentran parcialmente rellenos de cenizas volcánicas, y arenas

volcánicas. En el 80% del área se encuentra suelos de arcillas firmes, que forman un suelo accidentado con pendientes en su mayoría no mayores a 25%.

El suelo no presenta en el 90% del área amenaza de licuefacción, por ser suelos bien consolidados y con alta capacidad de drenaje, exceptuando las zonas de delta de ríos y zonas fluviales (ver fig. 45). El graben rocoso e irregular, que forma parte de la geología del resto del área, se encuentra a menos de los 50 m de profundidad. Este graben rocoso permite la mejor estabilidad de los suelos ya que absorbe la energía sísmica sin que éste se deforme. Las pendientes mayores del 25% agravan la amenaza por deformación permanente, lo que provoca rupturas considerables en las tuberías, en sitios donde las tuberías están enterradas a bajas profundidades o que se encuentren expuestas en la superficie del suelo. Los suelos B y C permiten firmeza y estabilidad, en caso de sismo poco se deforman, (ver también tabla XI). El suelo E es inestable, poco consolidado, formado por arenas y limos sueltos que no presentan resistencia al movimiento sísmico, por lo que se deforma permanentemente y provoca serios daños a las estructuras que se construyen sobre él.

Figura 20. Mapa de fallas y fracturas



Fuente: UNICEF/ASDI, 1996

2.3. Producción y tratamiento

2.3.1. Las tomas

Presas Teocinte, presa Acatán, pozo Canalitos y pozos de Emergencia 1 (descritos anteriormente).

I. Línea de conducción

Se conforma de 2 líneas de tubo de Hierro Fundido, las cuales se les denomina TEOCINTE I: 18" HF. por gravedad, con un caudal de 120 l/seg., y TEOCINTE II: 20" HF. por gravedad, con caudal de 140 l/seg., instaladas desde el año 1,938. La tubería es de tipo Pont a Musson (marca francesa). No se tiene información técnica de la tubería. Ambas tuberías tienen una longitud de 14 kilómetros.

Tienen algunos pasamuros que son aproximadamente 55, a todo lo largo de los 14 kilómetros de tubería y no tiene uniones flexibles a la salida de la presa ni en la entrada a la planta de tratamiento, lo que implica cambios severos de rigideces que se tornan en eventuales puntos de falla en presencia de un sismo.

El 75% de Los suelos en que se ubica esta tubería son arcillosos, y con pendientes no mayores del 25%. Las tuberías se encuentran expuestas en un 90% de su longitud.

Las tuberías se encuentran protegidas para el golpe de ariete, por medio de válvulas. La tubería se encuentra en buen estado, se le ha dado mantenimiento bastante bueno, incluso no se han hecho cambios considerables a la tubería por su buen estado y mantenimiento. Pero esto ha cambiado actualmente porque no hay una verificación preventiva a menudo y comienza a agravarse la vulnerabilidad.

II. Planta de tratamiento

La planta potabilizadora Santa Luisa es propiedad de la Empresa Municipal de Agua de la ciudad de Guatemala (EMPAGUA).

La planta de Santa Luisa en el año 2001, según informe de Labores de Producción de EMPAGUA, generó un caudal de 730,202 m³ / mes.

Se realizó en el año 2001 una remodelación hecha por el gobierno Japonés, a través de JICA, ésta consistió de un sistema de filtros, cuarto eléctrico para la operación de los filtros, cuarto químico (con instalación de bomba para aluminio y cal), cuarto de bombas y rehabilitación del tanque de sedimentación laminar, además de otras obras de ornato, señalización y limpieza. La planta Santa Luisa es la segunda planta de tratamiento después de la de Lo de Coy que tiene una

producción promedio de 3,200,000 m³ /mes. (JICA, 2003). Según los datos proporcionados por el Superintendente de la planta, el Sr. Gustavo Flores Arango, tiene una capacidad máxima de caudal de 360 l/seg., y actualmente trabaja solo hasta 240 l/seg.

III. Acceso

La calzada la Paz es una vía de acceso a la planta Santa Luisa, ingresando a la derecha (en dirección a la carretera al Atlántico) a altura del colegio Austriaco-Viena. Esta vía comunica con el bulevar Vista Hermosa de la zona 15. Hay otro acceso por la zona 5, tomando la 27 calle que conecta a la calzada la paz, las vías son de asfalto. (Ver fig. 1.)

IV. Comunicación

Se cuenta con un sistema de radio (comunicación con las presas y algunos empleados del sistema Santa Luisa) y celulares de propiedad particular de los empleados de la planta, además cuenta con una línea telefónica de TELGUA.

V. Energía

Le empresa eléctrica de Guatemala abastece de energía eléctrica al Sistema Santa Luisa. El sistema no cuenta con planta generadora de energía propia.

VI. Operación de la Planta

La planta cuenta con 6 operadores de la planta desde el ingreso hasta la distribución que trabajan de forma 24 horas x 48 horas, esto quiere decir que se conforman 3 equipos de 2 personas, trabajando 24 horas continuas y descansan 48 horas. El personal que opera las presas trabajan con el sistema similar. El sistema no cuenta con manuales de operación y mucho menos con manuales de emergencia. El principal problema de la planta Santa Luisa es que el equipo donado por Japón no tiene manual de instalación ni de operación y se tienen problemas con algunas partes como: los paneles de control de cloración de las instalaciones, que se desconoce la estructura interna y el modo de darles mantenimiento, por lo que se está procediendo a hacerle el mantenimiento de forma rudimentaria y los accesorios no se encuentran en el mercado guatemalteco por lo que se ha procedido a la búsqueda de repuestos que se puedan adaptar.

2.3.2 Elementos que conforman la planta de purificación

Estos elementos se describen a continuación:

I. Vertederos de entrada

La planta se abastece de las fuentes ya descritas anteriormente, Canalitos, Teocinte I, Teocinte II y Acatán. (Fig. 21)

Figura 21. Ingreso tuberías de conducción a la Santa Luisa, de izquierda a derecha, Acatán, Teocinte I, Teocinte II y Canalitos.



II. Características de los vertederos (Fig. 22)

- Vertedero Canalitos: éste es un vertedero rectangular, sin contracciones, de 1.48 m. Caudal de 30.31 lts/seg. La tubería es de hierro fundido de 8" de diámetro nominal, con longitud aproximada de 2.60 kilómetros.
- Vertedero Teocinte I: vertedero rectangular, sin contracciones, de 1.48 m. Caudal de 140 l/seg. Tubería HF. de 14 Km. de longitud
- Vertedero Teocinte II: rectangular, sin contracciones, de 1.475 m. Caudal de 124 l/seg. Tubería HF. con 14 Km. de longitud.

- Vertedero Acatán: rectangular, sin contracciones, de 1.08 m. Caudal de 61 l/seg., La tubería está formada por varios tramos de HF., tubería de concreto y latón, diámetro de 16" y longitud aproximada de 7 km.

Figura 22. Vertederos de Ingreso de la Planta Santa Luisa



III. Canal de mezcla rápida

El canal de mezcla rápida se conforma de una unidad de 11.34 m de largo por 1.38 m de ancho. Comprende una unidad de resalto hidráulico, con una rampa de 1.91 m de largo y 0.60 m de altura, provocando una turbulencia ubicada a 2.40 m del inicio del canal, el difusor de la aplicación de sulfato de aluminio está ubicado a 2.30 m del inicio del canal. En la unidad se encuentran dispuestos 4 batientes ubicados desde los 4.88 m después

del inicio del canal y están distribuidos en una longitud de 4.20 m. Las dimensiones de los batientes son de 0.10 m de ancho por 0.66 m de largo (fig. 23).

Figura 23. Canal de mezcla rápida de la planta Santa Luisa



IV. Canal de mezcla lenta (floculadores)

Este proceso ayuda a la sedimentación de las partículas disueltas. Por la acción del sulfato de aluminio se van uniendo las partículas disueltas y las coloidales, formando otras de mayor tamaño (flóculos), los cuales se precipitan por la acción de la gravedad en el siguiente proceso que es la sedimentación.

Este canal consiste en una estructura rectangular de 64 m de longitud por 14 de ancho, de profundidad y velocidad variable, para la regulación de la velocidad cuenta con pantallas o difusores colocados a lo largo del canal (fig. 24).

Figura 24. Floculadores



V. Sedimentadores

Cuenta con dos sedimentadores que trabajan en paralelo, uno es de tipo convencional y el otro de flujo laminar. Por un procedimiento físico los sedimentadores separan los sólidos del agua, el sedimentador laminar lo hace en un espacio de un tercio de lo que lo hace el convencional.

Después de la floculación, los sólidos reposan en las placas inclinadas y por la gravedad resbalan al fondo. En el caso de la planta Santa Luisa estas placas son recubiertas de asbesto. (Ver fig. 25)

Figura 25. Sedimentadores



VI. Filtros

Los filtros tienen la función principal de remover toda aquella materia en suspensión que no fue sedimentada en el proceso anterior, además por un proceso biológico remueven bacterias y otros microorganismos del agua.

El agua proveniente de los dos sedimentadores es conducida a la batería de filtros por medio de dos tuberías, con diámetro de 450 mm y 500 mm, respectivamente, hacia un pozo central localizado en la entradas de los filtros, aquí se divide en dos canales de distribución, los cuales distribuyen equitativamente el flujo de agua a cada uno de los filtros por medio de un vertedero rectangular, ubicado en la entrada de los mismos.

Los filtros poseen un área superficial de 45 m², el espesor del lecho filtrante es de 90 cm., de los cuales 30 cm. son de grava y 60 cm. de arena sílice. El fondo falso está constituido por planchas de acero inoxidable sobre las cuales descansan las boquillas recolectoras de agua filtradas de PVC (figs. 26 y 27).

Figura 26. Filtros



Figura 27. Base de filtros



VII. Vertedero de salida

Está ubicado a la entrada de los tanques de distribución, aunque la planta cuenta con medidores de caudal ultrasónicos, por problemas de burbujas de las tuberías éstos tienden a dar lecturas incorrectas, por lo que el vertedero sigue siendo un punto de medición de caudal.

Este elemento se encuentra en la cota 1554.98 msnm (Fig. 28)

Figura 28. Vertedero de salida



VIII. Tanques de distribución (de concreto)

Es donde el agua es almacenada para su posterior distribución a las viviendas, existen dos tanques con capacidad de 15,000 m³ y 30,000 m³, respectivamente, actualmente solo está en servicio el tanque de 15,000 m³. (Fig. 29).

Figura 29. Tanques de distribución Acatán vista noroeste



IX. Tanque de distribución elevado

El agua al salir de la planta de purificación hacia los tanques de distribución se desvía una parte para alimentar el tanque elevado que se encuentra dentro de las instalaciones de Santa Luisa, este tanque es metálico, está a una altura de 1570 msnm y tiene una capacidad de almacenaje de 250 m³, de este tanque sale una pequeña red de distribución que alimenta los sectores de Acatán, parcialmente a Santa Rosita, colonia Cantabria I, II y III, San Carlos, Montesano, Hospital Militar y las colonias aledañas al Hospital. Aproximadamente este tanque sirve a 1,000 conexiones (Ver fig. 30).

Figura 30. Tanque de distribución elevado (metálico)



No se sabe cual es el caudal de servicio del tanque, pero el mismo está incluido en el caudal total de producción del sistema Santa Luisa.

X. Sistema de recuperación

Este sistema fue diseñado para captar las aguas que han sido utilizadas para el lavado de los sedimentadores y los filtros. Éstas son almacenadas en un depósito y luego son bombeadas al canal de mezcla rápida, ver fig. 19.

XI. Caseta de cloración

Está dividida en tres secciones operativas, almacenamiento, dosificación y sala de bombas.

- Almacenamiento: en esta área se tiene capacidad para acopiar un máximo de 6 cilindros de cloro de 2000 libras, contándose para la manipulación de estos con un puente de grúa.

- Dosificación: al momento de la evaluación, solo un dosificador estaba en operación, siendo este de vacío.
- Sala de bombas: existen 2 bombas para realizar la mezcla necesaria, previa a enviarla a los puntos de aplicación.

XII. Acceso a la planta Santa Luisa

La calzada la Paz es una vía de acceso a la planta Santa Luisa, yendo hacia la carretera al Atlántico, cruzando a altura del colegio Austriaco-Viena. Esta vía comunica con el bulevar Vista Hermosa de la zona 15. Hay otro acceso por la zona 5 de la ciudad capital, tomando la 27 calle que conecta a la calzada La Paz. Los accesos son de asfalto en buen estado y calles con anchos de vía de 7 m en promedio (fig. 1).

XIII. Red de distribución

El sistema Santa Luisa, al este de la ciudad de Guatemala, en la actualidad provee de agua potable a los sectores de la ciudad entre los cuales están las zonas 1,4,10,17 parcialmente y zonas 5 y 16 totalmente. Estas zonas son todas residenciales y el abastecimiento es mediante gravedad, la red en su gran mayoría es de HF. La población beneficiada asciende aproximadamente a los 156,752 habitantes para el año 2002 (Herrera, 2001), esto quiere decir que se estiman 31,350 conexiones

abastecidas por al planta Santa Luisa. Las instalaciones hidráulicas cuentan con un sistema de válvulas de entrada y salida en buen estado, que permite la entrada del agua desde Santa Luisa como de las demás plantas de abastecimiento que se encuentran en los otros extremos de la ciudad.

El suelo es muy estable, cohesivo y consolidado. Vale la pena mencionar que para el terremoto del año 76 de 7.5 Ms no se presentaron fallas en las tuberías. Solo se presentaron fallas en los floculadotes y sedimentadores de la planta, los cuales fueron reconstruidos en el año 1977 (Herrera, 2002).

Cuenta con un buen acceso terrestre, no existe ningún problema para acceder a las tuberías en cualquier punto de la red. La red cuenta con un departamento de distribución ubicado en la zona 4 de la ciudad capital, que es un centro de operaciones con materiales, personal técnico y profesional, vehículos y comunicación radial para atender las emergencias y la solución de los problemas presentados en toda la red de distribución de la ciudad capital.

La red de distribución (macro red) para estas zonas, es completamente de HF, con edades de más de 50 años y se divide en macro red y micro red. La red principal es la tubería principal que viene desde diámetros de 36" a 12"

de diámetro y la micro red es la red que sale de la red principal y abastece a cada vivienda y establecimiento que lo requiera, esta tubería oscila entre ½" a 12" de diámetro, se tiene el dato que existe aproximadamente 1,800 km. de red de distribución, incluidas tanto la macro red como la micro red. El estado actual de la macro red es bueno, a pesar de su tiempo de uso aun preserva la capa de protección de asbesto cemento que cubre las paredes internas de la tubería y no existen actualmente fugas o daños a la tubería.(Fig. 31 y 32).

Figura 31. Estado físico de tuberías



Figura 32 Compuertas de salida.
Macro red de distribución



El estado actual de la micro red es malo, existen muchos problemas derivados del deterioro por la corrosión, los caudales de servicio han disminuido por el sarro producido por la reacción química entre el metal y el

cloro, lo que ha provocado una disminución del diámetro interno de la tubería.

XIV. Disponibilidad de repuestos y accesorios

En cuanto a la tubería y accesorios para reparación la situación es la siguiente:

HF: solo existen uniones de reparación para diámetros de 18" y 20", 5 unidades de cada uno, y codos a 90 grados 5 unidades y a 45 grados 8 unidades. En las instalaciones de Santa Luisa hay aproximadamente 100 tubos de 18" en perfecto estado, con sus uniones y codos, material que podría ser usado para reparaciones en caso de emergencia o quizás para traer el agua de otros afluentes cercanos.

PVC: existe disponibilidad de tubería, para el año 2009. Hay accesorios de diámetros menores para unas 200 reparaciones. En diámetros mayores existen accesorios para unas 100 reparaciones.

Dentro de los accesorios y repuestos en disponibilidad para reparaciones y nuevas construcciones, vale la pena indicar que no existe ningún material de Hierro Galvanizado ni tubería de concreto.

2.3.3. Información general de la calidad del agua desde los afluentes hasta Santa Luisa

- Según sus partes:

El agua que entra a la planta Santa Luisa registra los siguientes resultados que se presentan en la siguientes tablas (ERIS, 2003):

Tabla I. Examen Físico – Químico del agua producida por el Sistema Santa Luisa

Parámetros	Unidades	Canalitos	Teocinte. 1	Teocinte. 2	Acatán	Vertedero Salida	Tanque de Dist.
pH	U. pH	7.30	6.80	6.55	7.50	6.50	7.20
Temperatura	° C	29.00	25.00	23.00	18.00	22.00	22.00
Color Aparente	U.C.	4.00	45.00	53.00	5,050.0	0.00	7.00
Turbiedad	UNT	0.51	14.10	9.20	2,510.0	1.31	1.90
Conduct. Eléctrica	μohm/cm.	263.00	128.20	133.00	214.00	136.00	155.00
Sólidos Disueltos	mg/l	131.00	64.10	66.50	107.00	68.00	72.50
Alcalinidad Total	mg/lCaCO ₃	170.00	70.00	72.00	140.00	5.20	7.10
Cloruros	mg/l	10.0	12.00	8.00	20.00	6.50	16.00
Dureza total	mg/lCaCO ₃	60.00	56.00	57.00	100.00	46.00	44.00
Calcio	mg/l	10.42	12.02	22.00	22.44	13.63	11.22
Magnesio	mg/l	8.26	6.31	18.00	10.68	2.91	7.96
Dureza Calcio	mg/lCaCO ₃	26.02	30.02	54.93	56.04	34.03	28.02
Dureza Magnesio	mg/lCaCO ₃	33.98	25.98	2.07	43.96	11.97	32.78
Sulfatos	mg/l	8.00	0.00	0.00	0.00	5.00	26.00
Nitritos	mg/l	0.00	0.08	0.00	0.00	0.01	0.00
Nitratos	mg/l	1.40	1.80	7.92	0.00	1.70	1.60
Cloro Residual	mg/l	0.00	0.00	0.00	0.00	2.60	1.50

Los pozos de emergencia se conectan en la entrada del vertedero de salida. (ERIS, 2003)

**Tabla II. Examen Bacteriológico prueba de Colibert
NMP/100 cm³ (ERIS, 2003)**

Lugar de muestreo	Totales	Fecales
Canalitos	120	11
Teocinte 1	36	6
Teocinte II	6	1
Acatán	> 2,419	> 2,419
Vertedero	< 1	< 1
Tanque de distribución	< 1	< 1

En conclusión de los resultados expuestos en las tablas anteriores, desde el punto de vista bacteriológico y físico-químico y amparado en los parámetros establecidos por la norma COGUANOR NGO 29001, se puede decir que el agua proveniente de la planta Santa Luisa es sanitariamente segura y por tanto apta para el consumo humano (ERIS, 2003).

2.3.4. Información general de los beneficiarios del sistema Santa Luisa

El 17% de las conexiones de EMPAGUA están siendo abastecidas por Santa Luisa. A continuación se presenta información referente al número de conexiones según tarifa y consumo de EMPAGUA:

Tabla III. Conexiones y tarifas

Tipo de tarifa	Medidos (conexiones)	% en relación al total de conexiones
Particular	163,197.00	82.03%
Gobierno/municipalidades	821.00	0.41%
Asentamientos	21,121.00	10.62%
Alcantarillado	7,439.00	3.74%
Viviendas tipo Banvi	6,154.00	3.09%
Otros	209.00	0.11%
Total	198,941.00	100.00%

Tabla IV. Consumo/mes por tarifa de EMPAGUA (año 2009 en m3):

Tipo de Tarifa	Medido (m3)
Particular	4,495,256.30
Gobierno/municipalidades	22,468.06
Asentamientos	581,977.59
Alcantarillado	204,952.56
Viviendas tipo Banvi	169,332.46
Otros	6,028.02
Total (m3)	5,480,015.0

3. AMENAZA SÍSMICA

3.1 Introducción

El propósito de este capítulo es mostrar la importancia fundamental de las variables geológicas en el origen y la evolución de los llamados desastres naturales, con el objetivo principal de usar todos los conocimientos geológicos, para implementarlos en un programa nacional de prevención y mitigación de desastres naturales.

Guatemala es un país ubicado en una región de condiciones geotectónicas especiales, donde se encuentran tres placas tectónicas mayores Cocos, Caribe y Norteamericana cuyos movimientos constituyen el motor de los procesos geodinámicos, internos y externos, que repercuten en la superficie. La puesta en marcha de dichos procesos, cada uno con características muy particulares de ocurrencia, desarrollo y localización, puede constituir un riesgo geológico para poblaciones y obras de infraestructura ubicadas dentro del área de influencia de los mismos, al punto que sus efectos pueden considerarse como verdaderos desastres dependiendo de las pérdidas en vidas y económicas involucradas. Sin embargo, los procesos geodinámicos de una región no se distribuyen al azar, sino, por el contrario, tienen función de variables y agentes geológicos definidos y, sobre todo, de fácil ubicación en un mapa.

Bajo esta concepción, los llamados desastres naturales ocurren en aquellos lugares donde se han desarrollado núcleos urbanos y obras de infraestructura, sin tomar en cuenta la geología particular de la región, no tanto para evitar el daño, sino para minimizar sus efectos. Por lo tanto, cualquier intento serio por implementar planes y medidas nacionales o locales de mitigación de desastres pasan por el conocimiento, en detalle, de la geología del país y en función de ésta, de la utilización racional del territorio u ordenamiento territorial (Monzón, 1996).

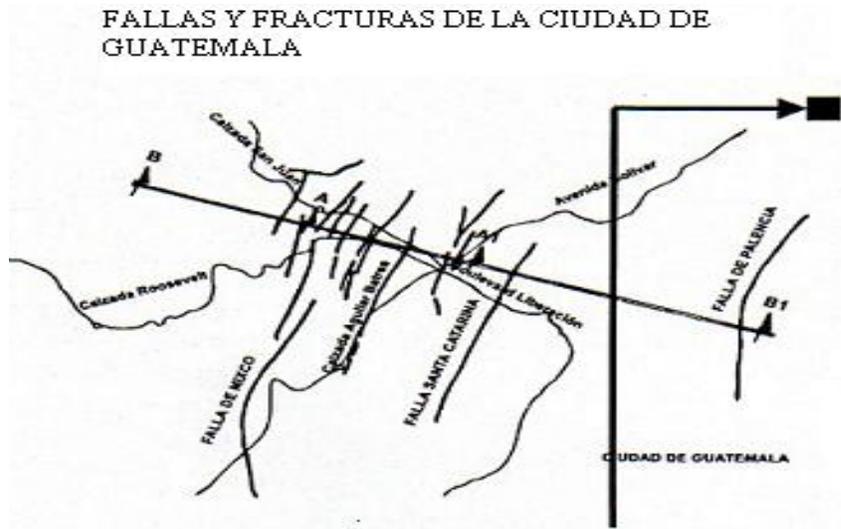
Debe ser de conocimiento general en la comunidad técnica que existen varios sistemas de fallas capaces de generar terremotos en Guatemala: el sistema Motagua-Polochic, que es la zona de deslizamiento horizontal entre la Placa de Norteamérica y la del caribe; el Pacífico, donde la placa de Cocos se sumerge debajo de la placa del caribe; los sistemas de fallas con orientación norte-sur, llamados Mixco y Santa Catarina Pinula-Palencia, que encajan el bloque hundido o graben del valle de Guatemala. La falla Jalpatagua también esta activa.

Las características de cada terremoto y los daños resultantes pueden variar, incluyendo diferentes sismos de la misma falla, ver Fig. 33. Un terremoto de origen poco profundo en los sistemas de fallas que limitan el valle de Guatemala puede provocar más daño que un sismo de doble magnitud con origen en la falla del Motagua. Managua es un

buen ejemplo de la destrucción por un sismo de magnitud moderada ($M=6.2$), pero con epicentro local. Se desconoce cuando y de donde vendrá el próximo terremoto; una indicación puede ser los 59 años entre los terremotos de 1917 y 1976. (Bonis, 1996)

En este estudio se confirma que el sistema pasa por un área de fallas, aunque no se registre una ubicación precisa de las fallas que lo confirme, pero se sabe que existe una falla muy cercana que es la de Santa Catarina Pinula, la cual podría provocar fracturas en el suelo donde pasa el sistema, dando origen a nuevas fallas y ocasionar daños severos en el sistema, por lo que se sugieren estudios geológicos más precisos para determinar esta amenaza. En este capítulo se informa de la sismicidad de la zona, los riesgos que hay, los tipos de suelo que forman parte del área así como las intensidades y aceleraciones esperadas en un evento sísmico, para tener una idea del escenario geológico por donde funciona el sistema Santa Luisa.

Figura 33. Fallas geológicas de la ciudad de Guatemala



Fuente: Herrera, 2002

3.2 Sismicidad de la zona

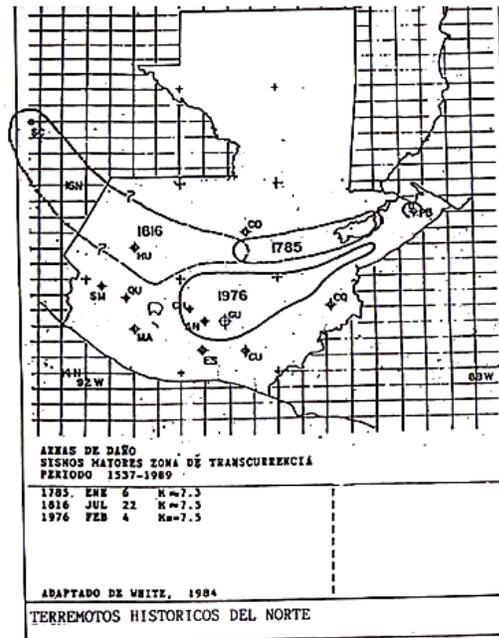
El país se localiza en el área de convergencia de tres placas tectónicas. La frecuencia de sismos dañinos es, históricamente, relativamente alta, sobre todo si se toma en cuenta la pequeña extensión territorial del país que es poco más de 100,000 km². Los sismos pueden provenir de numerosas fallas geológicas, tal como se ilustra en la figura 4.1. Las fuentes sismo génicas se agrupan en tres familias: la llamada zona de fallas transcurrencia que atraviesa la franja central del país, de Izabal a Huehuetenango; genera devastadores sismos superficiales entre los cuales se encuentran los terremotos de 1976 y 1816 (Fig. 34). También está la llamada zona de subducción, debajo de la costa sur del país, la que genera constantemente sismos de

magnitud pequeña e intermedia a cierta profundidad bajo la superficie; ocasionalmente genera sismos de gran magnitud, relativamente profundos, que pueden afectar áreas de miles de kilómetros cuadrados, entre los que se cuentan los terremotos de 1773 y 1902. (Fig. 35).

Por último están los sismos locales que se originan en la altamente fallada corteza continental sobre la zona de subducción y entre la zona de transurrencia; estos sismos superficiales, aunque de limitada extensión, suelen ser muy intensos y destructores, ocurriendo en sitios muchas veces inesperados; el país tiene una larga lista de este tipo de eventos, entre los que se cuentan los terremotos de Guatemala de 1976 y San Salvador en 1985. (Monzón, 1996.)

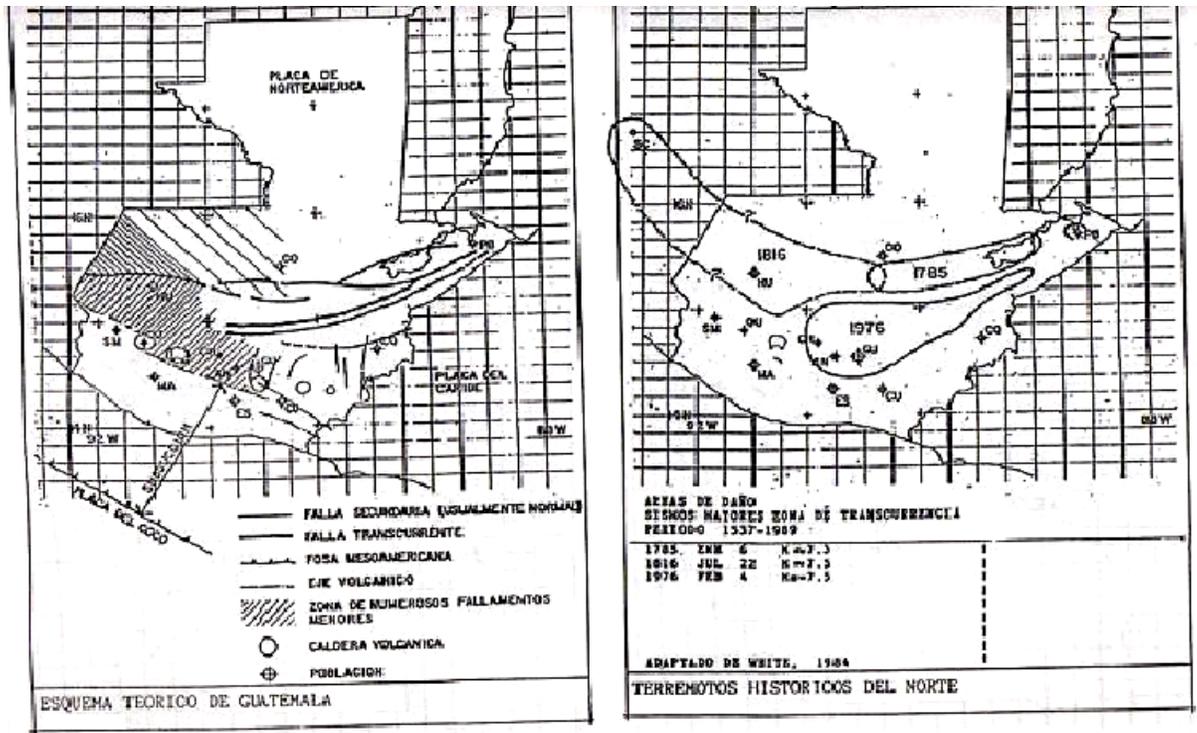
Por esta razón se sugiere un estudio específico de fallas geológicas para el área que comprende el sistema, esta área que abarca el sistema se puede apreciar en el mapa geológico (Fig. 43) del capítulo 5, a través de este estudio específico se puede prevenir si se diera el caso de que las fallas existentes se activen implicando otras fracturas que pasen sobre este sistema provocando daños severos.

Figura 34. Mapa de sismicidad de Guatemala



Fuente: Diagnóstico de la prevención de desastres, 1996., Ingeniero H., Monzón.

Figura 35. Sismicidad de Guatemala



Fuente: Diagnóstico de la prevención de desastres, Héctor Monzón, año 1996.

3.3 Tipos de suelos en la zona

Con frecuencia los mayores daños sísmicos ocurren en depósitos suaves o sueltos de arcilla o arena, donde las sacudidas tienden a ser mucho más fuertes que en roca o suelo duro. Los valores de carga sísmica para fines de diseño ingenieril son usualmente presentados por medio de mapas de amenaza, los cuales reflejan condiciones de carga promedio en lecho rocoso, y por lo tanto, no incluyen los efectos de condiciones locales del suelo. Las contribuciones por el sitio específico a la amenaza sísmica deben ser evaluadas por separado para cada sitio. Esto quiere decir que es necesario zonificar el área de estudio, para evaluar el

suelo de cada sitio y los riesgos que presenta el sistema en estudio debido a la respuesta del suelo por donde pasa, como consecuencia de un evento sísmico, esto se detallará en el capítulo 5, inciso 5.1.3, de la estimación de la amenaza sísmica.

La ciudad de Guatemala está ubicada en un graben, donde la mayor parte está cubierta de depósito cuaternario de piroclásticos, la ciudad de Guatemala se conforma de áreas barrancosa, con pendientes no mayores a 25%, con riesgo moderado de deformación permanente, suelos tipo B y C, que son básicamente los suelos, por donde pasa el sistema y que deberán usarse para estimar los daños del mismo, ya que están relacionados directamente con el tipo y geomorfología de los suelos, en esta investigación se hará un análisis de las características de los suelos por donde pasa el sistema para evaluar las fallas esperadas si se provocara un siniestro sísmico con la intensidad acorde con los estudios de amenaza realizados por JICA que se resumirá a continuación en el inciso 3.4. Estos depósitos piroclásticos involucran materiales producidos por eventos volcánicos explosivos.

De tal manera que estos materiales frecuentemente tienen una constitución porosa en la cual partículas y conjuntos de partículas están interconectadas o cementados por vidrio volcánico y sus derivados intemperizados.

Los depósitos volcanoclásticos son importantes en Centro y Sur América. Se estima que la ciudad de Guatemala, la formación cubre 650 km², aproximadamente, con espesores de 50 a 250 metros. El basamento de estos depósitos piro plásticos está compuesto principalmente de basalto, andesita y riolita. En muchos sitios, sobre este basalto, hay depósitos aluviales compuestos de arenas y gravas más o menos gruesas, con capas de arcilla intercaladas. Mientras que en otros sitios, bajo los depósitos piroclásticos toba soldada, o caliza (Flores, 2000-2001).

3.4 Intensidades y aceleraciones esperadas máximas en la zona de la ciudad de Guatemala

Los cálculos para la estimación específica de la amenaza indican que los valores del rango esperado causados por la falla de Santa Catarina Pinula de aceleración pico del suelo máxima es: 370-1020 cm/s² para intensidad de Mercalli Modificada (IMM) VIII y el rango de velocidad pico del suelo máxima es de 31-57 cm/s.

La falla de Santa Catarina Pinula es secundaria y debido a la cercanía del sistema, aunque la intensidad sísmica no sea alta, se esperan altas aceleraciones pico del suelo, prácticamente el sistema se encuentra sobre la zona de falla. Haciendo una comparación del efecto máximo de las otras fallas que rodean al sistema que son la falla de Mixco

presentando un riesgo sísmico de una intensidad de VII (IMM) 310-830 cm/s^2 , la falla de Jalpatagua, con intensidad de VII (IMM) de 270-790 cm/s^2 , La falla de Motagua con intensidad de VIII en la escala de Mercalli Modificada y un rango de aceleraciones de 360-910 cm/s^2 , existe la amenaza sísmica ocasionada por falla de subducción, en esta zona se estiman amenazas de intensidad de mercalli modificada VI de 150-270 cm/s^2 .

Esta estimación del movimiento del terreno se calculó según el proceso que se muestra en la fig. 36 (JICA, 2003) y la tabla V, de historia de eventos sísmicos más importantes ocasionados por estas fallas en las distintas regiones de Guatemala. EL primer proceso representa la estimación del movimiento del terreno en el basamento rocoso; el segundo proceso representa la estimación de los efectos locales del sitio. Es improbable que 2 fallas se activen al mismo tiempo, por lo que se evalúa la intensidad y el riesgo de daño que podría provocar cada falla independientemente, debido a que la falla de Santa Catarina Pinula es más importante por la cercanía de la misma al sistema, se debería tomar como envolvente de diseño la intensidad que provocaría esta falla.

El movimiento del terreno en la superficie se puede estimar cuando se calculan ambos procesos. Estos datos se han investigado gracias al informe "estudio del establecimiento de los mapas básicos y mapas de amenaza para el sistema de información geográfica de la república de

Guatemala” y mapa de Amenaza Sísmica para la Falla de Santa Catarina Pinula elaborado por JICA y El gobierno de la República de Guatemala. (JICA, 2003) (Fig. 37).

Esta información ayuda a conocer a qué estaría sometido el sistema de agua, por lo que en los cálculos para la estimación de daños se deben considerar partiendo de una envolvente de intensidad de Mercalli Modificada VIII, estos cálculos podrían parecer exagerados ya que no se registran eventos sísmicos de esta magnitud provocados por fallas secundarias como la de Santa Catarina Pinula, pero debido a la metodología usada por JICA, los factores de seguridad considerados en el cálculo son muy conservadores, por esa razón se calculan aceleraciones pico e intensidades altas, se sugiere prevenir y calcular las fallas tomando como base una intensidad de VIII en la escala de Mercalli modificada, en el capítulo 5, inciso 5.2 se realiza un cálculo de fallas esperadas en la tubería tomando como referencia la metodología propuesta por el CEPIS.

A continuación se ilustra (Fig. 36) como un esquema de la propagación de la onda sísmica normal con la cual se establecieron los mapas de la amenaza para Guatemala.

Figura 36. Esquema de la propagación de onda.

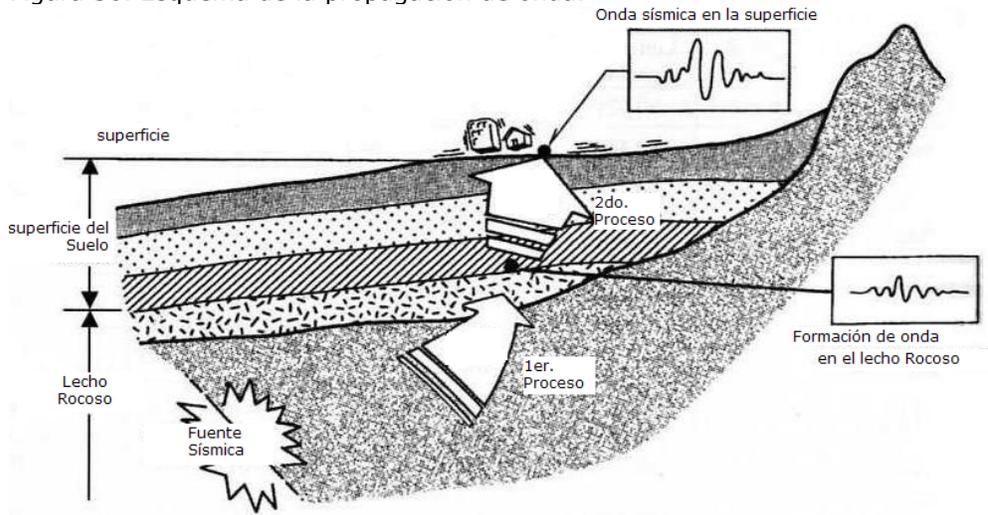


Ilustración esquemática de propagación de onda. Desde donde se produce el sismo debido a la falla, la presión sísmica viaja desde la base rocosa hasta la el inicio de la capa de suelo, donde se convierte en una onda sísmica, esto se le llama primer proceso, luego esta onda viaja a través de los distintas capas de suelo hasta la superficie, a esto se le llama segundo proceso.

Fuente: Estudio del establecimiento de Los mapas básicos y mapas de amenaza para el sistema de información geográfica de la Republica de Guatemala. Informe de Progreso 3, año 2003.

Históricamente, la ciudad de Guatemala ha sufrido el efecto de grandes eventos de las fuentes sísmicas o escenarios indicados. Si se evalúa el período entre los años 1500-2003, los principales eventos identificados que han causado $IMM \geq VII$ en el área de estudio son los siguientes:

Tabla V. Eventos sísmicos en ciudad de Guatemala

Eventos		Ciudad, IMM \geq VII
Fecha	Fuente Sísmica	C. Guate
09/1565	Subducción?	X
05/1566	Subducción?	X
29/09/1717	Subd. (7.4 / 6.4)	X
13/10/1747	Subd. (7.1 / 5.4)	
04/03/1751	Subd. (7.3 / 7.2)	X
24/19/1765	Sub. (7.6-8.2 / 6.5)	
15/05/1772	Subd. (7.0 / 5.7)	
29/07/1773	Subd. (7.5 / 6.5)	X
22/07/1816	Chixoy-Pol (7.5-7.7)	
01/09/1827	Sub. (7.0)	
21/04/1830	Intrap. Caribe (6.0)	X
03/05/1830	Intrap. Caribe (6.0)	
09/02/1853	Subd. (6.8 / 7.2)	
19/12/1862	Subd. (8.1 / 7.2)	X
03/09/1874	Subd. (7.1 / 6.5)	
19/04/1902	Subducción (7.5)	
07/09/1915	Subducción (7.7)	X
18/08/1917	Intrap. Caribe (6.2)	X
06/08/1942	Subd. (7.9 / 7.7)	
23/10/1950	Subducción (7.3)	
04/02/1976	Motagua (7.5)	X
09/08/1980	Motagua (6.4)	
11/07/1999	Motagua (6.6)	

Fuente: Base de Datos, ISIVUMEH, Molina E. año 2007

En la Tabla V, presenta una lista de los eventos sísmicos que han ocurrido, hasta donde se tiene registro en la historia sísmica de Guatemala y la probable fuente de los mismos con el propósito de alertar de la amenaza que se puede esperar. En el capítulo 4 se estiman los daños que podría ocasionar un sismo a cada uno de los componentes del sistema desde la captación hasta la red de distribución y en el capítulo 6, se desarrolla una estimación de daños aplicando una metodología específica que calcula cuantos daños podría sufrir una tubería de conducción por kilómetro de tubería, tomando el elemento intensidad sísmica para el cálculo. Así también se evalúa en el capítulo 4 los posibles daños que podrían sufrir cada elemento que conforma el sistema. Si se considera el hecho de que el sistema ya ha cumplido con su vida útil, cualquier evento sísmico de la magnitud como fue el del año 1942, posiblemente provocaría un colapso en el sistema.

Leyenda

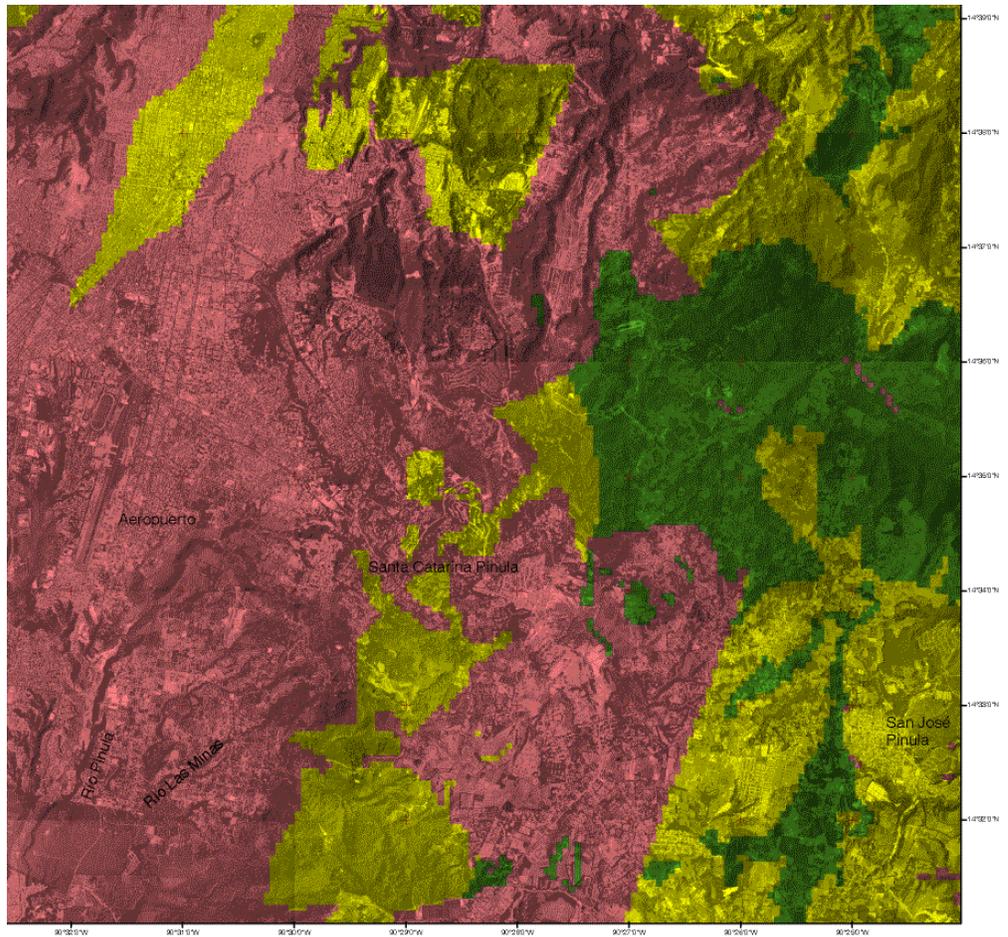
	MMI	PGA(cm/s ²)	PGV(cm/s)
	VIII	370 - 1020	31 - 57
	VII	360 - 860	16 - 30
	VI	170 - 360	8 - 16

MMI : Calculated Modified Mercalli Intensity
PGA : Calculated Peak Ground Acceleration
PGV : Calculated Peak Ground Velocity

MMI : Intensidad Calculada de Escala Mercalli Modificada
PGA : Aceleración Pico Calculada del Terreno
PGV : Velocidad Pico Calculada del Terreno

Leyenda de Intensidades de Mercalli Modificada y aceleraciones pico del suelo para el mapa en la fig. 37 de amenaza sísmica (falla de Santa Catarina Pinula).

Figura 37. Mapa de aceleraciones esperadas en la ciudad de Guatemala, provocada por la falla Santa Catarina Pinula.



Fuente: Informe amenaza sísmica (JICA, 2003).

4. MATRICES DE VULNERABILIDAD

4.1 Introducción

Este capítulo presenta la aplicación de la metodología del análisis de vulnerabilidad para las diferentes clases de amenazas naturales, este estudio se enfoca en la amenaza sísmica. Se indican los puntos esenciales en los que debe concentrarse el análisis y las recomendaciones.

La organización de la información en forma matricial permite visualizar fácilmente los elementos para el análisis de vulnerabilidad. Se utilizan para ello las cuatro matrices descritas a continuación y que cubren los aspectos más relevantes del análisis: a) aspectos operativos, b) aspectos físicos e impacto en el servicio c) aspectos administrativos y respuesta, d) medidas de mitigación y respuesta. Cada una de estas matrices cuenta con un encabezado general con espacio para especificar el nombre y el tipo del sistema que será evaluado.

Es importante destacar que los datos requeridos para completar las matrices que analizan los aspectos operativos, administrativos, y la capacidad de respuesta son los mismos. Independiente del tipo de desastre natural cuyo impacto se desee evaluar (OPS/OMS, 1998).

4.2 Metodología

La metodología es un procedimiento sencillo que se basa en matrices de información, busca tener un panorama informativo del estado actual del sistema, lo que aportarán estas matrices es un informe general del estado actual del sistema en cuatro aspectos analizados como la operación, administración, estado físico, capacidad de respuesta ante un desastre de origen sísmico y si hay o no programas de mitigación y respuesta, con el objetivo de visualizar la problemática del sistema y conocer que acciones inmediatas se deben tomar.

4.2.1 Descripción matriz 1: vulnerabilidad operativa

Según la guía propuesta por OPS/OMS de 1998, esta matriz presenta la información general del la capacidad de producción del sistema, especificando cada uno de sus componentes, el propósito es tener una información panorámica del aporte actual de cada componente y la demanda que hay, además si existen sistemas de alerta eficientes en caso de emergencias, para luego hacer una comparación determinando si el aporte de cada componente presenta déficit o superávit en relación a la demanda. Con esta comparación y si existe o no sistemas de alerta en caso de emergencias se determinará de forma panorámica su grado de vulnerabilidad, esto quiere decir; qué impacto tendrá al servicio partiendo del aporte de cada componente actual si se produjera el colapso total o parcial de los componentes. Los componentes del sistema son:

Cuenca: es la micro cuenca corresponde al área resaltada de la cuenca del Motagua (Fig. 6), que está conformada por los ríos Teocinte, La Manguita, Agua Viva, La Piedrona, San José Pinula y San Antonio (IGN, mapas de Guatemala).

Teocinte I: línea de conducción, tubería de 18" H.F. funciona por gravedad tiene 14 km. De Longitud. Fig. 3.

Teocinte II: línea de conducción, tubería de 20" H.F. funciona por gravedad tiene 14 km. De Longitud. Fig. 3.

Presa Acatán: una pequeña presa derivadora de caudal sobre el lecho del río Acatán, construida de concreto ciclópeo, que tiene ocho metros de ancho por diez metros de alto, de mampostería. (Fig. 3 y 13).

Pozo Canalitos: el pozo tiene una profundidad de 1,380 pies, su diámetro es de 12 pulgadas, En la actualidad bombea el agua proveniente del pozo perforado dentro de las instalaciones de la presa canalitos la cual está fuera de servicio, El caudal que llega a la planta proveniente del pozo es encausada por una tubería de HF. de 8" de 2.6 Km (Herrera, 2002).

Pozos de emergencia para Santa Luisa: estos pozos comprenden los ubicados dentro del perímetro de la planta Santa Luisa, en Hacienda Real y San Gaspar, jurisdicción de la zona 16, de la ciudad capital. Estos pozos de emergencia 1, es un sistema de pozos en toda la periferia de la ciudad de Guatemala que alimentan los caudales del servicio de distribución de agua por medio de tubería de H.F. de 18" y refuerzan el sistema de EMPAGUA. (EMPAGUA, 2001).

Planta de tratamiento: la planta Santa Luisa en el año 2001, según informe de labores de producción de EMPAGUA (EMPAGUA, 2001) generó un caudal de 730,202 m³ / mes. Este mismo año se realizó una remodelación hecha por el gobierno Japonés a través de JICA, ésta consistió de un sistema de filtros, cuarto eléctrico, para la operación de los filtros, cuarto químico (con instalación de bomba para aluminio y cal), cuarto de bombas, y rehabilitación del tanque de sedimentación laminar, además de otras obras de ornato, señalización y limpieza (Herrera, 2001).

Tanques de distribución: el agua ya entrada es almacenada para su posterior distribución a las viviendas, existen dos tanques con capacidad de 15,000 m³ y 30,000 m³, respectivamente, actualmente solo está en servicio el tanque de 15,000 m³ (Martínez, 1982).

Tanque elevado: este tanque es metálico y tiene una capacidad de almacenaje de 250 m³, de este tanque sale una pequeña red de distribución que alimenta los sectores de Acatán, parcialmente a Santa Rosita, colonias Cantabria I, II y III, San Carlos, Montesano, Hospital Militar y las colonias aledañas al hospital (información proporcionada por el Superintendente, Gustavo Flores).

Red de distribución: el sistema Santa Luisa, al este de la ciudad de Guatemala, en la actualidad provee de agua potable a los sectores de la ciudad entre los cuales están las zonas 1,4,10,17 parcialmente y zonas 5 y 16 totalmente, La red de distribución para estas zonas, es completamente de HF, con edades de más de 50 años y se divide en macro red y micro red, la macro red es la tubería principal que viene desde diámetros de 36" a 12" de diámetro y la micro red es la red secundaria que abastece a cada vivienda y establecimiento que lo requiera, esta tubería oscila entre ½" a 12" de diámetro, se tiene el dato que existen aproximadamente 1,800 km (Herrera, 2002).

Para el análisis de vulnerabilidad operativa del sistema de agua potable, en la primera columna de la matriz 1, se anotará cada componente que forma parte del sistema. En la segunda columna se describirá la capacidad del componente, utilizando las unidades correspondientes, como pueden ser de volumen (m³), de caudal (m³/s) u otras; en la tercera, el requerimiento actual (la demanda 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 detallará lo referente a la existencia y funcionamiento eficiente de sistemas remotos de alertas asociados con cada uno de los componentes, como pueden ser los diferentes sistemas de instrumentación y monitoreo colocados puntualmente en el componente (sismógrafos, limnímetros, etc.).

Es importante destacar que si no existe un componente indispensable necesario para el sistema (tanques de distribución, por ejemplo) en la segunda columna sobre la capacidad se anotará cero y en la cuarta columna el volumen se registrará como déficit. En la discusión de esta matriz se detalla de diferentes posibilidades de sistemas de alerta e información hacia la empresa, en relación con otras entidades e instituciones para obtener información oportuna sobre la ocurrencia o desarrollo de fenómenos naturales, con el fin de indicar cuales de ellos existen y funcionan, también se especifican diferentes medios de información dentro de la empresa de agua y varias posibilidades de sistemas de información más usados. Esta matriz presenta la vulnerabilidad operativa (ver matriz 1) del sistema Santa Luisa en conjunto, desde la toma hasta la macro red de distribución.

4.2.2 Descripción matriz 2: vulnerabilidad física e impacto en el servicio

Esta matriz ayudará a conocer la característica de la amenaza que pone en riesgo el sistema y el estado actual del mismo, especificando cada uno de los componentes y un estimado de los daños que causaría la amenaza esperada a cada componente, el tiempo estimado de rehabilitación y un cálculo del impacto estimado en número de conexiones afectadas, estos criterios fueron tomados de experiencias anteriores que han sido informados y plasmados en investigaciones del mismo tipo como la mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable realizados por la Organización Panamericana para la Salud en conjunto con la Organización Mundial para la Salud en el año 1998.

En las primeras tres columnas de la matriz se anotará el tipo de amenaza de la zona, las características de la amenaza, donde se especificará la magnitud crítica esperada, y cual será la prioridad relativa del tipo de amenaza que hay que considerar de acuerdo al lugar, las columnas cuarta y quinta es relacionada con los sistemas de información y alerta dentro de la empresa (instituciones de información), sistemas de información después del impacto (como sistemas de radio, etc.) y la sexta columna es referente a las áreas de impacto (información del área que podría afectar el evento sísmico).

Las siguientes seis columnas de esta matriz, evalúan la vulnerabilidad del sistema ante el impacto del sismo esperado en la región, presenta los componentes más expuestos a daños, y los daños esperados en cada uno de ellos, su tiempo de rehabilitación (TR), la capacidad remanente y a cuantas conexiones afecta.

A continuación se detalla en que consiste la evaluación de cada una de las últimas siete columnas de la matriz:

- Área de impacto:

En la sexta columna de esta matriz se describe brevemente el área de estudio donde se espera que ocurra un desastre natural y por donde pasa el sistema de agua en estudio.

- Componentes expuestos:

En la séptima columna de esta matriz, 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.

- Estado del componente:

En la octava columna de esta matriz se detallará 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.

- Daños estimados:

En la novena columna de la matriz, se describirán las características de los daños debido al impacto esperado sobre cada uno de los elementos expuestos, describiendo así el tipo y número y/o porcentajes de las fallas estimadas de ser posible, esto se determinará basados en experiencias registradas en documentos de eventos sísmicos ocurridos en otros países de Latinoamérica y que han sido realizados por OPS/OMS, así como el procedimiento de cálculo de fallas esperadas en tuberías, en el capítulo 5.

- Tiempo de rehabilitación (TR):

En la décima columna de la matriz, se describirá la estimación del tiempo de rehabilitación del componente analizado. Se aplica a componentes estructurales tales como: estaciones de bombeo, tanques de almacenamiento, plantas de tratamiento o tuberías de conducción y distribución, etc.

- El tiempo de rehabilitación depende de (TR):
 - El tipo y 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 los TR para cada componente y para el sistema como un todo. El TR depende del conocimiento detallado del sistema por parte de los operarios, los recursos disponibles, y la capacidad de la empresa para atender estas situaciones con recursos propios.

Para determinar 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.

Para realizar el cálculo de tiempos de rehabilitación de un elemento se considera lo siguiente:

- Tiempo de reporte del daño, cierre de válvulas y movilización para iniciar la reparación (personal, equipo y materiales)
- Tiempo de acceso a las zonas afectadas;
- Tiempo de ejecución de las reparaciones (depende de la magnitud del daño y de los recursos existentes);
- Tiempo de espera luego de la reparación antes de iniciar la operación (ejemplo: espera de fragua de anclajes)
- Tiempo de puesta en operación (llenado de tuberías) (OPS/OMS, 1998)

La sumatoria de estos tiempos parciales de cada componente, corresponderá al TR total de rehabilitación del sistema.

Estos cálculos de tiempo de rehabilitación por elemento servirán además para determinar cuáles son los componentes críticos para priorizar la ejecución de medidas de mitigación y reforzamiento.

- Capacidad remanente:

En la décima primera columna de la matriz se anotará la capacidad de producción después de un evento sísmico de cada componente, en unidades acordes al componente analizado (como pueden ser de flujo de 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 de remanente son un buen índice de la vulnerabilidad del componente expuesto.

- Impacto en el servicio:

En la décima segunda columna, para cada elemento expuesto se indicará el impacto al servicio. Para ello, se tomará en cuenta que el impacto no es únicamente la interrupción total del servicio, sino que éste 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).

4.2.3. Descripción matriz 3: vulnerabilidad Administrativa y capacidad de respuesta

Esta matriz informa y evalúa las debilidades y limitaciones relativas a los aspectos administrativos de los sistemas. Es preciso conocer sus normas de funcionamiento y los recursos disponibles que pudieran ser usados para el abastecimiento de agua y evaluación de aguas residuales en situaciones de emergencia, así como en la fase de rehabilitación. Estos criterios fueron tomados de experiencias anteriores en investigaciones del mismo tipo como La mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable realizados por CEPIS/OPS/OMS, año 1996. A continuación se explican los componentes de la matriz.

- Organización institucional:

En la primera columna de la matriz 3, se indicarán las fortalezas y debilidades correspondientes a la organización institucional. Se deben diferenciar los niveles central, regional y local y, si es necesario, se elaboran matrices separadas para cada uno de estos niveles, como se detalla a continuación, en la matriz se identificará la existencia o carencia de los siguientes elementos:

- 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.
- Indicar la existencia o no de niveles de coordinación interinstitucional.
- Indicar la existencia o no de una comisión de formulación de planes de mitigación.
- Indicar la existencia o no de un comité de emergencias permanente, los miembros que lo conforman y su cargo (usar los espacios disponibles en esa columna).
- Indicar si existen o no brigadas de trabajadores listos para atender cualquier eventualidad de emergencia.

- Operación y mantenimiento:

En la segunda columna de esta matriz se detallarán 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 espacios disponibles en esa columna).

- Apoyo administrativo:

En la tercera columna de esta matriz se anotará la vulnerabilidad de los sistemas de apoyo administrativo:

- Indicar la disponibilidad o no de dinero para situaciones de emergencia, insumos y recursos disponibles ante una 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.

- Capacidad de respuesta:

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 en estas tres columnas.

4.2.4 Descripción matriz 4A y 4C: medidas de Mitigación y emergencia

Estas matrices de manera general, proveen estrategias para la reducción de la vulnerabilidad operativa y administrativa, enfatizan como se puede lograr, aplicando medidas tales como mejoras en los sistemas de comunicación, la frecuencia de inspecciones en la línea de tubería, detección de deslizamientos, 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 la vulnerabilidad ante la eventual ocurrencia de desastres naturales, que también minimicen el riesgo de fallas en condiciones normales de servicio. Se sugiere la creación de planes específicos de emergencia como políticas dentro de la empresa EMPAGUA, para dar agilidad tanto a la atención de las emergencias como a la de prevención.

Esta matriz se centraliza en sugerir medidas de mitigación y emergencia basándose en la situación general de cada elemento que forma parte integral del Sistema Santa Luisa

tanto física, operativa como administrativamente, información que se presenta en las matrices anteriores (OMS/OPS, 1998).

4.2.5 Descripción matriz 4B: medidas de mitigación y Emergencia (aspectos físicos)

En esta matriz 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 de aspectos físicos y de impacto en el servicio.

Esta matriz está dividida en dos secciones. En la primera, se indicarán las medidas de mitigación para los componentes físicos que pueden corresponder a obras de reforzamiento, sustitución, rehabilitación, mejoramiento de accesos, etc. Junto a cada componente se indicará la prioridad de atención que corresponderá a los que tengan: (a) mayor tiempo de rehabilitación, (b) mayor frecuencia; (c) componentes críticos.

En la segunda, 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 componentes en los sistemas de agua potable son:

- Reemplazar el componente, equipo o accesorio si su estado de conservación es malo, monitoreado periódicamente si su estado es regular, bombas electromecánicas, generadores auxiliares o válvulas.
- Reemplazar 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, por ejemplo generadores auxiliares en zonas de prolongados y continuos períodos de falta de energía eléctrica (OPS/OMS, 1998).

4.2.1.1 Matriz 1 – aspectos operativos

Sistema de agua potable Santa Luisa				
COMPONENTE	CAPACIDAD COMPONENTE	REQUERIMIENTO ACTUAL	DEFICIT (-) SUPERAVIT (+)	SISTEMAS REMOTOS DE ALERTA
Cuenca	8,334 l/seg.	360 l/seg.	7,974 l/seg.	No existe
Teocinte I	92.0 l/seg.	120 l/seg.	-28.0 l/seg.	No existe
Teocinte II	108.0 l/seg.	140 l/seg.	-32.0 l/seg.	No existe
Presa Acatan	50.0 l/seg.	60 l/seg.	-10.0 l/seg.	No existe
Pozo Canalitos	26.3 l/seg.	26.3 l/seg.	0.0 l/seg.	No existe
Pozos Proyecto Emergencia I	240.0 l/seg.	360.0 l/seg.	-120.0 l/seg.	No existe
Planta de Tratamiento	240.0 l/seg.	360.0 l/seg.	-120.0 l/seg.	No existe
Tanques de Distribución incluye tanque metálico	240.0 l/seg.	360.0 l/seg.	-120.0 l/seg.	No existe
Red de Distribución	500.0 l/seg.	620 l/seg.	-120.0 l/seg.	No existe

Nota: Red de distribución cuenta con 94% de positividad de cloro y 88% negatividad de coliformes fecales. (Herrera, 2001) / (EMPAGUA, 2001)

<p>SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA INTERINSTITUCIONAL</p> <ul style="list-style-type: none"> <input type="checkbox"/> Defensa civil <input checked="" type="checkbox"/> Instituto meteorológico <input checked="" type="checkbox"/> Instituto vulcanológico <input checked="" type="checkbox"/> Instituto sismológico <input type="checkbox"/> Otro: CONRED Y COMRED 	<p>SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA EN LA EMPRESA</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Radio UHF <input type="checkbox"/> Radio VHF <input checked="" type="checkbox"/> Teléfono <input type="checkbox"/> Otro:
	<p>SISTEMAS DE INFORMACIÓN A LOS USUARIOS</p> <ul style="list-style-type: none"> <input checked="" type="checkbox"/> Radio <input checked="" type="checkbox"/> Televisión <input type="checkbox"/> Circulares <input type="checkbox"/> Otro:

- **Discusión matriz 1:**

Este sistema tiene una vulnerabilidad operativa alta, ya que a excepción de la cuenca, los componentes del sistema presentan déficit en el servicio debido a que su producción está por debajo de la demanda, y no existen sistemas de alerta ni manuales de operación ni manuales de emergencia en caso de un siniestro. El déficit se debe al crecimiento poblacional del área metropolitana, hecho que se debe considerar en el diseño de la ampliación del sistema, lo cual debe considerarse con especial urgencia ya que si el sistema está deficiente en condiciones normales, el impacto de un siniestro sísmico en caso de colapso total o parcial será severo.

4.2.2.1a Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “cuenca”

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Descripción del Estado Actual del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicación vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte , hasta la Ciudad de Guatemala	cuenca	Se encuentra azolvada en un 80% de escombros de material orgánico y suelo, Existe desprendimiento superficial de los suelos. Laderas con signos de erosión en la parte de la Presa Teocinte, Existen ramales que alimentan la cuenca que han sido contaminados por colonias residenciales, estos han sido desviados, pero en periodo de lluvias estas se rebalsan.	Daños moderados en el 15% del área. Desprendimientos superficiales de los suelos, desplazamiento de las masas del suelo, la obstrucción de cauces y represamiento.	365	50%	30,835

4.2.2.1b Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “presa Teocinte”

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte, hasta la Ciudad de Guatemala	Presa Teocinte	Se encuentra azolvada hasta una altura desde la base de 12 m. presenta pequeñas filtraciones, tiene mas de 70 años de su construcción lo que la hace mas vulnerable a la actividad sísmica.	Posible aumento de las filtraciones de agua, debido a fisuras por fallas. El extra asolvamiento por desprendimientos de suelos, las aguas podrían desplazarse sobre el rebalse de la presa, lo que disminuiría el caudal de servicio. Interrupción del tendido eléctrico, de las comunicaciones y de las vías de acceso. Aumento considerable de la turbiedad de las aguas en 200 UTN.	30	50%	24,225

**4.2.2.1c Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio
“línea de conducción Teocinte I, tubo H.F. 18 plg.”**

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto del sismo	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1.Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Via Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte , hasta la Ciudad de Guatemala	Línea de Conducción Teocinte I	No se reportan rupturas o rajaduras, exteriormente no presentan corrosión, se encuentran en buen estado aparente, Tiene 20 años de uso, sobre su vida útil.	Estas podrían taparse en la parte inicial de la tubería en la presa debido al exceso de suelos desprendidos en la cuenca. Se espera 10, fallas para la tubería Teocinte I (Capítulo 6). Estas fallas se esperan en la zona 2 de la figura 6.9a, donde la tubería, pasa por puentes donde no hay uniones flexibles.	68	0	24,225

**4.2.2.1d Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio
“línea de conducción Teocinte II, tubo H.F. 20 plg.”**

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte , hasta la Ciudad de Guatemala	Línea de Conducción Teocinte II	No se reportan rupturas o rajaduras, exteriormente no presentan corrosión, se encuentran en buen estado aparente, Tiene 20 años de uso, sobre su vida útil.	Estas podrían taparse en la parte inicial de la tubería en la presa debido al exceso de suelos desprendidos en la cuenca. Se espera 10, Capitulo 6, fallas para la tubería Teocinte II.. Estas fallas se esperan en la zona 2 de la figura 6.9a, donde la tubería, pasa por puentes donde no hay uniones flexibles	68	0	24,225

**4.2.2.1e Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio
“presa Acatán y línea de conducción varios materiales”**

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte , hasta la Ciudad de Guatemala	Presa Acatán y conducción		Estas podrían taparse en la parte inicial de la tubería en la presa debido al exceso de suelos desprendidos en la cuenca. Se espera 12, fallas para la tubería (capítulo 6), estas se producirán en las secciones de tubería donde haya cambio de material, se produce un cambio de rigidez que hace vulnerable a la tubería.	68	0	24,225

4.2.2.1f Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “pozo Canalitos”

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte, hasta la Ciudad de Guatemala	Pozo Canalitos	Se encuentra en constante y normal operación, su estado es bueno, la tubería y equipo es relativamente nuevo.	Destrucción total o parcial de las estructuras del pozo y volcamiento de el panel de control electromecánico, (aplastamiento del tubo de succión), la conducción y la fosa de succión. Se esperan 2 fallas en la tubería de conducción (Capítulo 6.), específicamente en las uniones y en puentes que no presente uniones flexibles, con la consiguiente pérdida de agua. Interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso. Modificación en la calidad del agua por el deslizamiento debido a que es un área topográfica montañosa. Variantes en el caudal de servicio. La napa de agua subterránea se encauce a fallas recién abiertas e incluso probable contaminación con aguas de letrinas con la napa subterránea.	15	0	21,165

4.2.2.1g Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “pozos de Emergencia 1”

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte, hasta la Ciudad de Guatemala	Pozos de Emergencia I	Se encuentra en constante y normal operación, su estado es bueno, la tubería y equipo es relativamente nuevo.	Destrucción total o parcial de las estructuras del pozo y volcamiento de el panel de control electromecánico, (aplastamiento del tubo de succión), la conducción y la fosa de succión. Se esperan 4 fallas en la tubería de conducción, específicamente en las uniones y en puentes que no presente uniones flexibles, con la consiguiente pérdida de agua, la tubería se encuentra relativamente nueva. Interrupción de la corriente eléctrica, de las comunicaciones y de las vías de acceso. Modificación en la calidad del agua por el deslizamiento debido a que es un área topográfica montañosa. Variantes en el caudal de servicio. La napa de agua subterránea se encauce a fallas recién abiertas e incluso probable contaminación con aguas de letrinas con la napa subterránea.	15	0	21,165

4.2.2.1h Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “planta de tratamiento”

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte, hasta la Ciudad de Guatemala	Planta de Tratamiento Santa Luisa	Los floculadotes y sedimentadotes presentan algunas fallas. El sistema de Filtros está en buen estado y diseñados para amortiguamiento de cargas sísmicas, el edificio de oficinas en la planta es de adobe, y el techo del cuarto de químicos se encuentran en mal estado porque las tensiones de la estructura de techo están rotas.	Un colapso parcial del sistema de floculadotes y sedimentadotes, debido a las fallas que ya se visualizan. Se esperan fallas de relativa baja importancia en el sistema de filtros y cloración, en el sistema de cloración probable vuelco de los tanques de cloro. Colapso del techo del edificio de químicos, Edificio principal de ingreso de las aguas, presentarían fallas severas en la estructura principal, y colapsos del edificio de oficinas. Fallas en el suministro de energía eléctrica.	60	25%	52,000

4.2.2.1i Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “tanques de distribución de concreto”

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte , hasta la Ciudad de Guatemala	Tanques de Distribución	Agrietamiento en todo el perímetro superior de los tanques, con mas de 1” de ancho, se presentan también fallas verticales en algunas partes de las paredes y estas atraviesan el espesor de las paredes. Se puede deducir que pasa una falla geológica por los tanques y esta hizo torsión a los tanques provocando estas grietas.	Colapso parcial o total de los tanques, desplazamientos laterales del suelo, Pérdidas importantes de agua a través de grietas que afectaría inundando las calles del lugar, disminución del caudal de que va hacia la red de distribución debido a los daños en las cañerías de entrada o salida, Falla en el suministro de energía eléctrica, aunque el sistema funcione por gravedad.	60	25%	51,000

4.2.2.1j Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio “Tanque elevado metálico”

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte , hasta la Ciudad de Guatemala	Tanques elevado metálico	Este se encuentra en buen estado, no presenta piezas flojas ni corrosión tanto interior como exterior.	Daños leves, cortadura de tirantes diagonales, daños leves en la estructura de apoyo y en la cuba, principalmente en la zona de unión de la cuba y la estructura, donde entran y salen cañerías.	4	90%	1,000

**4.2.2.1k Matriz 2 – vulnerabilidad física e impacto en el servicio
“red de distribución H.F. 24 plg., 16 plg. y 8 plg.”**

Amenazas Propias de la zona	Características de la amenaza	Prioridad Relativa de la amenaza	Sistema de info. Y alerta a la empresa	Sistema de info. Después del evento	Área de impacto	Componentes expuestos (riesgos relativos)	Estado del componente	Daños estimados (tipo y número)	TR 100 (días)	Capacidad remanente Inmediata %	Impacto en el servicio (conexión)
Sismo Evento de gran magnitud e intensidad con epicentro muy cercano a la zona de estudio con generación de efectos de licuefacción, deslizamientos, y desplazamientos laterales del terreno	Sismo Magnitud Momento max.: 7.5 Intensidad de Mercali Modificada = VIII Fuente Sísmica= Falla de Santa Catarina Pinula Aceleración máxima esperada 0.40g Velocidad máx. 57 cm/seg	Prioridad Uno	Coordinadora MUNICIPAL para la Reducción de Desastres (COMRED) Coordinación NACIONAL para la Reducción de Desastres (CONRED)	1. Comunicar en vía radio y teléfono con unidades operativas y autoridades superiores 2. Vía Teléfono y radio entre las unidades operativas	Todo el sistema de la cuenca Del Teocinte, hasta la Ciudad de Guatemala	Red de Distribución	Esta en buen estado, y funciona bien, pero Existe un desorden en la red, no hay una planificación ordenada, no hay registros de su paso debido al constante crecimiento, esto lo hace muy vulnerable	Se esperan Fallas o Roturas a todo lo largo de la red, 4 fallas en la tubería 24", 4 fallas en la tubería 16" y 3 fallas en la tubería de 8". Estos serán presente en las partes de la tubería expuestas, uniones y en puentes, ya que en ningún caso presentan uniones flexibles.	36	0	51,000

- Discusión Matriz 2:

El sistema se encuentra en riesgo inminente, los componentes presentan serios problemas que no han sido atendidos, tal es el caso del cumplimiento de la vida útil de los componentes, el estado de los ríos que alimentan la cuenca , la cuenca misma, los componentes del sistema presentan desgastes considerables que si no se ven como un problema ahora, no se necesita un evento sísmico de gran magnitud para que afloren los problemas que pudieran llevar al colapso parcial o total del sistema, lo que preocupa porque en este momento se podría hacer mucho más fácil brindar tratamiento correctivo al sistema, lo que permitiría sacar un poco de ventaja a un evento sísmico importante. Hay que recalcar que no todo está en condiciones precarias, existen algunos componentes como los pozos de emergencia I, sin incluir Canalitos, así como algunos elementos dentro de la planta de tratamiento se encuentran dentro del período de vida útil, relativamente nuevos, con refuerzo estructural como es el caso de el área de cloración que fue diseñada por ingenieros estructurales japoneses trabajando para JICA, con refuerzos que permitan elasticidad en caso de existir una falla en el lugar que se abriera. Esto obliga a recomendar la creación de una organización que trabaje en un plan de mitigación que comprenda la restauración y reforzamiento estructural de los componentes.

4.3.1.1 Matriz 3 – vulnerabilidad administrativa de la empresa y capacidad de respuesta.

Nombre del sistema: Planta de Abastecimiento de Agua, Santa Luisa

Sistema de: Agua Potable

Organización Institucional	Operación y Mantenimiento	Apoyo administrativo	Capacidad de respuesta
<ul style="list-style-type: none"> PLANES DE ATENCION DE EMERGENCIA: <p>EXISTE SOLO UN PLAN DE EMERGENCIA EN CONTINGENCIA POR EMERGENCIA DE INTOXICACIÓN DE CLOROS. PERO NO ESISTE UN PLAN DE EMERGENCIAS A NIVEL NACIONAL NI REGIONAL SOBRE ATENCIÓN DE EMERGENCIAS EN CASO DE COLAPSO PARCIAL O TOTAL DEL SISTEMA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> PROGRAMAS DE OPERACIÓN <p>SE CUENTA CON PROGRAMAS DE OPERACIÓN DE LOS SISTEMAS, LIMITADOS POR LA ESCASEZ DE RECURSOS TECNOLOGICOS.</p> <p>EL PERSONAL ESTA CAPACITADO CON MÁS DE 10 AÑOS DE EXPERIENCIA</p>	<ul style="list-style-type: none"> DISPONIBILIDAD Y MANEJO DE DINERO <p>NO EXISTEN FONDOS ESPECIFICAMENTE PARA LA ATENCIÓN DE EMERGENCIAS. Y ESTA SUJETO AL FINANCIAMIENTO QUE LA EMPRESA PUEDA PROVEERSE POR SI MISMA</p>	<ul style="list-style-type: none"> ORGANIZACIÓN INSTITUCIONAL <p>EL APORTE DE LA ORGANIZACIÓN NO ES EL APROPIADO POR NO APOYARSE O REGIRSE EN UNA PLANIFICACIÓN FORMAL Y CONTINUA PARA LA ATENCIO DE EMERGENCIAS Y ESO HACE QUE SE DEPENDA EN DEMASIA DE LA ACTITUD INDIVIDUAL DE LOS FUNCIONARIOS AGRAVADO POR LA AUSENCIA DE ESTUDIOS DE VULNERABILIDAD Y LIMITACIONES EN LA INFRAESTRUCTURA FÍSICA Y LOS MEDIOS DE COMUNICACIÓN ESTO ES MUY CRÍTICO EN LA FASE DE FORMULACIÓN DE PLANES DE MITIGACIÓN</p>
<ul style="list-style-type: none"> COMITÉ DE EMERGENCIAS <p>NO SE ENCUENTRA CONSTITUIDO PERO ANTE EMERGENCIAS SE INTEGRARÍA PARA COORDINAR ACCIONES. A NIVEL NACIONAL SE CONFORMA POR LOS RESPONSABLES DE LAS AREAS DE OPERACION, MANTENIMIENTO, CONSTRUCCION, E INGENIERIA COORDINADOS POR LA GERENCIA, A NIVEL REGIONAL DE SANTA LUISA ESTE SE CONFORMA POR LOS RESPONSABLES DE LA OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO COORDINADOS POR EL JEFE DE PLANTA</p>	<ul style="list-style-type: none"> PROGRAMA MANTENIMIENTO PREVENTIVO <p>NO EXISTEN</p>	<ul style="list-style-type: none"> APOYO LOGÍSTICO DE PERSONAL, MATERIALES Y EQUIPO <p>EXISTE LA POSIBILIDAD DE MOVILIZACIÓN DE PERSONAL DE OTRAS ZONAS AL AREA DE DESASTRE PARA LABORAR CONJUNTAMENTE CON EL PERSONAL DE LA ZONA,</p> <p>NO HAY FLEXIBILIDAD LEGAL PARA LA CONTRATACIÓN DE PERSONAL EXTERNO.</p> <p>EXISTE LA DISPONIBILIDAD, SIGUIENDO LOS PROCEDIMIENTOS NORMALES DEL USO DE MATERIALES DISPONIBLES DE EMPAGUA</p> <p>EN CUANTO A VEHÍCULOS SE DISPONE DE LA FLOTA INSTITUCIONAL 15 VEHICULOS,</p> <p>NO ASI LOS QUE HAN SIDO ASIGNADOS A PROYECTOS ESPECÍFICOS CON FINANCIAMIENTO NO INSTITUCIONAL</p>	<ul style="list-style-type: none"> OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO <p>LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO A UN EVENTOS SÍSMICO NO ES LA ADECUADA POR FALTA DE REPUESTOS DISPONIBLES</p>

<ul style="list-style-type: none"> COMISION DE FORMULACION DE LOS PLANES DE MITIGACION Y EMERGENCIA <p>NO EXISTEN FORMALMENTE, SIN EMBARGO LAS AREAS DE INGENIERIA Y OPERACIONES FORMULA ALGUNOS PLANES DE MITIGACION Y EMERGENCIA, PRINCIPALMENTE POR MEDIO DE CAPACITACIONES</p>	<ul style="list-style-type: none"> MANTENIMIENTO CORRECTIVO <p>EXISTE UN BUEN DESEMPEÑO EN EL MANTENIMIENTO CORRECTIVO</p>	<ul style="list-style-type: none"> CONTRATO CON EMPRESAS PRIVADAS EN EL MERCADO <p>SI EXISTEN PERO NO PARA MITIGACIÓN</p>	<ul style="list-style-type: none"> APOYO ADMINISTRATIVO <p>LA CAPACIDAD DE RESPUESTA DEL AREA ADMINISTRATIVA ES DEFICIENTE POR LA CARENCIA DE LA PLANIFICACION DE LAS MEDIDAS DE MITIGACION Y EMERGENCIA, SI A ESO LE SUMAMOS LA LIMITANTE DE LOS RECURSOS FINANCIEROS DISPONIBLES</p>
<ul style="list-style-type: none"> CENTRO DE EMERGENCIAS <p>NO, EXISTE</p>	<ul style="list-style-type: none"> CORRDINACIÓN INTERINSTITUCIONAL <p>NO EXISTE</p>		<ul style="list-style-type: none"> INSTIUCIONAL <p>CON BASE EN LOS PUNTOS ANTERIORES SE CONCLUYE QUE LA CAPACIDAD DE REPUESTA INSTITUCIONAL ES INADECUADA, LO QUE PERMITE QUE LA VULNERABILIDAD EN CUANTO A LA RESPUESTA DE UN SISIESTRO SÍSMICO ES DEFICIENTE.</p>
<ul style="list-style-type: none"> COORDINACIÓN INTERINSTITUCIONAL <p>NO, EXISTE, PERO EN CASO DE EMERGENCIA, CONRED Y BOMBEROS PODRIAN BRINDAR AYUDA.</p>	<ul style="list-style-type: none"> PERSONAL CAPACITADO <p>EN TERMINOS GENERALES, LA CAPACITACION Y EXPERIENCIA DEL PERSONAL TANTO DE OPERACIÓN COMO DE MANTENIMIENTO ES ADECUADA</p>		
<ul style="list-style-type: none"> SISTEMAS DE INFORMACIÓN Y ALERTA <p>EXISTE UN SISTEMA DE INFORMACION RADIAL CON SERIAS LIMITACIONES POR FALTA DE UNIDADES, EL SISTEMA TELEFÓNICO NO ES FIABLE EN CASOS DE EMERGENCIAS</p>	<ul style="list-style-type: none"> MATERIALES Y ACCESORIOS <p>EL EQUIPO UTILIZADO TANTO ELECTROMECHANICO COMO DE CONDUCCION Y REDES DE DIST. NO EXISTEN REPUESTOS EN GUATEMALA, POR LO QUE SE HA TENIDO QUE HACER ADAPTACIONES Y HACER PEDIDOS A LOS FABRICANTES CON 2 MESES DE ANTICIPACION.</p>		
<ul style="list-style-type: none"> BRIGADAS DE TRABAJADORES QUE ACTUEN EN CUALQUIER MOMENTO <p>SI EXISTE, APROXIMADAMENTE 15 BIRGADAS DE EMERGENCIA EN CASO DE SINIESTRO QUE ESTAN CONSTANTEMENTE LISTOS PARA CUALQUIER EVENTUALIDAD.</p>	<ul style="list-style-type: none"> DISPONIBILIDAD DE EQUIPO Y MAQUINARIA <p>CON RELACIÓN A LA MAQUINARIA INSTIUCIONAL , SE CUENTA CON POCO EQUIPO(Capítulo 2, inciso iii de Equipos), LO QUE EN CASO DE EMERGENCIA HABRÍA UNA LENTA DISPONIBILIDAD POR LA DEMANDA QUE SE TENDRIA QUE CUBRIR.</p>		
	<ul style="list-style-type: none"> NO EXISTE EL PERSONAL DE MANTENIMIENTO NECESARIO, FALTA LINIEROS QUE CUIDEN LAS TUBERIAS DESDE LA CONDUCCION HASTA LA DIST. 		
	<p>EL PERSONAL NO TIENE BUENA COMUNICACIÓN, HAY 3 RADIOS UNICAMENTE.</p>		

- Discusión Matriz 3:

El sistema Santa Luisa administrado por EMPAGUA es altamente vulnerable, no hay una organización adecuada, debe existir un comité específico que trabaje en pos del sistema para la detección de deficiencias y problemas, así como planes de mitigación, esto deriva, deficiencias en la operación y mantenimiento, que aunque el desempeño actual de cada uno de los que operan es eficiente, su eficiencia se ve obstaculizada con la carencia de manuales que especifiquen procesos tanto de prevención como de corrección, así como repuestos en disponibilidad de uso suficientes como para atender cualquier eventualidad. Así como la operación y el mantenimiento dependen de planes, también debe existir un plan eficiente y formal para el apoyo administrativo que es un elemento vital en el correcto funcionamiento y encargado del expedito cumplimiento de los pasos a seguir determinados en un plan para la reconstrucción y/o rehabilitación del sistema Santa Luisa a la brevedad posible. Por lo tanto se concluye que la capacidad de respuesta de todas las áreas de la empresa son deficientes y altamente vulnerables, hasta que no haya un plan formal que sea práctico y que acorde con los recursos.

4.4.1.1a Matriz 4A – medidas de mitigación y emergencia vulnerabilidad operativa (1).

Elemento	Mitigación	Emergencia
Conducción Teocinte	<p>La tubería por el tiempo de uso de mas de 70 años es recomendable su cambio total, el espesor original de la tubería era de 1.3 cm. actualmente en el nivel mas bajo se puede apreciar que el espesor ha disminuido hasta en un 75%.</p> <p>En la actualidad en la cota inferior de la tubería ésta ha presentado espesores de 0.5 cm., aunque ésta no presenta corrosión pero está susceptible a fallas por fatiga del material en caso de movimientos oscilatorios muy fuertes y con cierta frecuencia, el cambio total de la tubería de Hierro fundido es una medida necesaria además de colocar uniones flexibles donde la tubería pasa por medio de puentes.</p>	Adquirir nueva tubería de HF de 20" y 18" y con todos sus accesorios.
Conducción Acatán	<p>Cambiar la tubería de concreto y Hierro fundido en el tramo de Acatán hacia Santa Luisa que está en mal estado y son aprox.1,100 m.</p> <p>Agregar uniones flexibles en donde la tubería pasa por medio de puentes.</p>	Adquirir nueva tubería de H.F. de 16" y sus accesorios, ya que esta tubería ofrece mayor durabilidad y resistencia. Es de suma urgencia el cambio de la tubería de concreto que se encuentra en muy mal estado, esta presente múltiples reparaciones en toda su extensión.
Pozos de Emergencia 1 y Canalitos	<p>Contar con algún tipo de químicos que puedan neutralizar las aguas en caso de contaminación por manganeso en la napa freática.</p> <p>Agregar uniones flexibles en donde la tubería pasa suspendida.</p>	<p>Urgente contratar mas personal que atienda los pozos ya que el conjunto de componentes que forman el sistema es demasiado grande y actualmente hay una persona asignada para cada pozo encargada del manejo de estos.</p> <p>Contar con un manual de operación.</p>
Planta de tratamiento	<p>Reconstrucción o reforzamiento del canal de mezcla y coagulación y los tanques de clarificación ya que estos presentan fallas en la estructura.</p> <p>La bodega de sustancias químicas y materiales, se presenta un deterioro considerable en la estructura de losa de concreto de 6 cm. De espesor presenta algunas fallas.</p>	
Almacenamiento y Distribución	<p>Reconstrucción y reforzamiento de los tanques existentes 45,000 m3.</p> <p>Realizar un estudio de localización de las redes Y optimización de las redes de distribución.</p> <p>Realizar mejoras en la red de distribución de las microrredes.</p> <p>Realizar control de los afluentes de los ríos que socavan las tuberías y los cimientos de los puentes que permiten el paso de la macro red de distribución.</p>	<p>Tener a su disposición al menos 5 camiones cisterna de 5 m3 c/u.</p> <p>Adquirir un equipo de excavación de pozos y equipo de bombeo</p>

- Discusión matriz 4a:

Para el sistema, la vulnerabilidad operativa se encuentra en un nivel de amenaza elevado, debido a que no hay un equipo humano adecuado, ni manuales de información del sistema, prevención, ni emergencia, ni el equipo mecánico suficiente para atender los problemas existentes y mucho menos las emergencias que se podrían suscitar como consecuencia de algún siniestro sísmico.

4.4.1.1b matriz 4B – medidas de mitigación y emergencia vulnerabilidad física (1)

Elemento	Mitigación	Emergencia
Cuenca	<p>Realizar estudio de vulnerabilidad de segundo nivel, es un estudio específico para el análisis de la cuenca que alimenta el sistema Santa Luisa.</p> <p>Dragar la cuenca azolvada hasta un 80%, Mantener la cuenca reforestada, trabajar conjuntamente con las municipalidades de los municipios aledaños para no contaminar los ramales, ya que estos han dejado de alimentar a la presa por su contaminación y esto ha afectado en el volumen de producción de agua.</p>	<p>Establecer un plan para evitar a toda costa que las aguas que vienen del embalse de monte Cristo, no contaminen las aguas de la cuenca ya que estos ramales han sido contaminados con aguas servidas de la colonia que tiene el mismo nombre.</p>
Presa Teocinte	<p>Desazolver la presa, liberar la tubería de dragado que se encuentran totalmente obstruida, reparar las filtración de agua, que podría convertirse en una cremallera en caso de sismo, estabilizar el suelo de los taludes que circundan las instalaciones de operaciones de la presa debido a que el material es selecto pero se han formado laminas que se han ido desprendiendo debido a la erosión por raíces. Reforzar el arriostamiento de la bomba de succión y panel de control. Establecer un convenio con EEGSA para atención prioritario del suministro eléctrico.</p>	<p>Existen afluentes que pasan paralelamente a la línea de conducción ,2 Km. de la presa Teocinte hacia La planta Santa Luisa que alimenta a la cuenca pero que no se aprovecha, se debe captar esta agua y conducirlas a la planta de tratamiento</p>
Línea de Conducción Teocinte I	<p>Cambiar todas las válvulas deterioradas que son 29 unidades. Agregar uniones flexibles en donde la tubería pasa por medio de puentes, lo mejor y recomendable es el cambio total de la tubería,</p>	<p>Las líneas de conducción está enterrada en un 40% es preciso hacer un examen minucioso del estado real de la tubería, al parecer la tubería pese a sus 70 años de uso esta en buen estado, pero por el hecho que ya caducó su vida útil, es fácil concluir que la tubería esta altamente vulnerable a un colapso, por lo que es imperativamente necesario la sustitución completa de esta. Es necesario prescindir de los servicios de personal encargado del diario control, supervisión y mantenimiento del estado físico de la tubería (linieros), los cuales no existen en este momento.</p>
Línea de conducción Teocinte II	<p>Cambiar todas las válvulas deterioradas que son 29 unidades. Agregar uniones flexibles en donde la tubería pasa por medio de puentes. Se recomienda la sustitución de la tubería por una nueva.</p>	<p>Las Línea de conducción está enterrada en un 40% es preciso hacer un examen minucioso del estado real de la tubería, al parecer la tubería pese a sus 70 años de uso está en buen estado, pero por el hecho que ya caducó su vida útil, es fácil concluir que la tubería está altamente vulnerable a un colapso, por lo que es imperativamente necesario la sustitución completa de ésta. Es necesario prescindir de los servicios de personal encargado del diario control, supervisión, y mantenimiento del estado físico de la tubería (linieros), los cuales no existen en este momento.</p>

<p>Presas Acatán</p>	<p>Dezasolver la presa, reparación de las fisuras de la presa. Construir un encauce paralelo para aprovechar el afluente del ramal que viene paralelo al río y que se une al río aguas debajo de la represa (este es utilizado cuando el nivel propio del canal de encauce de la presa disminuye). Mejorar el sistema de válvulas de la presa que controlan el desvío de las crecidas que perjudican la tubería asolvándola.</p>	<p>Debido a que la presa derivadota de caudal está completamente azolvada, cuando se producen las crecidas con las lluvias torrenciales las aguas deben ser desviadas hacia la cuenca hasta que la saturación de los sedimentos disminuya, se debe realizar un desarenador para no desperdiciar esta agua.</p> <p>Encausar hacia la Planta Santa Luisa el ramal pasa paralelamente al cauce de la presa, el cual se aprovecha únicamente cuando el nivel de agua de la presa disminuye.</p>
<p>Línea de conducción Acatán</p>	<p>Cambiar la tubería de concreto y de hierro fundido que son 1,100 m que se encuentra en mal estado, debido a que hay raíces que han crecido dentro la tubería y esta se encuentra con muchas reparaciones por fallas.</p>	<p>Cambio completo urgente de la tubería de concreto de presenta un severo deterioro, como fallas provocadas por movimiento telúricos y raíces que han crecido dentro de la tubería.</p>
<p>Pozo Canalitos</p>	<p>Proteger la bomba con alguna estructura capaz de resistir sismos y golpes por rocas o desplazamientos de suelos, ya que se encuentra rodea de de árboles y laderas con pendientes altas. Establecer un convenio con EEGSA para atención prioritario del suministro eléctrico.</p>	<p>Reforzar la caseta de bombeo ya que por causa del terremoto del 76, se produjeron fallas en las losas y paredes, que actualmente no han sido del todo reparadas.</p>
<p>Línea de conducción Del pozo Canalitos</p>	<p>Cambiar todas las válvulas deterioradas que son. Agregar uniones flexibles en donde la tubería pasa por medio de puentes.</p>	<p>Tener la capacidad de enviar a una cuadrilla electromecánica para hacer cualquier reparación</p>
<p>Pozos Proyecto Emergencia I</p>	<p>Establecer un convenio con EEGSA para atención prioritario del suministro eléctrico.</p>	<p>Tener la capacidad de enviar a una cuadrilla electromecánica a cada pozo para realizar cualquier reparación</p>
<p>Planta de Tratamiento</p>	<p>Tomar las medidas necesarias para reconstruir y reforzar el sistema de sedimentación y floculación, Ampliar el canal de ingreso de las aguas para poder tener la opción de aprovechar las aguas que han sido desperdiciadas. Establecer un convenio con EEGSA para atención prioritario del suministro eléctrico.</p>	<p>Reparar las fallas que presentan los sedimentadotes y el techo de la bodega de químicos, tener en stock material para reparación de grietas (materiales epóxicos)</p>
<p>Tanques de Distribución incluye tanque metálico</p>	<p>Reconstrucción y/o reforzamiento estructural de los tanques de concreto con capacidad para 45,000 m3, ya que estos presentan fallas en todas las paredes y peligra el colapso de éstos debido a sus grandes fallas. El tanque metálico se encuentra en buen estado, se sugiere, tener lo necesario para reparaciones mínimas como los arriostres.</p>	<p>Reparar las fallas que presentan los tanques, tener en stock material y equipo para reparación de grietas por medio de inyección (materiales epóxicos).</p> <p>Enviar un equipo de herreros con soldadores para reparación del tanque metálico</p>
<p>Red de Distribución</p>	<p>La Macro Red de distribución de Santa Luisa se encuentra en buen estado físico, no presenta corrosión ni picaduras ni fugas, el problema mayor que debe enfrenta es la socavación provocado por la erosión del poco control del torrente de las aguas pluviales, por lo que se sugiere un estudio de las partes mas expuestas a este tipo de socavaciones y aplicar algunos trabajos preventivos, ya que en este momento de invierno el problema se ha ido agravando y las tuberías corren el peligro de colapsar, como he podido ser testigo de un problema de socavación y la tubería colapsó en 15 m. lo que ha provocado la suspensión del recurso hídrico a algunas colonias de la zona 18.</p>	<p>Mantener un programa de observación de la situación física de la Macro Red que es la principal tubería de distribución de las aguas.</p> <p>Tomar acciones inmediatas en el momento de prever u observar una socavación de la tubería</p> <p>Importante mantener al menos una retroexcavadora para esos fines.</p>

- Discusión matriz 4b:

El sistema en conjunto presenta una alta vulnerabilidad física, como se describe en esta matriz cada componente en el sistema independientemente presenta severos deterioros, debido al cumplimiento de su tiempo de vida para lo que fueron diseñados, en esta matriz se enumera una serie de actividades urgentes para que este sistema esté en capacidad para soportar un siniestro sísmico y así evitar un colapso total.

4.4.1.1c Matriz 4C – medidas de mitigación y emergencia
 Vulnerabilidad administrativa (3)

Elemento	Mitigación	Emergencia
<p>Organización Institucional</p>	<p>Elaboración del programa para la atención de emergencias y desastres de acuerdo con las guías de OPS / OMS.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Institucionalización y organización del programa • Elaboración del análisis de vulnerabilidad (nivel 1) • Elaboración de un plan de mitigación • Elaboración de un plan de emergencias • Capacitación y divulgación <p>Dentro de este programa especialmente girar: directrices para realizar planes de emergencia, creación de un comité de emergencias o un departamento de mitigación y emergencia dentro de la organización de la empresa que actualmente no existe, Formalizar convenios de coordinación interinstitucional, para agilizar los procesos.</p>	<p>Realizar una practica de las rutinas de emergencia, conocidas</p> <p>A través del comité de emergencia o el departamento de emergencia coordinar con otras instituciones y lograr las primeras comunicaciones</p>
<p>Operación y Mantenimiento</p>	<p>Cubrir la demanda de comunicación radial con los empleados encargados del área técnica y operativa de la empresa.</p> <p>Renovar o actualizar y documentar los programas de operación y mantenimiento de la empresa.</p> <p>La empresa debe contar con un listado general del personal clave y de otras instituciones para los caso de emergencia.</p> <p>Mantener un control actualizado con detalle y especificaciones de los materiales y accesorios en stock</p> <p>Detallar y especificar el estado y características de los equipos que posee la empresa.</p> <p>Mantener equipos permanentes de mantenimiento de las líneas de conducción y la tubería de la macro red.</p> <p>Hacer un convenio con el departamento de la red de Distribución y el de obras civiles de Empagua para agilizar las reparaciones necesarias, ya que casi siempre es necesario hacer obras civiles para proceder a las reparaciones mas graves.</p>	<p>Se debe capacitar a los operadores de las distintas fuentes de abastecimiento y procesos de purificación de agua, en cuanto a que hacer en caso de desastres naturales.</p> <p>Se debe hacer el plan de acción en caso de una catástrofe, la cual no existe.</p> <p>Asignar un equipo de ingenieros profesionales con amplio criterio para diagnosticar los daños.</p> <p>Agilizar el traslado del personal de operación y mantenimiento con experiencias en el manejo de emergencias de las zonas no afectadas a las de desastres.</p> <p>Priorizar la reparación de los daños, Programar, dirigir y controlar las labores de rehabilitación.</p> <p>Proceder a la contratación de personal de no haber suficiente y de maquinaria local.</p> <p>Tener un plan para agilizar el rápido traslado de equipo y materiales de otras áreas operativas (vehículos, radios, bombas, retroexcavadoras, tuberías, accesorios de reparación, cortadoras de metal, etc.)</p> <p>Establecer horarios de racionamiento y reparto de agua.</p> <p>Mantener bitácora de acciones efectuadas y registro de las intervenciones,</p>

<p>Apoyo administrativo</p>	<p>Establecer normas y reglamentos para asegurar la disponibilidad de recursos financieros para emergencias, con procedimientos ágiles para su uso.</p> <p>Establecer procedimientos que faciliten el traslado de personal que se encuentran en áreas no afectadas a las áreas afectadas y desarrollar mecanismos flexibles que permitan la rápida contratación de personal de las zonas afectadas.</p> <p>El comité o el departamento para la mitigación de desastres deberán contemplar la compra de materiales y accesorios anticipadamente para evitar problemas mayores al no contar con los materiales adecuados.</p> <p>Levantar, vía departamento de adquisiciones listados de empresas constructoras privadas con su disponibilidad de equipo.</p>	<p>Trasladar de inmediato fondos a la dirección de operaciones de La Planta Santa Luisa e incrementar la caja chica del departamento de compras y transportes.</p> <p>Girar instrucciones para atender de inmediato los requerimientos del área afectada (fondos económicos, personal, materiales, y equipo) durante las 24 horas del día, inclusive fines de semana.</p>
-----------------------------	---	---

- Discusión matriz 4c:

El sistema presenta un alta vulnerabilidad administrativa ya que no existe un comité de emergencia definido y organizado para evaluar la vulnerabilidad y generar planes de emergencia, sino que cada área de la organización está comandada por el jefe inmediato, el cual también carece del tiempo para realizar dichos planes. Esta vulnerabilidad es la más dañina, porque la organización administrativa es la base de todo sistema, para este caso si se podría lograr una organización adecuada para administrar los recursos económicos y humanos para evitar un colapso del sistema y/o la pronta respuesta en la habilitación del sistema si éste llegara a colapsar por un evento sísmico.

5. ESTIMACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA Y VULNERABILIDAD DE TUBERIAS

5.1 Introducción

En este capítulo, se aplica una metodología para la determinación de fallas posibles en las tuberías que conforman el sistema, esta metodología consiste en la multiplicación de los factores como la edad y estado físico de la tubería, el tipo de material de la tubería, el tipo de suelo por donde pasa, factor de riesgo de licuefacción, estos aplicados a los kilómetros de tubería. A continuación se presenta el desarrollo de esta metodología.

5.2 Estimación de vulnerabilidad

En este punto se asocia directamente la vulnerabilidad de la tubería y el índice de daños generados por eventos sísmicos de determinadas características. Existen métodos para calcular o predecir estos índices de daño, los cuales serán expresados en cantidad de fallas por kilómetro de tubería, tomando en cuenta los factores como aceleraciones y velocidades pico de movimiento de suelo esperadas en el sitio, la intensidad según la escala de Mercalli modificada, el período fundamental de los estratos del suelo, la velocidad de propagación de ondas sísmicas y otros. Esta metodología es creada y propuesta por el Centro Panamericano de Ingeniería Sanitaria y Ciencias del Ambiente (CEPIS),(OPS/OMS, 1998).

Pero para trabajos de este tipo el CEPIS recomienda tomar en cuenta solamente las metodologías que relacionan el índice de daño de las tuberías con la intensidad de Mercalli modificada esperada en el sitio, ya que el resto de los procedimientos requieren de una serie de análisis especializados que podrían no estar al alcance de todos los investigadores que deseen aplicar las guías, ya que se requieren instrumentos especiales como contar con sistemas de medición como acelerógrafos y el hecho de esperar el conocer los resultados después de un evento sísmico.

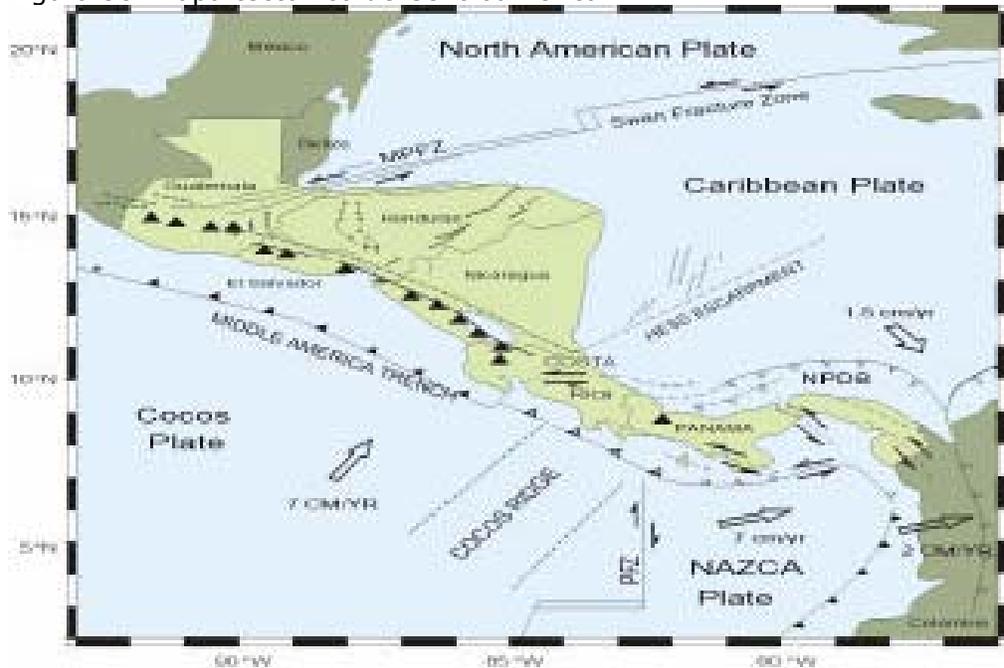
Dentro de las relaciones de fallas por kilómetro contra la Intensidad de Mercalli modificada esperada en el sitio se tienen dos tipos de gráficas: las que contabilizan daños generados por el fenómeno de propagación de ondas sísmicas (Fig. 39) y las que contabilizan los daños generados tanto por el fenómeno de propagación de ondas sísmicas como por las deformaciones permanentes del suelo (Fig. 40). Dado que ambas relaciones se refieren solamente a tuberías de hierro fundido (HF) que es el material más común de las tuberías, se presentan en la tabla III factores de multiplicación relativos de la cantidad de daños según el tipo de material de la tubería, extraídos de las investigaciones realizadas por Ronald T. Eguchi en 1991 y mostrados en la Fig. 41

Así, para estimar los daños esperados en las tuberías, se recomienda el siguiente procedimiento:

5.3 Evaluación de una amenaza sísmica

Paso 1: se toma como base las tuberías de hierro fundido y se estima el índice o factor de daños o fallas por kilómetro de tubería; las zonas a analizar pueden ser de baja, media y alta amenaza sísmica, las zonas de media a alta amenaza son las zonas que se encuentran cercanas a fallas a límites de placas geológicas y que

Figura 38. Mapa tectónico de Centroamérica



Fuente: Colegio de Ingenieros, 1996

tienen un historial sísmico (Tabla V, historial sísmico), que sustenta la alta probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico. Además la ciudad de Guatemala se encuentra en un graben geológico limitado

por las fallas de Santa Catarina Pinula y la de Mixco, ambas fallas se encuentran activas por registros del INSIVUMEH, aunque no han producido eventos importantes, pero sí se tienen datos de eventos sísmicos provocados por la fosa de subducción, las fallas Chixoy-Polochic-Motagua (fallas paralelas ENE-WSW). Si la zona analizada está en un área de poca amenaza estaría mas allá de los límites de zonas de amenaza mediana a alta se debe a que el sitio no tiene historial sísmico comprobado o que esté situado en un área geográfica donde si ocurriera un sismo provocado por una fuente sísmica cualquiera, ésta estuviera suficientemente lejos, de manera que el sismo sería atenuado en su totalidad o que llegará suficientemente atenuado para no provocar ningún riesgo. Para ello se utiliza la Fig. 39, porque se considera que es de poca probabilidad de que se desarrollen fenómenos diferentes a la propagación de ondas sísmicas.

Para una zona de amenaza moderada a alta se utiliza la Fig. 40 porque hay mayor probabilidad de que se presente tanto el fenómeno de propagación de ondas sísmicas como el fenómeno de deformaciones permanentes en el suelo. Para la ciudad de Guatemala se usará la gráfica en la Fig. 40 debido a su alta amenaza sísmica. Para determinar si una zona es de media a alta amenaza sísmica, se debe considerar el historial sísmico que tiene, en la ciudad de Guatemala hay historial según Tabla V, además La ciudad de Guatemala se encuentra en un graben geológico, con franjas de fallas múltiples: la franja oeste se conoce como la zona de falla de Mixco y la oriental como al zona de falla de Santa Catarina Pinula, aunque son fallas secundarias éstas están activas,

debido a que tienen alta probabilidad de ser activadas, ya que se encuentra en zona donde existen otras fuentes como el Motagua que podrían producir un sismo y esto provoque un impulso adicional para disparar el movimiento, tomando en cuenta que los límites de tensión en el suelo excedan lo que puedan resistir, pero lamentablemente no se ha podido reunir suficiente evidencia para clasificar una falla como "no activa". Pero existen otras fuentes sísmicas importantes como la fosa de subducción y las fallas Chixoy-Polochic-Motagua (fallas paralelas ENE-WSW), y la falla de Jalpatagua. Pero para determinar y diferenciar con mejor precisión una zona de media amenaza de una de alta amenaza hace falta calcular las aceleraciones pico del suelo (PGA) provocado por las ondas superficiales del sismo por medio de la fórmula de atenuación que se calcula en función de la magnitud esperada y la distancia de la falla al punto en estudio.

Fórmula de atenuación: $PGA_{\text{máx}} = [e(\ln(A)) * e(0.326)]/g$

donde, $\ln(A) = -1.579 + 0.554 * Mw - 0.56 * \ln(R) - 0.00302 * R$, y $R = \sqrt{(h^2 + 36)}$

(Mw = Magnitud de momento, R = Distancia corregida, h= dist. hipocentral, g= gravedad en m/s²). (Dahle, et.al., 1995).

Para hacer la diferenciación de una zona y la otra es necesario hacer rangos según su aceleración, en el caso de una zona de amenaza intermedia la aceleración $PGA_{\text{máx}} = [0.15g - 0.25g]$ y de una zona de amenaza alta $PGA_{\text{máx}} \geq 0.25g$, en la ciudad de Guatemala, se espera una aceleración máxima de 0.4g según la

Norma NR-2 de AGIES, por lo que entra en el rango de la zona de amenaza alta.

En base a la distribución los terremotos causantes de daños en el pasado y los límites de las placas se asumen 11 terremotos máximos esperados para cada falla (los cuales se denominarán terremotos meta), a continuación se muestra un cuadro con las características de las fallas y la intensidad esperada máxima para cada falla:

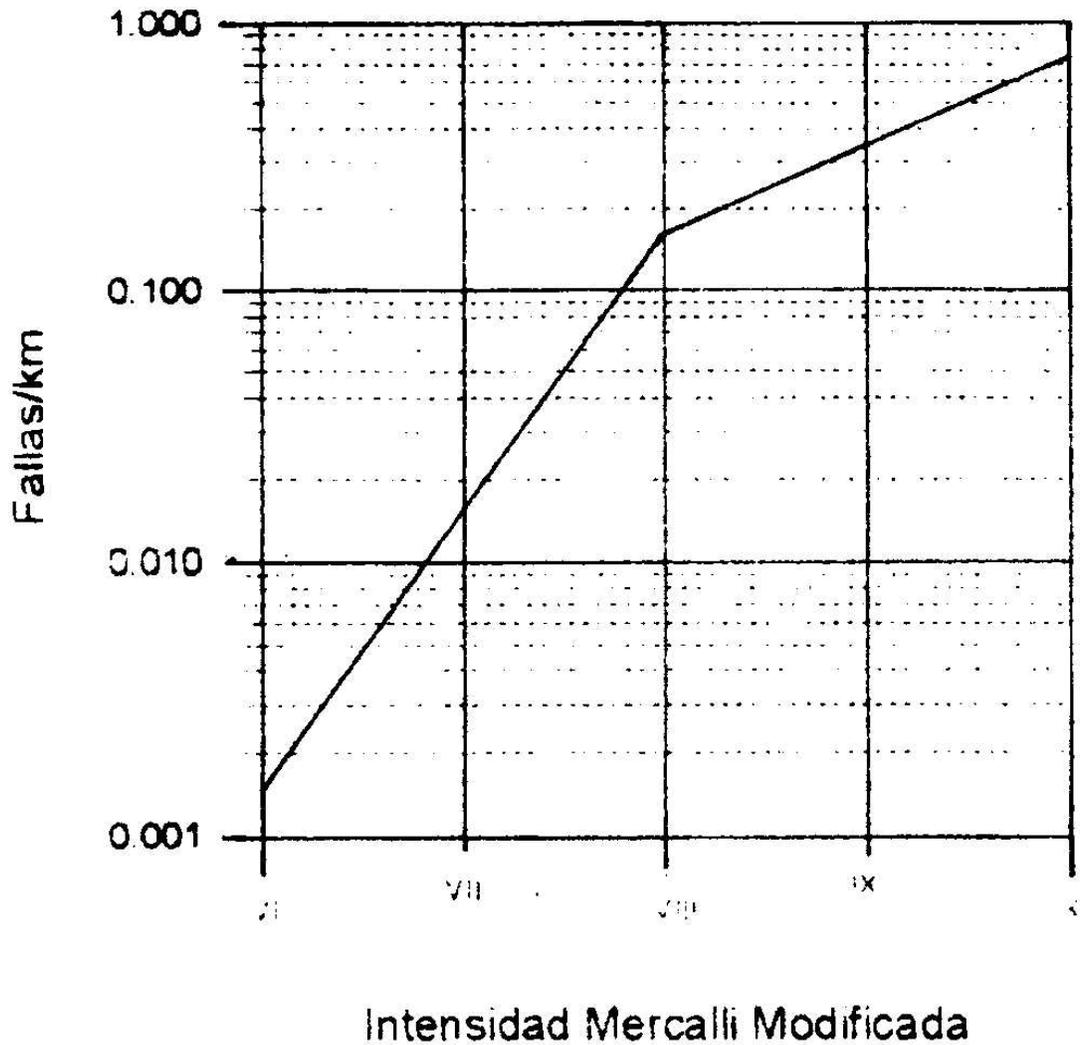
Tabla VI. Terremotos meta esperados para cada falla que afecta a ciudad de Guatemala

No.	Nombre de falla	Latitud (Grado)	Long. (Grado)	Prof. (Km)	Dist. hipocentral (h) a ciudad Guatemala (Km)	Ancho (km)	Rumbo (Grado)	Buzamento (grado)	Mw	PGA. Max. en g.
1	Mixco	14.55139	-90.6247	0	10	20	10	85	6.9	0.324 g
2	Sta. Catarina Pinula	14.58161	-90.4880	0	10	20	200	85	6.9	0.324 g
3	Jalpatagua segmento Oeste	14.49167	-90.6111	0	40	20	110	90	6.9	0.148 g
4	Chixoy – Polichic Segmento Oeste	15.41667	-92.1333	0	110	30	97	90	7.6	0.101 g
5	Chixoy – Polichi Segmento Central	15.30000	-91.1167	0	127	30	90	90	7.6	0.088 g
6	Chixoy – Polichic Segmento Este	15.30000	-89.9333	0	170	30	67	90	7.6	0.066 g
7	Motagua Segmento Oeste	14.83333	-90.7667	0	48	30	92	90	7.6	0.193 g
8	Motagua Segmento central	14.81667	-90.3167	0	90	30	76	90	7.6	0.120 g
9	Motagua segmento Este	15.01667	-89.5000	0	200	30	60	90	7.6	0.055 g
10	Subducción Segmento Superficial	12.41667	-90.1667	20	345	145.1	294.5	16	7.7	0.027 g
11	Subducción Segmento Profundo	13.56397	-89.6335	60	345	56.6	294.5	45	7.7	0.027 g

Se obtiene como resultado que la aceleración máxima esperada para la ciudad de Guatemala, será mayor si el sismo lo provoca la activación de Santa Catarina Pinula o Mixco, debido a la cercanía de la ciudad con estas fallas y no por el grado de intensidad que provoque. Por lo que se concluye que la zona para la ciudad de Guatemala es zona de amenaza alta, debido a que la aceleración máxima esperada es mayor a 0.25g. y muy cercana a 0.4g que es la aceleración esperada de AGIES.

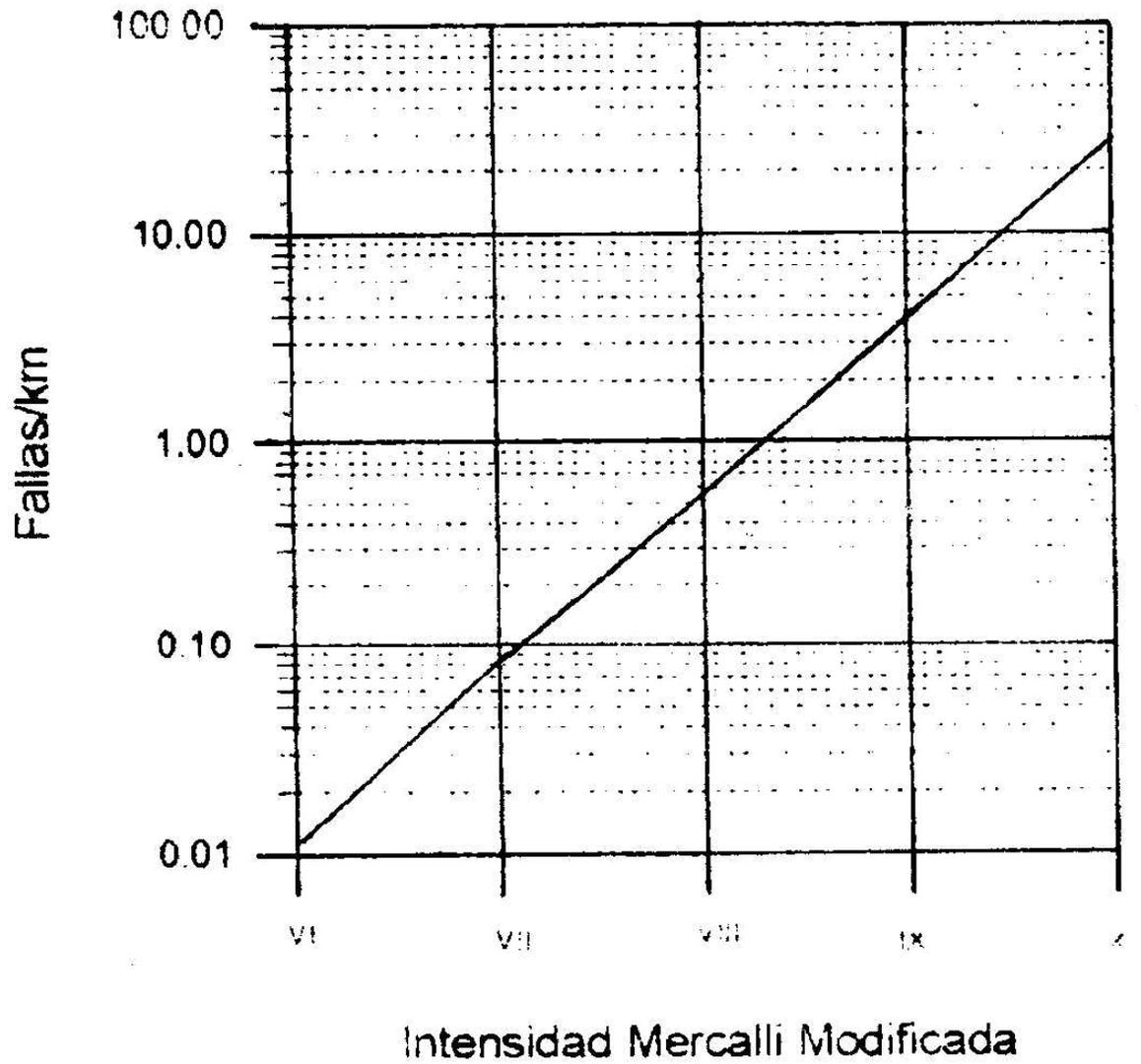
Una vez estimado el índice de daños para la tubería de hierro fundido se le aplican los factores de multiplicación de la tabla III, según el material de la tubería.

Figura 39. Índice de daños por propagación de ondas sísmicas en tuberías de hierro fundido, según Intensidad Mercalli Modificada.



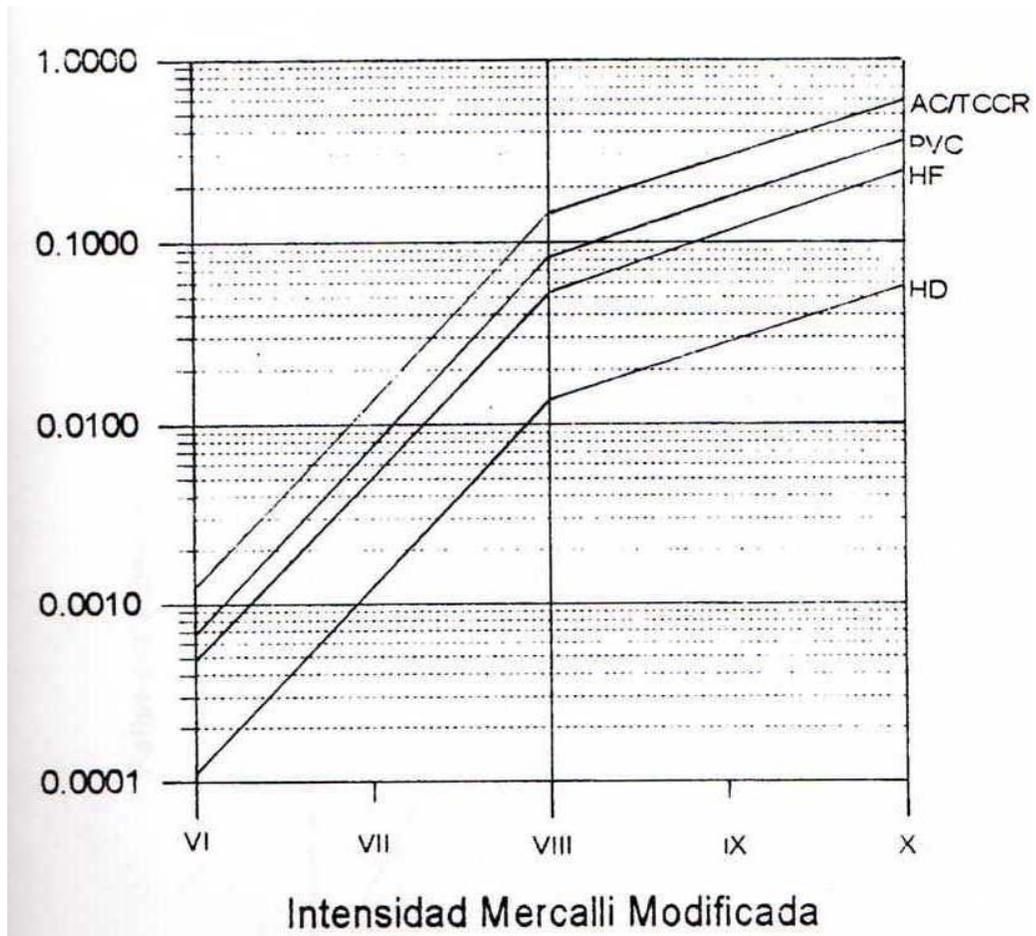
Fuente: CEPIS/OPS/OMS, 1996

Figura 40. Índice de daños por propagación de ondas sísmicas en tuberías de hierro fundido, según intensidad Mercalli modificada.



Fuente: CEPIS/OPS/OMS, 1996

Figura 41. Fallas en tuberías en relación a Intensidad de Mercalli según Eguchi



(Fuente: Estudio de Caso, CEPIS, 1996)

Tabla VII. Factores de multiplicación relativos al tipo de material

Material	Factor de multiplicación
Hierro dúctil (HD)	0.25
Hierro fundido (HF)	1.00
Cloruro de polivinilo (PVC)	1.50
Asbesto cemento (AC)	2.60
Tubo cilíndrico de concreto reforzado (TCCR)	2.60

Paso 2: debe estimarse la edad de la tubería y el estado general de la misma, con el fin de determinar según el criterio del investigador, un porcentaje de aumento que deberá aplicarse a la cifra calculada en el Paso 1. En el caso de tuberías viejas y en mal estado, el porcentaje de aumento podrá ser de 50%, para tuberías de regular estado el porcentaje será de 25% y para las tuberías en buen estado no se aplicará aumento. El aumento total puede calcularse como un promedio ponderado entre los porcentajes de tubería en mal, regular y buen estado.

Paso 3: de acuerdo con datos de daños generados en tuberías de distribución por sismos recientes, influye mucho el contenido de diámetros de la tubería. Así, para tuberías con diámetros menores o iguales a 75 mm. (diámetros pequeños) se recomienda aplicar un 50% de aumento; para tuberías mayores de 75 mm pero menores de 200 mm. (diámetros medianos) se puede aplicar el 25% de aumento; y para tuberías con diámetros mayores o iguales que 200 mm (diámetros grandes) no se aplica aumento en los daños esperados. El aumento total puede calcularse como un promedio ponderado entre los porcentajes de tubería distribuidos según el diámetro, en este caso no se aplica este factor debido a que todas las tuberías en estudio son mayores a los 200 mm de diámetro. Después de la determinación del índice de fallas se deben estimar los índices de los factores de la amenaza sísmica. (CEPIS/OPS/OMS, 1996).

Paso 4: estimación de los Índices de los factores de la amenaza sísmica según el sitio y factor de multiplicación por material de tubería.

Se recomienda definir un mapa según el CEPIS, donde se indica el trayecto de la tubería dividida en zonas, sugiriendo zonas de 2kms x 2kms (ver Fig. 46) para evaluar el suelo por donde pasa la tubería inciso 6.1.3 de este capítulo, y se resume en el tabla X, para cada zona se debe considerar lo siguiente:

a) Se debe asignar un factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FTPS) ver tabla VIII:

- Suelo rocoso el FTPS = 1.0
- Suelo firme el FTPS = 1.5
- Suelo blando el FTPS = 2.0

b) Se debe considerar un factor de amenaza por licuefacción potencial al suelo (FLPS) ver tabla IX:

- Suelo sin peligro de licuefacción el FLPS = 1.0
- Suelo con peligro moderado de licuefacción el FLPS = 1.5
- Suelo con alto peligro de licuefacción el FLPS = 2.0

c) Asimismo, se debe asignar un tercer factor por amenaza de deformación permanente del suelo (FDPS) ver tabla X:

- Suelos sin peligro de deformaciones permanente el FDPS = 1.0
- Suelos con peligro moderado el FDPS = 1.5
- Suelos con alto peligro el FDPS = 2.0

Cada uno de estos 3 factores anteriormente descritos, definidos para cada zona, se debe multiplicar entre sí y en base a los resultados, se estima si la amenaza en la zona es baja, moderada o alta, como a continuación se describe, ver resultados tabla XI:

Se calcula la amenaza total según la siguiente clasificación:

Si el resultado es < 2 se considera la zona de amenaza sísmica baja.

Si el resultado es ≥ 2 y < 4 se considera la zona de amenaza sísmica moderada.

Si el resultado es ≥ 4 se considera la zona de amenaza sísmica alta. (Ver tabla X).

Tabla VIII. Clasificación amenaza por tipo de perfil del suelo, con la aproximación de la clasificación de suelos según AGIES.

Tipo de perfil	Baja	Moderada	Alta
Descripción	Suelos bien consolidados con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arenas apreciable Suelos tipo B	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderado, Suelos tipo C	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alta contenido de arenas, zonas deltaicas de ríos y depósitos aluviales, Suelos tipo E

Tabla IX. Clasificación amenaza por licuefacción potencial del suelo, con la aproximación de la clasificación de suelos según AGIES.

Tipo de perfil	Baja	Moderada	Alta
Descripción	Suelos bien consolidados con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arenas apreciable, Suelo tipo B	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderado, suelo tipo C	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alta contenido de arenas, zonas deltaicas de ríos y depósitos aluviales, Suelos tipo E

Tabla X. Clasificación amenaza por deformaciones permanentes del suelo, con la una aproximación a la clasificación de suelos para AGIES.

Tipo de perfil	Baja	Moderada	Alta
Descripción	Suelos bien consolidados, terrenos con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas, Suelos tipo B	Suelos consolidados, terrenos con pendientes menores al 25%, rellenos compactados, áreas cercanas a cauces de ríos o fallas geológicas, Suelos tipos C	Suelos mal consolidados, terrenos con pendientes superiores al 25%, áreas ubicadas muy cerca o dentro de cauces de ríos o fallas geológicas. Suelos tipo E.

5.3.1 Descripción de las zonas sísmicas del del sistema Santa Luisa

Esta descripción de cada zona beneficia para conocer que factor de amenaza afecta a cada zona por donde pasa el sistema, el cual permitirá estimar los daños posibles que la tubería podría sufrir. Con base a los mapas de riesgo de licuefacción Fig. 42, el mapa geológico Fig. 43, mapa de clasificación de suelos Fig. 44 y el mapa geomorfológico Fig. 45, en superposición se concluye con la siguiente descripción de la clasificación de los perfiles de suelo, la amenaza de licuefacción y la geomorfología que caracteriza a cada zona por donde pasa la tubería de conducción del sistema y que se puede verificar en la Fig. 46, a continuación las conclusiones de cada zona y la

clasificación del tipo de amenaza que asecha ésta puede ser alta, media, baja.

Zona 1: se conforma mayormente de suelos rocosos con velocidad de corte entre 750 y 150 mts/s, a profundidades menores de 50 mts arcillas firmes y finas (Fig. 43), cenizas volcánicas (Fig. 44), por lo que los suelos se clasifican en según AGIES en tipo B, las arcillas que forman parte de la zona tienen características de buen drenaje, por lo que el nivel de licuefacción es bajo (Fig. 42) y en cuanto a la geomorfología se pueden observar suelos accidentados con pendientes no mayores a los 25% (Fig. 45 y 46). Según la tabla XI, la zona es de amenaza moderada.

Zona 2: se conforma mayormente de suelos rocosos por lo que el suelo se clasifican según AGIES en tipo B (Fig. 43) pero el suelo también lo conforman estratos arenosos y zonas deltáicas de ríos (Fig. 44). Según la tabla XI, la zona es de amenaza Alta.

Las características de la baja capacidad de drenaje de las arenas generan un nivel de licuefacción muy alto (tabla XI). En cuanto a la geomorfología se pueden observar suelos accidentados con pendientes mayores a los 25%, (Fig. 45 y 46) lo que la amenaza por deformaciones permanentes es alta. Según tabla XI, la zona es de amenaza moderada.

Zona 3: se conforma en su mayoría de suelos tipo B, con arcillas, cenizas volcánicas, (Fig. 43 y 44) el área es accidentada con pendientes no mayores a 25% (Fig. 45 y 46), los suelos se encuentran bien consolidados y con una moderada capacidad de drenaje (Fig. 42) y estratos con contenido de arenas moderado. Según tabla XI, la zona es de amenaza moderada.

Zona 4: zona barrancosa con pendientes mayores a 25% con alto riesgo de deformación permanente (Fig. 45 y 46), el suelo es tipo B, se compone de rocas, arcillas, cenizas volcánicas (Fig. 43 y 44) con capacidad de drenaje moderado (Fig. 42) Y estratos con contenido de arenas moderado. Según tabla XI, la zona es de amenaza moderada.

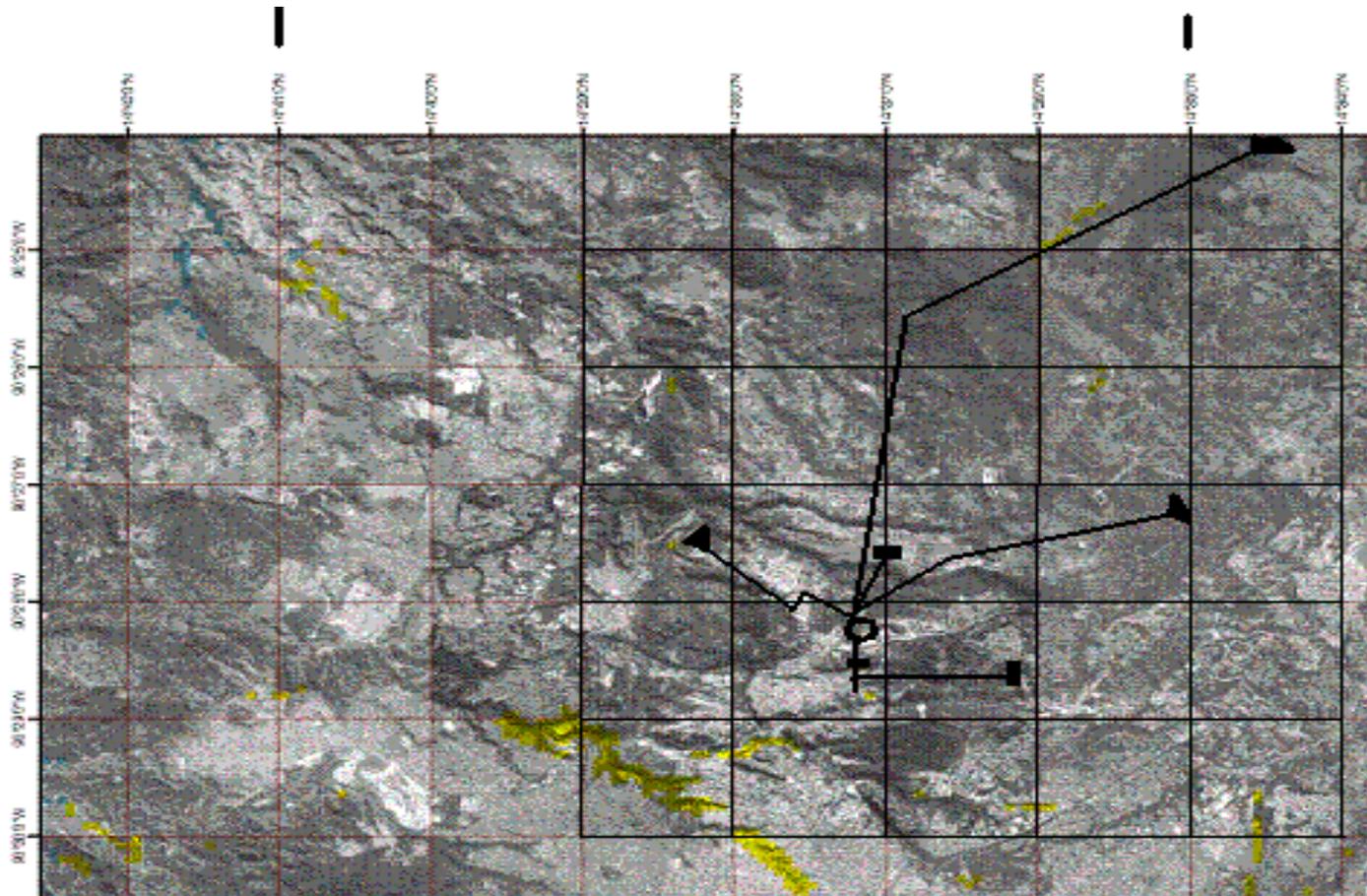
Zona 5, 6, 8 y 9: zonas barrancosa con pendientes no mayores a 25% (Fig. 45 y 46) con riesgo moderado de deformación permanente, suelo tipo C, y se compone de rocas, arcillas, cenizas volcánicas (Fig. 43 y 44) con capacidad de drenaje moderado (Fig. 42) y estratos con contenido de arenas moderado. Según tabla XI, la zona es de amenaza moderada.

Zona 7: zona de rocas, arcillas, cenizas volcánicas, suelo tipo C, (Fig. 43 y 44) su capacidad de drenaje es moderado lo que hace que tenga un riesgo moderado de licuefacción (Fig. 42) debido a que posee estratos con contenido de arena moderado, los suelos están consolidados, con pendientes menores a 25% (Fig. 45 y 46). Según tabla XI, la zona es de amenaza moderada.

Zona 10: zona barrancosa con pendientes no mayores a 25%, con riesgo moderado de deformación permanente (Fig. 45 y 46), suelo tipo B, (Fig. 43 y 44) y se compone de rocas, arcillas, cenizas volcánicas con capacidad de drenaje moderado (Fig. 42) y estratos con contenido de arenas moderado. Según tabla XI, la zona es de amenaza moderada.

Zona 11: zona con suelos consolidados y pendientes bajas de arcillas (Fig. 45 y 46), tipo C (Fig. 43 y 44) y con moderada capacidad de drenaje (Fig. 42), con estratos con contenido moderado de arenas, con alto riesgo de deformación permanente de suelos. Según tabla XI, la zona es de amenaza alta.

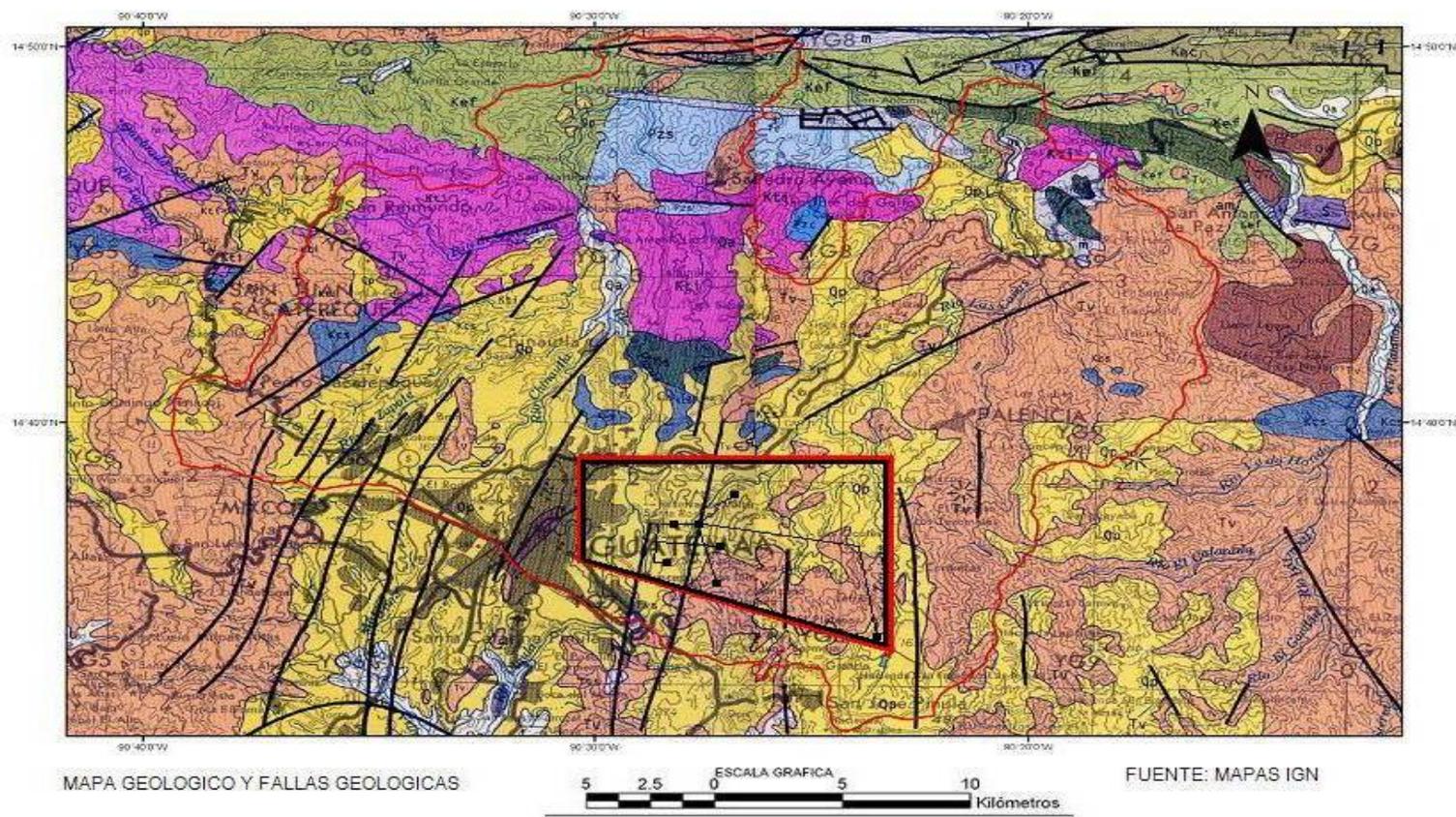
Figura 42. Mapa del sistema general en zonas de riesgo de licuefacción
Color Amarillo: Alto riesgo de licuefacción
Color Gris: Bajo riesgo de licuefacción



Fuente: (JICA, 2003)

Figura 43. Mapa Geológico y Fallas Geológicas.

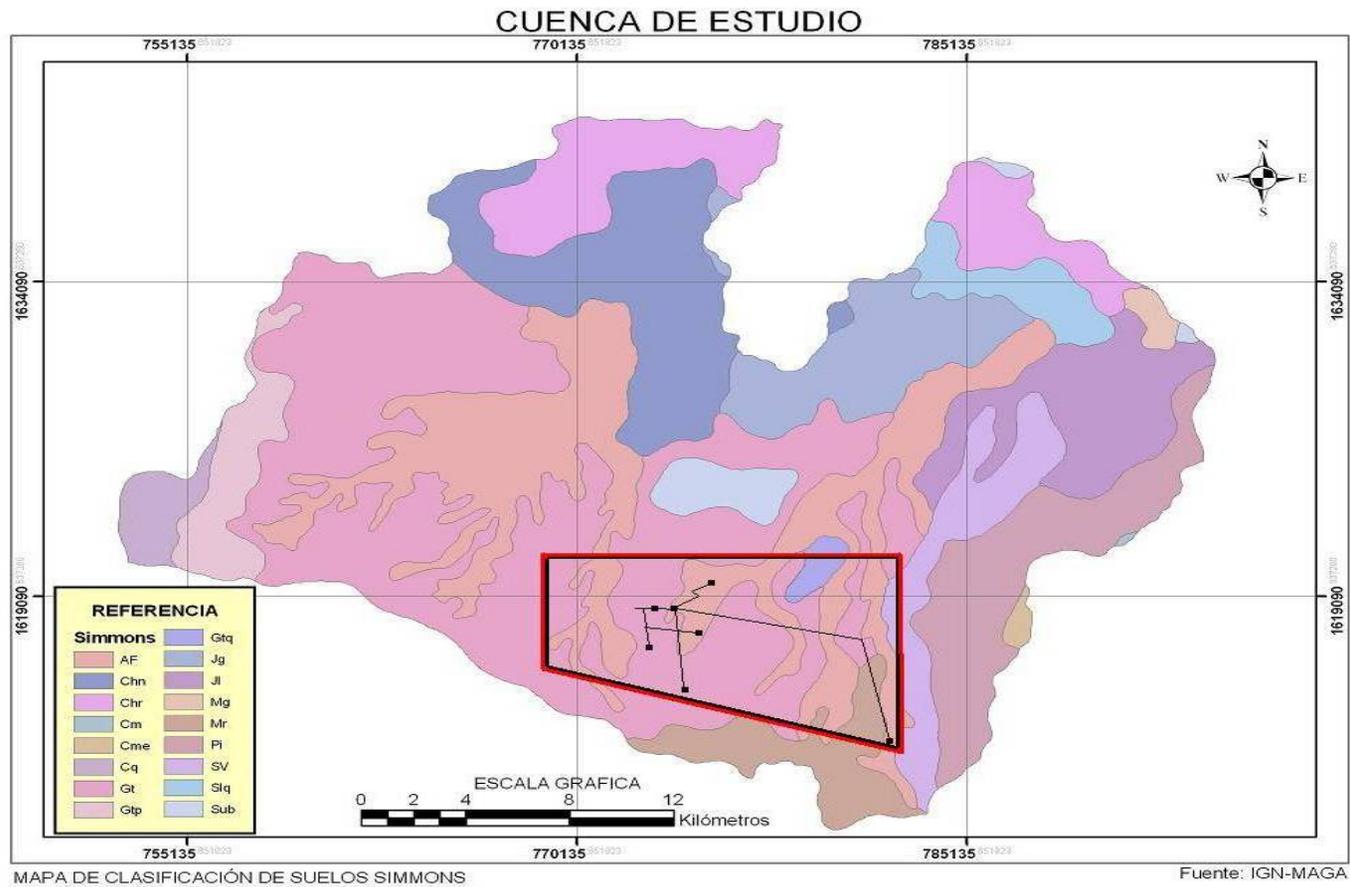
Nomenclatura: TV= B: Rocas ígneas y metamórficas, terciario, rocas volcánicas sin dividir.
Qp= C: Rocas ígneas y metamórficas, cuaternario, rellenos y cubiertas gruesas de ceniza pómez.
Qa= D: Rocas sedimentarias, aluviones cuaternarios



Fuente: IGN, con las siglas de los suelos según AGIES.

Figura 44. Mapa de clasificación de suelos Simmons, microcuenca No.6.

Nomenclatura: Af: áreas fragosas, barrancos,
 Gt: Guatemala, ceniza volcánica, arcillas, buen drenaje.
 Figura 5.6a Mapa de clasificación de suelos, sistema Santa Luisa

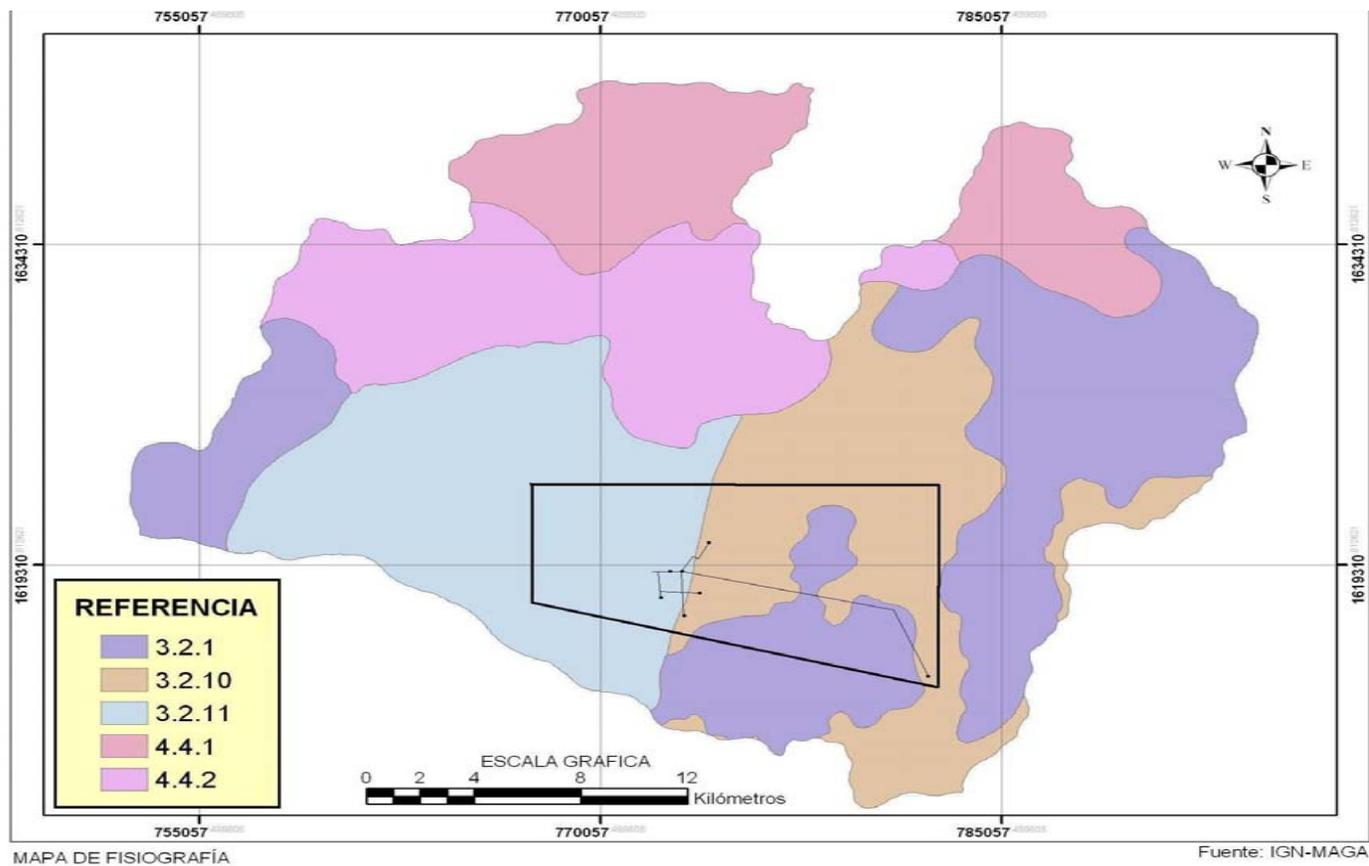


Fuente: Instituto geográfico Nacional

9

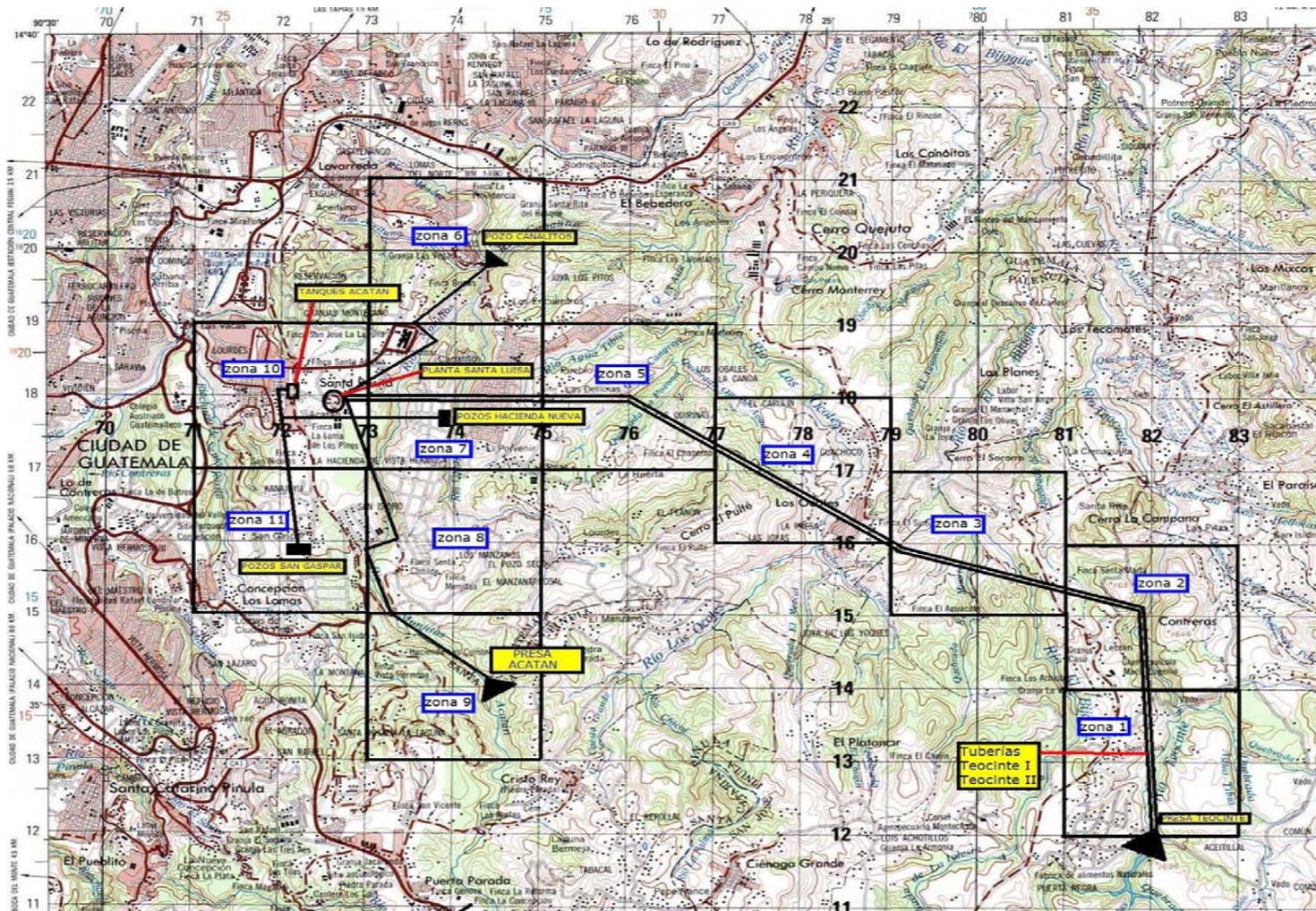
Figura 45. Mapa geomorfológico, microcuenca No.6.

- Nomenclatura: 3.2.1: montañas volcánicas del centro del país
3.2.10: relleno piroclástico, este de la ciudad.
3.2.11: valle Tectónico de la ciudad de Guatemala
4.4.1: colinas falladas y plegadas de Churrancho Sacatepéquez
4.4.2: macizo intrusivo de San Raymundo Sacatepéquez



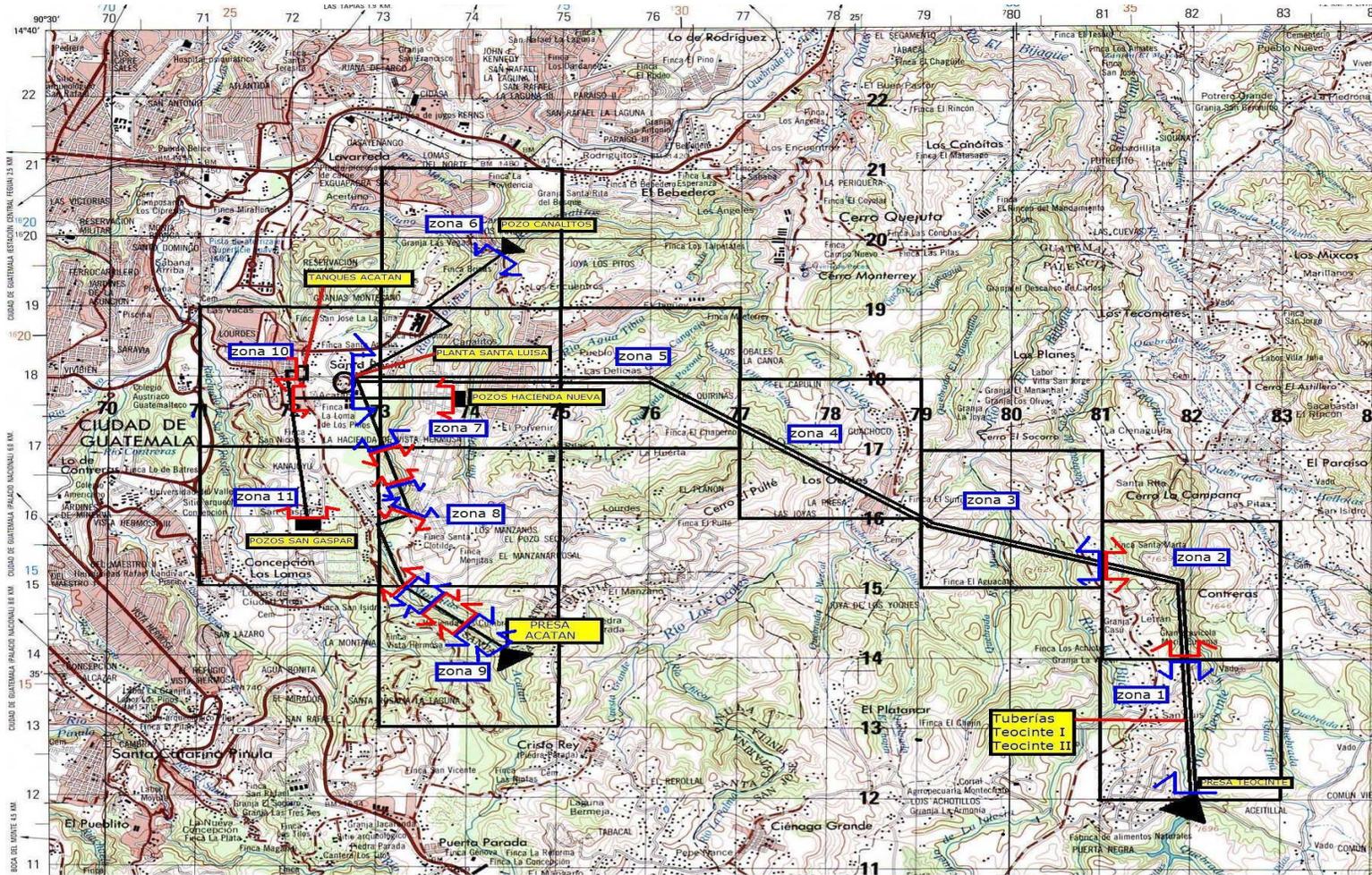
Fuente: Instituto geográfico Nacional

Figura 46. Mapa de localización de tuberías y zonificación de riesgo, del sistema Santa Luisa en ciudad de Guatemala.



Fuente: Mapa 1:15,000 IGN, Análisis propio del estudio.

Figura 47. Mapa del sistema, Santa Luisa, delimitando los tramos de tubería con claves de inicio y fin, para el análisis y cálculo de daños esperados, tomando como factor los suelo, la geomorfología, geología y riesgo de licuefacción



Fuente: Mapa 1:15,000 IGN, Análisis propio del estudio.

Tabla XI. Posibles combinaciones de los factores de amenaza, observar la descripción de cada una de las zonas y las tablas IV, V y VI en la Fig. 46.

#Zona	FTPS	FLPS	FDPS	Total	Tipo amenaza
1	1.00	1.00	2.00	2.00	Moderada
2	1.00	2.00	2.00	4.00	Alta
3	1.00	1.50	2.00	3.00	Moderada
4	1.00	1.50	2.00	3.00	Moderada
5	1.50	1.50	1.50	3.38	Moderada
6	1.50	1.50	1.50	3.38	Moderada
7	1.00	1.50	1.50	2.25	Moderada
8	1.50	1.50	1.50	3.38	Moderada
9	1.50	1.50	1.50	3.38	Moderada
10	1.50	1.50	1.50	3.38	Moderada
11	1.50	1.50	2.00	4.50	Alta

Elaborado en base a interposición del mapa de clasificación de suelos, mapa de riesgo de licuefacción, mapa geológico y mapa geomorfológico.

Paso 5: cálculo de los daños estimados en las tuberías para este estudio de acuerdo con el método propuesto, ver mapa 5.8a de localización de tuberías, ver Fig. 47, limitaciones de los tramos de tubería para el análisis de cálculo de fallas esperadas.

5.4 Aplicación de la metodología para la cuantificación de fallas del sistema Santa Luisa

5.4.1 Tubería de hierro fundido de 18" (Teocinte I)

Tubería que ya cumplió con su vida útil y actualmente no presenta fallas, pero por el exceso de uso lo hace muy vulnerable. Son 14 km. y de acuerdo con la zonificación por tipos de amenazas sísmica (tabla XI) se observa que la tubería pasa por las zonas 1,2,3,4,5,7 y 10.

A continuación la clasificación de la distancia de la tubería en longitud (kilómetros) por zona:

Zona 1: 2.10 km. de longitud, amenaza moderada

Zona 2: 2.15 km. de longitud, amenaza alta

Zona 3: 2.50 km. de longitud, amenaza moderada

Zona 4: 2.75 km. de longitud, amenaza moderada

Zona 5: 2.00 km. de longitud, amenaza moderada

Zona 7: 2.00 km. de longitud, amenaza moderada

Zona 10: 0.50 km. de longitud, amenaza moderada

Procedimiento de análisis para todas las tuberías:

Para la estimación de los tramos se supondrá una intensidad de Mercalli Modificada de VIII en todos los tramos (JICA, 2003) ver Fig. 37, capítulo 3.

Tramo 1: pasa por zonas 1,3,4,5,7,10:

- Todas las zonas presentan amenaza moderada (ver tabla XI) se usará gráfico de la Fig. 40, se ve que para una Intensidad de VIII se usará un factor o Índice de 0.55 fallas / Km. de longitud (Paso 1).
- Longitud: 11.85 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.0 (paso 1) ver tabla VII
- Factor por edad de tubería = 1.25 (paso 2)
- Factor por diámetro = 1.0 (paso 3)

Cálculo: $(11.85) \cdot (0.55) \cdot (1.0) \cdot (1.25) \cdot (1.0) = 8$ fallas esperadas.

Tramo 2: pasa por zona 2:

- Amenaza alta (ver tabla XI) se usará gráfico de la Fig. 40, se ve que para una intensidad de VIII se usará un factor o índice de 0.55 fallas / Km. de longitud (Paso 1).
- Longitud: 2.15 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.0 (paso 1)
- Factor por edad de tubería = 1.25 (paso 2)
- Factor por diámetro = 1.0 (paso 3)

Cálculo: $(2.15) \cdot (0.55) \cdot (1.0) \cdot (1.25) \cdot (1.0) = 2$ fallas esperadas.

5.4.2 Tubería de hierro fundido de 20" (Teocinte II)

Tubería que ya cumplió con su vida útil y actualmente no presenta fallas, pero por el exceso de uso lo hace muy vulnerable. Son 14 km. y de acuerdo con la zonificación por tipos de amenazas sísmica (tabla XI) se tiene que la tubería pasa por las zonas 1,2,3,4,5,7 y 10, a continuación la longitud en kilómetros por zona :

Zona 1: 2.10 km. de longitud, amenaza moderada
Zona 2: 2.15 km. de longitud, amenaza alta
Zona 3: 2.50 km. de longitud, amenaza moderada
Zona 4: 2.75 km. de longitud, amenaza moderada
Zona 5: 2.00 km. de longitud, amenaza moderada
Zona 7: 2.00 km. de longitud, amenaza moderada
Zona 10: 0.50 km. de longitud, amenaza moderada

Procedimiento de análisis para todas las tuberías:

Para la estimación de los tramos se supondrá una intensidad de Mercalli Modificada de VIII en todos los tramos (JICA, 2003) ver Fig. 37, capítulo 3.

Tramo 1: pasa por zonas 1,3,4,5,7,10:

- Todas las zonas presentan amenaza moderada (Ver tabla XI) se usará gráfico Fig. 40, se ve que para una Intensidad de VIII se usará un factor o índice de 0.55 fallas / Km. de longitud (paso 1).
- Longitud: 11.85 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.0 (paso 1) ver tabla VIII.
- Factor por edad de tubería = 1.25 (paso 2)
- Factor por diámetro = 1.0 (paso 3)

Cálculo: $(11.85) \times (0.55) \times (1.0) \times (1.25) \times (1.0) = 8$ fallas esperadas.

Tramo 2: pasa por zona 2:

- Amenaza alta se usará gráfico Fig. 40, se ve que para una intensidad de VIII se usará un factor o índice de 0.55 fallas / Km. de longitud (paso 1).
- Longitud: 2.15 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.0 (paso 1)
- Factor por edad de tubería = 1.25 (paso 2)
- Factor por diámetro = 1.0 (paso 3)

Cálculo: $(2.15) \cdot (0.55) \cdot (1.0) \cdot (1.25) \cdot (1.0) = 2$ fallas esperadas.

Resumen de fallas esperadas en la línea de conducción de Teocinte-Santa Luisa:

H.F. de 18" = 10 fallas

H.F. de 20" = 10 fallas

5.4.3 Tubería de materiales mixtos diámetros variables (Acatán- Santa Luisa)

La línea se encuentra construída con mezcla de materiales (concreto, H.F. y PVC). Ésta además se encuentra en zona de amenaza moderada en toda su longitud, se dividirá en tramos de tubería según el material, la tubería se encuentra en alto riesgo de colapso.

Tramo 1: pasa zona 9 (tubería de H.F. de 24".):

- Amenaza moderada, gráfico 5.2a (paso 1)

- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud (paso 1).
 - Longitud: 0.60 km.
 - Factor por material de la tubería = 1.0 (paso 1)
 - Factor por edad de tubería = 1.50 (paso 2)
 - Factor por diámetro = 1.0 (paso 3)
- Cálculo: $(0.60) \times (0.55) \times (1.0) \times (1.50) \times (1.0) = 1$ fallas esperadas.

Tramo 2: pasa por zona 9 (tubería de concreto de 16"):

- Amenaza moderada, gráfica 5.2a, (Paso 1)
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 0.30 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 2.60 ver cuadro 5.1
- Factor por edad de tubería = 1.50
- Factor por diámetro = 1.0

Cálculo: $(0.30) \times (0.55) \times (2.60) \times (1.50) \times (1.0) = 1$ fallas esperadas.

Tramo 3: pasa por zona 9 (tubería de H.F. de 16"):

- Amenaza Moderada, gráfica 5.2a, (Paso 1)
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 0.30 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.0
- Factor por edad de tubería = 1.50
- Factor por diámetro = 1.0

Cálculo: $(0.30) \times (0.55) \times (1.0) \times (1.50) \times (1.0) = 1$ fallas esperadas.

Tramo 4: pasa por zona 8 (tubería de concreto de 16"):

- Amenaza moderada
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 1.20 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 2.60
- Factor por edad de tubería = 1.50
- Factor por diámetro = 1.0

Cálculo: $(1.20) \times (0.55) \times (2.60) \times (1.50) \times (1.0) = 3$ fallas esperadas.

Tramo 5: pasa por zona 8 (tubería de PVC de 12") (nueva):

- Amenaza Moderada
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 0.30 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.5
- Factor por edad de tubería = 1.00
- Factor por diámetro = 1.0

Cálculo: $(0.30) \times (0.55) \times (1.5) \times (1.00) \times (1.0) = 1$ fallas esperadas.

Tramo 6 pasa por zona 8: (tubería de concreto de 16"):

- Amenaza moderada
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 0.90 km.

- Factor por tipo de material de la tubería = 2.60
- Factor por edad de tubería = 1.50
- Factor por diámetro = 1.0

Cálculo: $(0.90)*(0.55)*(2.60)*(1.50)*(1.0) = 2$ fallas esperadas.

Tramo 7: pasa por zona 10 (tubería de PVC de 16")(nueva):

- Amenaza moderada
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 3.25 km hasta la Planta Santa Luisa
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.50
- Factor por edad de tubería = 1.00
- Factor por diámetro = 1.0

Cálculo: $(3.25)*(0.55)*(1.50)*(1.00)*(1.0) = 3$ fallas esperadas.

Resumen de fallas Esperadas en la línea de conducción de Acatán - Santa Luisa:

Tubería varios materiales: 12 fallas

5.4.4 Tubería de hierro fundido de 8" (Canalitos-Santa Luisa)

Tubería pasa por zonas 6, 7 y 10 (tubería de H.F. de 8"):

- Amenaza moderada
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.

- Longitud: 2.60 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.00
- Factor por edad de tubería = 1.50
- Factor por diámetro = 1.0

Cálculo: $(2.60) \times (0.55) \times (1.00) \times (1.50) \times (1.0) = 2$ fallas esperadas.

Resumen de fallas esperadas en la línea de conducción de Canalitos -Santa Luisa:

Es un total de 2 fallas en toda la línea de conducción.

5.4.5 Tubería de hierro fundido de 18" (pozos de Emergencia Haciendo Nueva-Santa Luisa): pasa por zonas 7 y 10.

Tubería de H.F. de 18" hasta los tanques (nueva):

- Amenaza moderada
- Índice de fallas=0.55 fallas/km de longitud (paso 1).
- Longitud = 3.00 km.
- Factor por tipo de tubo = 1.00 (Paso 1)
- Factor por edad de tubería = 1.00 (Paso 2)
- Factor por diámetro = 1.0 (Paso 3)

Cálculo: $(3.00) \times (0.55) \times (1.00) \times (1.00) \times (1.0) = 2$ fallas esperadas.

5.4.6 Tubería de hierro fundido de 18" (pozos de Emergencia San Gaspar-Santa Luisa): pasa por zonas 10 y 11

Tubería de H.F. de 18" hasta los tanques (nueva):

- Amenaza moderada, y alta
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud (Paso 1).
- Longitud = 3.00 km.
- Factor por tipo de tubo = 1.00 (Paso 1)
- Factor por edad de tubería = 1.00 (Paso 2)
- Factor por diámetro = 1.0 (Paso 3)

Cálculo: $(3.00) \times (0.55) \times (1.00) \times (1.00) \times (1.0) = 2$ fallas esperadas.

Resumen de fallas esperadas en la línea de conducción de Los pozos de emergencia 1 (Hacienda Nueva y San Gaspar); Es un total de 4 fallas en toda la línea de conducción, ya que la misma es relativamente nueva.

5.4.7 Líneas de distribución principal (macro red):

Tubería que ya cumplió con su vida útil y actualmente se encuentra en buen estado físico, todavía se puede apreciar la capa de asbesto-cemento que cubre las paredes internas de la tubería, la cual no presenta fallas, pero por el exceso de uso lo hace muy vulnerable. Se supondrá una intensidad de Mercalli Modificada de VIII en todos los tramos. Acorde con la zonificación por tipos de

amenazas sísmica se obtiene que la macro red de distribución se encuentra en una zona de amenaza moderada por lo tanto:

Tubería de hierro fundido de 24"

- Amenaza alta
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 5.75 km.
- Factor por tipo de material de la tubería = 1.0
- Factor por edad de tubería = 1.25 (Paso 2)
- Factor por diámetro de tubería = 1.0 (Paso 3)

Cálculo: $(5.75) \times (0.55) \times (1.0) \times (1.25) \times (1.0) = 4$ fallas esperadas.

Tubería de hierro fundido de 16"

- Amenaza alta
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 5.80 km.
- Factor por tipo de tubo = 1.0
- Factor por edad de tubería = 1.25 (Paso 2)
- Factor por diámetro de tubería = 1.0 (Paso 3)

Cálculo: $(5.80) \times (0.55) \times (1.0) \times (1.25) \times (1.0) = 4$ fallas esperadas.

Tubería de hierro fundido de 8"

- Amenaza alta
- Índice de fallas = 0.55 fallas / km. de longitud.
- Longitud: 3.70 km.
- Factor por tipo de tubo = 1.0

- Factor por edad de tubería = 1.25 (Paso 2)
 - Factor por diámetro de tubería = 1.0 (Paso 3)
- Cálculo: $(3.70) \cdot (0.55) \cdot (1.0) \cdot (1.25) \cdot (1.0) = 3$ fallas esperadas.

Resumen de fallas esperadas en la línea principal de conducción desde los tanques de Acatán a las zonas de distribución.

Tubería H.F. de 24" = 4.0 fallas esperadas

Tubería H.F. de 16" = 4.0 fallas esperadas

Tubería H.F. de 8" = 3.0 Fallas esperadas esto da un total de 11.0 fallas esperadas en la macro red de distribución.

Estas fallas teóricamente calculadas tienen altas probabilidades de ocurrencia en los pasos puenteados que no tenga uniones flexibles (ningún puente tiene unión flexible), paso de cauces de ríos, en partes donde exista pendientes pronunciadas de más de 25% y donde exista riesgo de licuefacción.

Discusión de resultados:

Actualmente no existe ningún registro sobre daños ocasionados en la tubería, aunque para el terremoto del año 76 colapsó parcialmente un sedimentador (Morazán, 2001) y en su lugar se instaló una placa oscilante, inclinada en una parte del depósito, para mejorar la efectividad de la sedimentación. Pero

no se reporta ninguna falla en las tuberías de conducción del sistema Santa Luisa, y esto fue corroborado por medio de información del superintendente de la planta, quién indicó que no hubo problemas significativos en la tubería, el que no hubiera fallas fue debido a que la tubería es dúctil, su diámetro era más de 200 mm., según CEPIS el factor del ancho de la tubería es un elemento de protección de la misma tubería que ayuda a evitar deformaciones y rupturas fácilmente, las tuberías de conducción del sistema Santa Luisa todas superan los 200 mm. Además que el factor edad que presentaban para ese entonces se encontraba dentro de los límites de vida útil. Otro aspecto importante fue que el conjunto de grietas que componen la falla de Santa Catarina Pinula no fue activada, de haber sido hubiera provocado una mayor amenaza.

En Guatemala el sistema está asentado en suelos con muy poca probabilidad de licuefacción y el 60% de la tubería pasa sobre suelos con pendientes no mayores a 25%, la mayoría de la tubería es de hierro fundido de diámetros mayores a 200 mm. Además el suelo por donde pasan las tuberías presentan suelos de clase B o C en su mayoría según la clasificación de suelos de AGIES, por lo que eso contribuyó a que no hubieran daños severos en las tuberías, ya que con frecuencia los mayores daños sísmicos ocurren en depósitos suaves o sueltos de arcillas o arena de clase D de AGIES, donde las sacudidas tienden a ser mucho más fuertes que en roca o suelo duro o bien consolidado como es para Santa Luisa. A continuación se hace un resumen de daños esperados en las tuberías.

Tabla XII. Resumen de daños esperados

Tipo tubería	Material	Daños estimados
Conducción Teocinte - Sta Luisa.	H.F. 18" Teocinte I	10
	H.F. 20" Teocinte II	10
Acatán-Sta. Luisa	H.F. 24"	1
	CONC. 16"	6
	PVC 16"	4
	H.F. 16"	1
Canalitos-Sta. Luisa	H.F. 8"	2
Hacienda N. - Sta. Luisa	H.F. 18"	2
San Gaspar - Sta. Luisa	H.F. 18"	2
Macro Red de Distribución	H.F. 24"	4
	H.F. 16"	4
	H.F. 8"	3
Total		49

Se esperan 49 fallas de 57.65 kilómetros de tubería a una razón de 0.84 fallas por kilómetro.

Se puede observar que para el caso de estas tuberías, el valor de los daños esperados es aceptable, aunque se puede prevenir, aún más, poniendo las uniones flexibles en puentes de paso de tubería que son aproximadamente 55 puentes, lo que implicaría 2 uniones flexibles por puente. Si se considera que las tuberías son casi el doble del diámetro que cataloga la CEPIS, como tuberías fuertes ya que desestima factor alguno de riesgo debido a su diámetro y si se estima que el 60 % de las tuberías pasan por sitios de suelos consolidados y bajas pendientes, esto ayuda a concluir que las fallas estimadas pueden disminuir considerablemente a la hora de que se produzca un evento sísmico.

6. PLAN DE MITIGACIÓN Y EMERGENCIA

El propósito de este capítulo es presentar en forma breve las principales acciones de mitigación que se deban aplicar y el plan de emergencia propuesto para tal evento.

6.1 Plan de mitigación

Como se ha mencionado la zona de Guatemala es considerada de alta amenaza y vulnerabilidad sísmica, pero por motivos económicos y de interés real de prevenir catástrofes no se había realizado un análisis de este tipo para el sistema de abastecimiento de agua Santa Luisa.

Además, EMPAGUA no cuenta con planes ni comités de emergencias, ni una comisión de formulación de planes de mitigación y emergencia, por esa razón no se tiene ningún plan para EMPAGUA ni mucho menos para la planta Santa Luisa.

Por lo que es recomendable agregar un comité o una comisión encargada específicamente para este trabajo tan importante, que tenga el compromiso de trabajar para:

Desarrollar una estrategia para desasolar la cuenca, aunque se conoce que se han hechos esfuerzos para hacer tal actividad y ha fracasado debido que al hacer la extracción de sólidos, los cuales funcionan como cama de soporte para el movimiento de la maquinaria, para la maquinaria le es imposible salir, por lo cual ha

sido muy poco el desasolvamiento logrado (Vázquez, 2004). La presa contiene un ducto en su parte inferior que tiene una compuerta que al ser destapado debería ayudar al desasolvamiento de la presa drenando los desechos, pero ésta se encuentra obstruida con troncos y desechos pesados y existe un riesgo potencial de dañar la presa al retirar los desechos que la obstruyen (Flores, 2003). Por lo que se debe evaluar la situación exacta y determinar el mejor camino para el desasolvamiento, esto es importante porque ayudará a disminuir la turbiedad de las aguas, lo que hace que el proceso de purificación sea más sencillo.

El cuidado de los bosques por medio de guardabosques es imprescindible para luchar contra la erosión de los suelos y el desprendimiento de los mismos que asolvan la cuenca, son actividades esenciales para el bienestar y seguridad de la cuenca. Actualmente no existe el presupuesto para eso, por lo que hay que buscarlo por medio de reorganización financiera de la empresa y ubicar esta actividad dentro de las urgentes.

Buscar el método de la recuperación del río San Antonio que alimenta a la cuenca y que desemboca en el río teocinte de la presa, pero debido a la desembocadura de drenajes de colonias, como la colonia Monte Cristo y caseríos alrededor del mismo, este río ha tenido que ser separado del teocinte debido a su alta contaminación, este efluente se puede aprovechar con un tratamiento primario de aguas. Debe trabajarse en la creación de leyes severas que obliguen el tratamiento primario de las aguas servidas.

Realizar el diseño y presupuesto para las obras de reparación y de mejoramiento; para posteriormente realizar las compras y/o licitaciones con el fin de ejecutarlas. Tal es el caso de uniones flexibles en las tuberías para 55 puentes, lo que implica 110 uniones flexibles, así también como el caso de los tanques de almacenaje para distribución, los que en el terremoto del año 76 sufrieron serios daños porque se produjo una torsión que hizo fallar la estructura de muros de los tanques, en todo su contorno superior, lo que permite deducir que la transmisión de las cargas por corte a los muros es deficiente. Para ello se necesita la verificación técnica precisa del estado actual en que se encuentra cada uno de los componentes del sistema, en el caso de las tuberías, no se divisan problemas serios, aunque por la edad de la tubería se puede esperar cualquier cosa. Por medio de la detección de fugas se puede estimar el grado de deterioro de la tubería y así determinar si amerita cambios, para lo cual se debe tomar como guía el reporte del estado de los componentes en el capítulo 5 de las matrices de vulnerabilidad.

Invertir tiempo, esfuerzos y recursos para concientizar y educar sobre la importancia del tema de vulnerabilidad del sistema, ya que si se produjera un evento con las aceleraciones de 0.4g según el estudio de AGIES (capítulo 6), se prevé una catástrofe si permanece en las condiciones actuales, y adicional a eso se sabe que con el transcurrir del tiempo los componentes se deterioran, lo que hace que la situación se vea cada vez más compleja, por lo que para hacer realidad los trabajos de mitigación debe existir una conciencia real del estado del sistema, si se considera que de éste

dependen aproximadamente 176,600 personas para el año 2009 según EMPAGUA, que representa un 17% de la población de la ciudad de Guatemala abastecida, lo que si de presentarse un colapso en el sistema quedaría el sistema completo de EMPAGUA en una reducción de su capacidad del 17 %, sin tomar en cuenta los daños esperados de las otras plantas de agua, para lo cual es importante la determinación de su vulnerabilidad por medio de un estudio específico para cada planta. Por lo que el financiamiento de los proyectos de mitigación de desastres, debe estar como prioritario y los fondos deben ser enfocados en trabajos de mitigación antes que de ampliaciones, para cubrir los costos de las obras de reparación y mejoramiento como de las planillas de los empleados necesarios.

Gestionar el incremento de la cantidad de material en bodega disponible, ya que la cantidad de material disponible es muy baja, y no suficiente para atender una emergencia como: se debe considerar las matrices de vulnerabilidad física (capítulo 5), donde se estiman los daños esperados en las tuberías, como los daños presentes si los hay, de cada elemento componente de Santa Luisa, pero como medida urgente se sugiere mantener en bodega disponibles los materiales siguientes, considerando que se requiere aproximadamente 2 meses desde el pedido hasta la entrega: tubería H.F 24" 6 tubos de 6 metros con 6 coplas, H.F 20" al menos 11 tubos con 11 coplas, 15 tubos de H.F. 18" con 15 coplas, 6 tubos de H.F.16" con 6 coplas; 6 tubos de H.F. 8" con 6 coplas, aunque para el caso esta tubería de 8", 6 unidades de tubo de concreto de 16" y 4 tubos de PVC de 16" con 4 coplas,

actualmente hay suficiente material disponible para poder reparar cualquier problema en condiciones normales.

Verificar la inversión del presupuesto para EMPAGUA y resaltar la importancia en la inversión preventiva y correctiva en cuanto al tema de mitigación y emergencias, actualmente se ha recortado el presupuesto (se desconoce el porcentaje) prescindiendo de los servicios de personal clave en el mantenimiento y reparaciones del sistema de agua EMPAGUA, lo cual es una medida equivocada de bajar costos, porque aparte de tener menor capacidad de respuesta en caso de emergencias, los problemas que aquejan al sistema no se están atendiendo y en caso de un desastre éstos podrían hacer colapsar al sistema, invirtiendo fuertes sumas de dinero, cuando las reparaciones y mejoras para mitigación y prevención pudo costar una mínima cantidad.

En resumen en el capítulo de las matrices de vulnerabilidad se encuentran varias anotaciones de la situación actual de los elementos que componen el Sistema Santa Luisa, que fue evaluado por profesionales de la empresa EMPAGUA, que es de suma importancia corregir los problemas que exponen el sistema en general, por ello los resultados de la evaluación del sistema se pueden tomar como puntos de partida, ya que no existen medidas, ni planificación, ni obras en implementación que contribuyan a disminuir la vulnerabilidad del acueducto de EMPAGUA.

6.2 Plan de emergencia

Este tema se ha desarrollado en base a los archivos de la información de la experiencia vivida en el estudio de caso: terremoto del 22 de abril de 1991 – Limón, Costa Rica.

6.3 Organización y principales acciones

Para poder hacer frente a las emergencias causadas por cualquier tipo de desastre natural es necesario tomar decisiones dirigidas a establecer una adecuada organización de los recursos institucionales. A continuación se describen las acciones más importantes en este campo:

6.3.1 A nivel nacional

Es determinadamente de forma anticipada establecer un centro único de control de operación del sistema de EMPAGUA, así como de los sistemas privados. Desde estas instalaciones, los jefes de área de operación y mantenimiento establecerán comunicación con las jefaturas de todo el país con el fin de obtener una evaluación preliminar de los daños, por medio de sistemas de comunicación como teléfonos y radios, actualmente cada superintendente de cada planta cuenta con un radio que le permite comunicación con cada superintendente de cada planta, pero en cuanto a teléfonos se debe considerar el teléfono celular que cada superintendente posee de forma personal, aunque cada planta tiene su línea fija telefónica, no

hay mucho por hacer si al presentarse el evento sísmico la red telefónica de la ciudad sufre daños.

- Establecer un departamento con un equipo de gente dentro de la organización general de EMPAGUA; capacitada y experimentada para planificar y coordinar las actividades de emergencia y mitigación para las zonas más vulnerables, estableciendo controles de envíos de materiales, vehículos y equipo. Que este departamento sea el punto de unión entre todas las unidades administrativas de apoyo (almacenes, adquisiciones, transportes, tesorería, etc.). Que éstos tengan un enlace con CONRED y quienes actualmente cuentan con enlaces con el Ministerio de Comunicaciones, Infraestructura y Vivienda, Dirección General de Caminos, Cuerpo de Ingenieros del ejercito, etc., para coordinar el traslado de maquinaria, equipos y brigadas, en caso de ser necesario a las áreas afectadas para que conjuntamente se reestablezca el servicio de agua, teniendo claro que el servicio de agua en casos de desastres es imprescindible para el evitar el brote de enfermedades que afectarían a los ciudadanos.
- Establecer un fondo específicamente para atención de desastres, tanto para mitigación como para emergencias, acorde con los estudios de vulnerabilidad de todo el sistema para cada tipo de desastre que pudiera afectar. Además establecer un mecanismo ágil para el flujo efectivo, por lo que es importante apoyarse en instituciones gubernamentales que podrían agilizar el proceso en virtud de

la restauración del sistema. Se debe establecer y mantener disponible el servicio de caja chica para este departamento todos los días, incluidos fines de semana, feriados y durante las 24 horas del día.

El departamento de almacenaje de EMPAGUA debe tener un estrecho control y comunicación entre cada una de las bodegas, como la del Ojo de agua en la zona 8, La bodega zona 4 que está sobre la Atanasio Tzul a 100 metros del Gran Teatro Nacional de la ciudad de Guatemala, y la bodega de Santa Luisa dentro de las instalaciones de la planta en la zona 16 de la ciudad de Guatemala. En caso de una emergencia debe haber personal disponible las 24 horas del día, con un estricto control sobre todos los artículos despachados, sincronizados con un el transporte de manera eficiente y oportuna. Se debe agilizar el trámite de compra de materiales, pero hay que tomar en cuenta que los repuestos de tuberías y accesorios en cuanto a la red de conducción y distribución no son fabricados en Guatemala, por lo que hay que considerar que para la recepción de los nuevos repuestos se debe tomar en consideración dos meses para su entrega en Guatemala. Establecer algunos parámetros de qué materiales básicos deben estar disponibles en bodegas para poder tener una respuesta casi inmediata, así como un inventario actualizado de los mismos, y un control constante de reintegración de los materiales en caso de ser usados, para que nunca falte ante una emergencia.

6.3.2 A nivel local

El comité de emergencias y mitigación, formado por profesionales con experiencia deberán conjuntamente con el personal técnico de la planta Santa Luisa, realizar un diagnóstico general de la situación. Con ello se buscaría evidenciar la magnitud de los destrozos en el acueducto.

Es importante contar con cuadrillas de limpieza y supervisión de las tuberías al menos una (integrada por 4 personas) capacitadas para examinar las tuberías de conducción y distribución (se les denomina linieros), ya que éstos mantienen limpias las líneas de tubería como las reparaciones de éstas.

Formalizar una alianza con CONRED para la provisión de personal que hiciere falta y equipo y/o maquinaria suficientes para la cobertura de todos los sectores afectados como las áreas de la cuenca donde haya derrumbe y para el caso de movilización de la tubería, se requiere excavadoras para desenterrar la tubería si hubiese derrumbe y para cargar y colocar los tubos en las partes habilitadas, tractor D-6 para abrir paso o brecha en lugares derrumbados, retroexcavadora para cargar la tubería a los camiones de transporte, para lo cual se recomienda contar con al menos 2 excavadoras, 2 tractores y 2 retroexcavadoras, así como camiones para el transporte de la tubería, al menos uno disponible.

Se sugiere contar con el plan de apertura de un control de operaciones cerca de la planta Santa Luisa en caso las instalaciones fueran destruidas, este centro debería estar equipado con una central de radio, más de 2 líneas telefónicas, fax y los planos actualizados del acueducto completo, por lo que se sugiere hacer una actualización de los planos. En la biblioteca de EMPAGUA en el Ojo de Agua en la zona 8, están los planos del acueducto pero son informales y no actualizados de los cambios realizados, y tampoco existen copias digitales lo cual es importante adaptarse a la tecnología para hacer más fácil el desplegar los mismos. muchos de ellos están a lápiz, lo que hace que sea más difícil ver el plano, por lo que la actualización se vuelve urgente, desde su conducción, hasta su distribución al menos de la macro red, que son las tuberías principales de la red de distribución.

Este control de operaciones tendría las atribuciones de coordinar los trabajos de campo; velar porque haya disposición de equipo de construcción, materiales y personal para los diferentes sectores afectados, atender a través de teléfono los reportes de daños y problemas al público en general; informar a las autoridades de EMPAGUA y a la prensa sobre los avances de los trabajos de reparación y velar por el alojamiento y alimentación del personal que viene de otras regiones. Todo este trabajo debería regirse por medio de un esquema organizacional local para hacer frente a la emergencia de forma ordenada y fluida.

Este esquema se describe de la siguiente forma:

- Coordinación general de la zona (Superintendente de la planta Santa Luisa, o su representante) ubicado en el centro local de control de operaciones.
- Coordinación y recepción de materiales con organismos locales y si hubiera internacionales.
- Coordinación de la operación del sistema de Santa Luisa, de la rehabilitación de las conducciones (se debería contactar a los fabricantes de las tuberías para obtener las recomendaciones para la reparación de éstas, así también si hubieran daños a los tanques de almacenaje y de la red de distribución se deberá asesorar de un Ingeniero estructural experto en la rama para evaluar los daños y dar pronta solución de su rehabilitación, si fuera un daño estructural, en cuanto a la red de distribución se encargará el departamento de distribución de agua ubicada en la zona 4 de la ciudad capital, para la pronta reactivación del servicio de agua y si es necesario establecer un horario de racionamiento con el fin de distribuir equitativamente la poca agua con la que se dispone a todos los sectores de la ciudad.

- Planificación y estrategias de ubicación y aprovechamiento de fuentes sustitutas en casos extremos que se pierdan las principales fuentes de abastecimiento, estas fuentes pueden ser nuevas baterías de pozos alrededor de la zona 16, aunque no será muy difícil ubicar el agua subterránea, ya que la ciudad de Guatemala pareciera que está construida sobre una laguna, el manto freático se mantiene a 600 varas de profundidad, pese a la alta demanda de agua, y la gran cantidad de pozos que se sabe están construidos y los que no se saben. Por lo que se sugiere hacer un sondeo y cuantificar la cantidad de pozos de agua que hay realmente en el área metropolitana. Aunque el diseño de la red de distribución y las cotas de nivel de cada uno de los sistemas de abastecimiento de agua de la empresa EMPAGUA, para el área metropolitana, permiten que el servicio llegue desde las otras plantas a los mismos puntos que abastece La planta Santa Luisa. Este es un factor importante y muy útil en caso de un problema mayor con las fuentes de Santa Luisa.
- Coordinación responsable del control de la distribución de agua por medio de camiones cisternas, por lo que se debe mantener un control y un inventario de todo el equipo y maquinaria de la empresa, que podría ayudar en caso de emergencia, aunque cabe informar que hay varias empresas de agua operando en la ciudad de

Guatemala, por lo que en caso de un siniestro se espera que estas empresas brinden el servicio de agua a las colonias y/o sectores sin agua, pero en este caso, debido al elemento favorable de que todas las plantas de tratamiento de EMPAGUA para el área metropolitana, están interconectadas permitirá que el sistema no colapse del todo, y beneficiará en el sentido que disminuirá el número de familias en las regiones de la ciudad afectadas sin agua, la mayoría de la población quedará con agua, aunque racionada, debido a la disminución de la cantidad producida en relación a la demanda, esto sería en caso de que los daños ocasionados al sistema Santa Luisa fueran severos. Pero para ello se recomienda considerar esta coordinación, así también establecer un estimado acertado del número de familias afectadas.

- Se conoce que hay aproximadamente 176,600 personas si se estiman 5 miembros por casa serán 35,320 familias que se benefician del servicio de agua de la planta Santa Luisa, en este momento es imposible estimar el daño del sistema y cuántas familias quedarán sin agua, pero si se atienden a los trabajos de mitigación se estima que el porcentaje de la población que quede sin agua será mínima. Pero será vital el velar porque fueran atendidas las necesidades de agua de grupos prioritarios (orfanatos, asilos de ancianos, albergues de damnificados, etc.).

Estos daños podrían mitigarse a razón de las reparaciones y mejoras que se hagan al sistema.

- Coordinación responsable de la desinfección e inspección (si es el caso que el sistema haya fallado en la red de distribución) del agua que ingresa a la red, con el fin de evitar brote de enfermedades, deben verificar tanto el agua que se distribuye como el nivel de cloro de los tanques, el estado interno de los tanques de camiones de reparto y de los tanques cisterna portátiles.
- Coordinación responsable de la evaluación detallada de la cuenca que beneficia al sistema Santa Luisa, por ser la principal fuente de abastecimiento, el personal técnico de EMPAGUA junto con funcionarios de otras instituciones especialistas en el tema, se deberán tomar la tarea de evaluar los daños como deslaves, aluviones, turbiedad de las aguas, contaminación de las mismas con drenajes de aguas de uso doméstico y de posibles acciones a implementarse de inmediato. Como objeto de esta evaluación será establecer qué tan graves daños sufrió la cuenca y de ser así, buscar recursos superficiales cercanos a la planta de tratamiento.

CONCLUSIONES

1. La organización del servicio del sistema Santa Luisa es aceptable, hasta hoy no ha dejado de funcionar el sistema por deficiencias en la operación, brindando el servicio de agua regularmente, gracias a las correcciones que poco a poco se han ido ejecutando, por ejemplo, el nuevo tanque de Sedimentación y la estructura de filtros. Aunque estas mejoras se consideran apropiadas no son suficientes, en virtud de la respuesta de todo el sistema ante un evento sísmico. Si se considera que la población beneficiada con el servicio de EMPAGUA, crece a una tasa de 1.25% anual, se puede concluir que el sistema se hace cada vez más vulnerable y más compleja la mitigación y los planes de emergencia.
2. Para situaciones de emergencia no es apropiada la organización, ni los recursos con que se cuentan para estos casos, tanto a nivel local de Santa Luisa, como a nivel nacional de EMPAGUA. No existen planes de mitigación ni emergencia ni los recursos económicos destinados específicamente para esto.
3. No se cuenta con un programa de educación sanitaria para la población beneficiada.
4. La cuenca del sistema Santa Luisa que abastece al 65% de las conexiones que se registran para Santa Luisa, tiene riesgo y amenaza de contaminación debido a que las aguas servidas de las colonias residenciales son liberadas en sus aguas, aunque

las mismas han sido desviadas, a veces rebalsan su cauce de desviación y contaminan la cuenca; este río se podría aprovechar con un tratamiento primario.

5. El río Teocinte es el más importante de esta microcuenca y donde se encuentra la presa Teocinte y las tomas; ésta se encuentra azolvada en un 80% lo que podría provocar demasiado desperdicio de las aguas, ocasionado por la turbiedad. Estas situaciones hacen que la cuenca esté altamente vulnerable ante el impacto de un sismo.

6. Las líneas de conducción Teocinte I, II y Canalitos de 18 plg., 20 plg. y 16 plg. respectivamente y las líneas de la macro red de distribución de 24", 16" y 8" son tuberías de hierro fundido que ya sobrepasan su vida útil, lo que incrementa su situación de vulnerabilidad ante un evento sísmico. Es importante recalcar que, a pesar de la edad de la tubería de conducción y la red principal de distribución, se encuentran en buen estado, actualmente no presenta corrosión ni rajaduras, se esperan 49 fallas en todas las líneas de conducción. Los mayores riesgos se encuentran principalmente en los puntos donde la tubería hace puente que son 55 puntos a lo largo de la tubería; porque las fuerzas sísmicas podrían ocasionar corte en las tuberías, ya que no tienen uniones flexibles.

7. Los otros puntos vulnerables se encuentran en la línea de conducción de la presa Acatán hacia Santa Luisa, ya que la tubería de hierro fundido de 16 pulg. presenta ciertas picaduras por la corrosión del hierro y las reparaciones que presenta se han hecho sustituyendo la tubería de hierro por tubería de PVC de 16 plg., y resalta la falta de experiencia en reparaciones técnicas y la escasez de accesorios de repuesto para la tubería de H.F. lo que agrava la situación, porque incrementa la vulnerabilidad de la tubería en las uniones de PVC y hierro fundido, ya que los materiales son diferentes y tienen distintos grados de deformaciones y rigideces.

8. Los tanques de distribución se encuentran en estado altamente vulnerable, se puede deducir que se encuentran falladas sus paredes en un 50%, esto amenaza a la estructura y al sistema ya que al haber un evento sísmico terminarán de dañarse hasta el colapso. El Tanque de distribución metálico está en buenas condiciones y no se esperan mayores daños por la ductilidad del mismo y al observar su estructura no se evidencia daños ocasionados por la corrosión y todas sus piezas están perneadas y soldadas en su posición original.

9. Para la ciudad de Guatemala se prevén sismos ocasionados por distintas fallas como Chixoy, Jalpatagua, Polochic, Motagua y Subducción, con un rango de aceleraciones de magnitud de momento [6.9, 7.7] y aceleraciones en rangos de [0.39g ,0.03g]. Los daños más severos se esperan por las aceleraciones pico del suelo provocados por las fallas como

Mixco y Santa Catarina Pinula, ya que el sistema se encuentra sobre la segunda de las indicadas y éstas podrían producir aceleraciones de 0.39g según INSIVUMEH en el capítulo 6.

10. La producción de agua del sistema Santa Luisa, actualmente presenta déficit, ya que el requerimiento es mayor que la capacidad de producción, se presenta un déficit estimado de 248 l/seg. Al esperar un evento sísmico de dimensiones catastróficas que provoque fallas importantes, se puede observar que el impacto es crítico si se sabe que la capacidad máxima de producción de agua de la planta son 465 l/seg. y su producción actual es de 302 l/seg. Se ve que ni siquiera en su máxima capacidad podría abastecer la demanda, presentando un déficit de 85 l/seg.

11. El estado físico de las tuberías es crítico debido a que han excedido el tiempo de vida, según el diseño, el tiempo de vida asciende a 70 años, en la actualidad estas tuberías tienen los 90 años de uso. Estas tuberías conducen 260 l/seg. que es el 86% de la producción de Santa Luisa, lo que hace ver que al momento de un corte en la conducción caería la producción hasta un 14%, sin tomar en cuenta los daños ocasionados a los vertederos y a otros elementos de la planta. En cuanto a los tanques de floculación existen fallas de corte en algunas paredes de éstos, las cuales han sido reparadas, pero han sido reparaciones superficiales para resolver el problema de filtraciones, lo que hace peligrar que en un evento sísmico las cargas sísmicas no sean absorbidas por los muros, lo que

provocaría un posible colapso. Los tanques de distribución están fallados en todo el contorno de la pared, por lo que también están en peligro de colapso.

12. La administración se encuentra en situación crítica en relación a la atención adecuada en caso de un desastre natural y presenta deficiencia en la planificación e implementación en medidas de mitigación, porque no existe un comité específico para realizar dicho trabajo.
13. Las medidas de mitigación a ser implementadas podrían disminuir considerablemente los daños esperados, en el caso, de realizar las reparaciones o mejoras a los elementos del sistema, mejoraría la vulnerabilidad operativa y fortalecerían la capacidad de respuesta de atención de las emergencias a nivel local de Santa Luisa.
14. Para la estimación de los daños se tomó como partida la intensidad de Mercalli modificada (IMM) de VIII, con una magnitud de 6.9 producido por la falla de Santa Catarina Pinula cuya magnitud podría producir una aceleración pico del suelo de 0.34g, acorde a la estimación de las aceleraciones esperadas calculadas con la fórmula de atenuación propuesta para la región centroamericana, dicho método no ha sido comprobado en Guatemala.

15. La situación de vulnerabilidad del sistema es Alta, debido a la carencia de planes de mitigación y planes de emergencia, acciones preventivas y correctivas formales y entrenamiento adecuado del personal de operaciones y emergencia. De ejecutar un plan de mitigación y emergencia se reducirían los daños provocados por el siniestro sísmico y el tiempo de rehabilitación del sistema sería menor.

RECOMENDACIONES

1. Es importante prever y tomar acción en cuanto a disponer de las reservas de materiales y accesorios para efectuar trabajos de corrección y prevención para evitar que al ocurrir un evento catastrófico natural no se logre una pronta rehabilitación.
2. Es imprescindible contar con planes de mitigación y emergencia, como se sugiere en el capítulo 7, ante un desastre de cualquier tipo, así como establecer normas y reglamentos institucionales para asegurar la disposición inmediata de los materiales y accesorios, dando así un valor importante a este hecho con el fin de reducir el riesgo ante las amenazas naturales.
3. Se deben mejorar los sistemas remotos de alerta, tener más unidades de radio, que los linieros tengan al menos una unidad para comunicar desperfectos (4 unidades), así como sistemas de información como circulares, y alerta interinstitucional para reducir el riesgo debido a la falta de información.
4. Tener prioridad en este momento de la inversión de las medidas correctivas y mitigación, pues éstas son diseñadas para reducir la vulnerabilidad del sistema Santa Luisa, en lugar de priorizar las acciones de ampliación, para tener un panorama más positivo después de un evento sísmico.

5. Se debe contar con una cuadrilla de 4 elementos más para que trabajen en la supervisión del estado de la tubería periódicamente, limpiando y observando si existen fugas y reportarlas, así también otra cuadrilla de 4 elementos para hacer trabajos preventivos y preparados para hacer trabajos después de un evento sísmica, en caso de no contar con ellos se puede pedir auxilio a CONRED para facilitar estos elementos para prevenir desastres y en emergencia que estén disponibles para hacer labores de restauración.

BIBLIOGRAFÍA

1. Colegio de Ingenieros. Diagnóstico de la Prevención de Desastres naturales en Guatemala. XX Aniversario del Terremoto del 4 de febrero de 1976, Guatemala. 1996.
2. Monzón-Despang, Hector. "La Construcción y el uso del terreno en Guatemala, su Vulnerabilidad Sísmica". Ciudad de Guatemala, Asociación de Ingenieros Estructurales (AGIES). Diagnóstico de la prevención de desastres. XX Aniversario del Terremoto del 4 de febrero de 1976. Guatemala, 1996.
3. Bonis, Samuel B. "Estado del aspecto Geológico en el Diagnóstico de la Prevención de Desastres por Terremotos en Guatemala". Dartmouth College, Hanover, N.H., Estados Unidos. Diagnóstico de la prevención de desastres. XX Aniversario del Terremoto del 4 de febrero de 1976. Guatemala, 1996.
4. Molina, Enrique. "Historial de Eventos Sísmicos en la Ciudad de Guatemala". Base de Datos, Insivumeh. Guatemala. 2007.
5. CEPIS/OPS/OMS. Estudio de Caso: Terremoto del 22 de abril de 1991 Limón, Costa Rica. Costa Rica, 1996.

6. Sandoval Rosales, Hugo Leonel. Análisis y Vulnerabilidad de Plantas de Potabilización. Tesis Ing. Civil. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería. Guatemala, 1988.
7. José Nelson González Escamilla, Evaluación de la Planta de Tratamiento de Agua Potable Santa Luisa. Tesis Ing. Sanitaria (Magíster Scientifcae). Guatemala. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria y recursos Hidráulicos, Universidad de San Carlos de Guatemala, 1995.
8. Kiowa Engineering Consultants Co. Ltd., Informe del Estudio del Diseño Básico del Proyecto de Rehabilitación de las Plantas de Tratamiento de Agua Potable en la Ciudad de Guatemala. Guatemala, Jica, 1993.
9. Agencia de Cooperación Internacional del Japón. Estudio del Establecimiento de los Mapas Básicos y Mapas de Amenaza para el Sistema de Información Geográfica de la República de Guatemala. Informe Progreso 3. Ciudad de Guatemala, 2003.
10. OPS/OMS. Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado sanitario. Washington, Estados Unidos, 1998.

11. Luís Felipe Herrera Eguizabal. Análisis de Vulnerabilidad y Plan de Emergencia para Pozos Electromecánicos y Líneas de Conducción de Agua Potable, aplicado al sistema de Abastecimiento Municipal denominado Canalitos. Trabajo de graduación Ing. Civil, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2002.
12. Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (ERIS). Evaluación de la Planta Santa Luisa, Química y microbiológica del agua clase 2003. Informe, Escuela Regional de Ingeniería Sanitaria (Eris), Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, 2003.
13. Walter Rafael Herrera Morales. Evaluación de la Rehabilitación de la Planta de Tratamiento de agua potable Santa Luisa de la Empresa Municipal de Agua (Empagua) de la Ciudad de Guatemala. Trabajo de graduación, Ingeniería Civil. Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ingeniería, 2001.
14. Eduardo Antonio Velásquez Carrera/ Oscar Guillermo Pelaez Almengor. Economía Urbana y Periodización Histórica de Guatemala: Dos estudios. Guatemala. CEUR. Libro No.45, 1992.
15. Constitución de la República. Artículos 233,234 y 235.

16. Código Municipal de la Ciudad de Guatemala. Artículos: 22,23,28,95,96,97,98 y 108.
17. Leonel Vásquez. Informe de los Sistemas de Agua. Ciudad de Guatemala, Empagua, zona 8, año 2004.
18. Instituto de Fomento Municipal (INFOM). Normas Acueductos y Alcantarillas, Decreto 109-96, del Congreso de la República. Ciudad de Guatemala, 1996.
19. INSIVUMEH. Atlas: Climatológico de Guatemala, Ciudad de Guatemala. Año 1993.
20. Instituto Nacional de Estadística (INE). Censo. Guatemala, 2002.
21. Instituto Geográfico Nacional (IGN). Mapa Departamento de Guatemala, Escala 1:50,000, Ciudad de Guatemala. Última edición.
22. Organización Panamericana de la Salud (OPS). Perfil del Sistema de Salud de Guatemala, 2da Edición. Guatemala, 2001.
23. Centro de Estudios Urbanos y Regionales (CEUR). La situación de la Basura en la Ciudad de Guatemala. Guatemala: Boletín No.30, 2006.

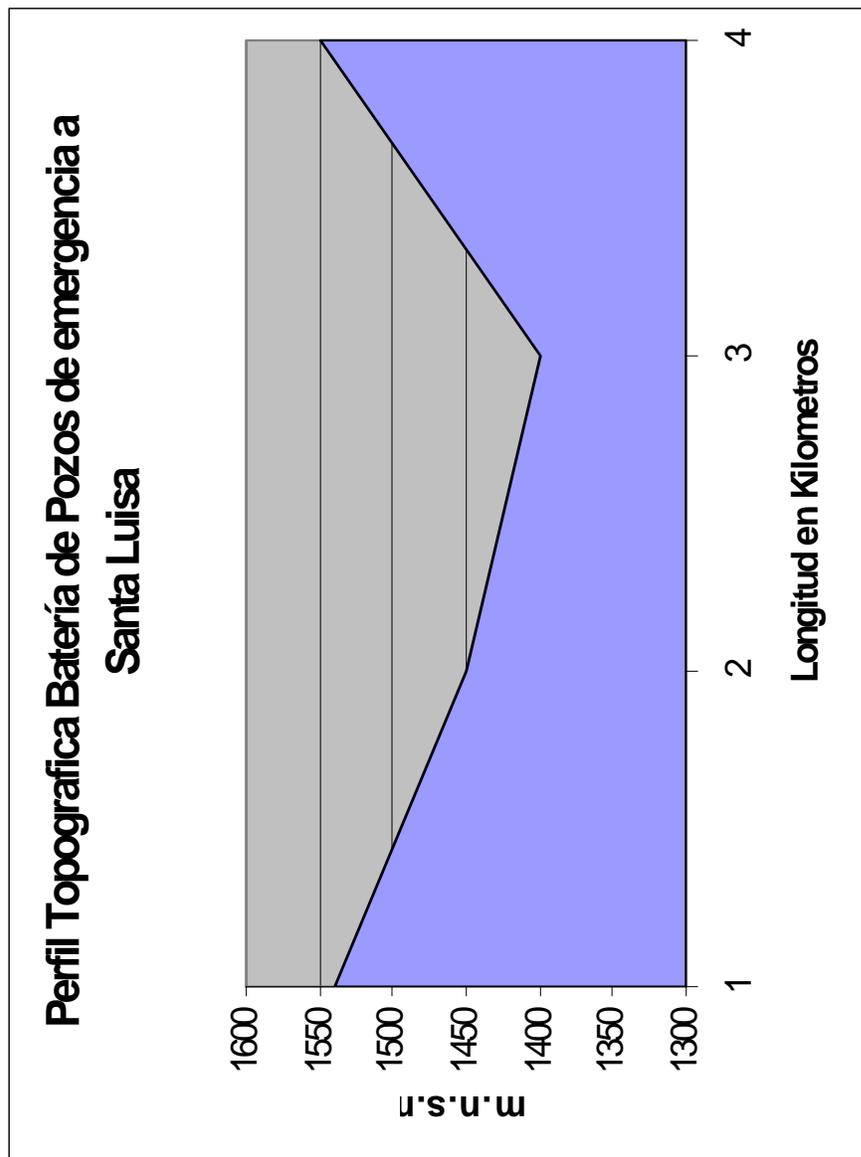
24. EMPAGUA. Aspectos de provisión de servicios Infraestructurales. Ciudad de Guatemala, Manuales de Operación, 2001.
25. EMPAGUA. Aspectos de Provisión de Servicios Infraestructurales. Ciudad de Guatemala, Manuales de Operación, 2007.
26. Ministerio de Salud Pública y Asistencia Social (MSPAS). Situación de Salud en el Departamento de Guatemala. Ciudad de Guatemala, 1999.
27. Flores Beltetón, Omar. Zonificación Sísmica Urbana en Guatemala, Fase 1. Investigación. Guatemala: Universidad de San Carlos, Facultad de Ingeniería. CESEM. de 2000 a 2001.
28. Asociación de Ingeniería Sanitaria y Ambiental (AIDIS). Desastres Naturales y zonas de riesgo en Guatemala. Ciudad de Guatemala, 2001.
29. UNICEF /ASDI. Desastres Naturales y zonas de riesgo. Ciudad de Guatemala, 1996.

30. Martínez Velásquez Julio Gilberto. Diseño y Construcción del Tanque de Sedimentación rápida Planta Santa Luisa. Ciudad de Guatemala, EMPAGUA, Guatemala, 1982.
31. EMPAGUA. Memorias de Labores. Ciudad de Guatemala. Período: 1986-1993.
32. Asociación Guatemalteca de Ingeniería Estructural y Sísmica (AGIES). Norma estructural NR-2. Ciudad de Guatemala, 2002.
33. Centro de Acción Legal y Social de Guatemala (CALAS). Acuerdo Gubernativo 443-2000. Ciudad De Guatemala, 2000.
34. Dahle, A., A. Climent, W. Taylor, H. Bungum, P. Santos, M. Ciudad Real, C. Lindholm, W. Strauch and F. Segura (1995). New spectral strong motion attenuaion models for Central America. In proceedings of the fifth Intrnational conference on seismic zonation, Nice, France, Oct. 1995. Vol II, 1005-1012.

APÉNDICE

APÉNDICE 1

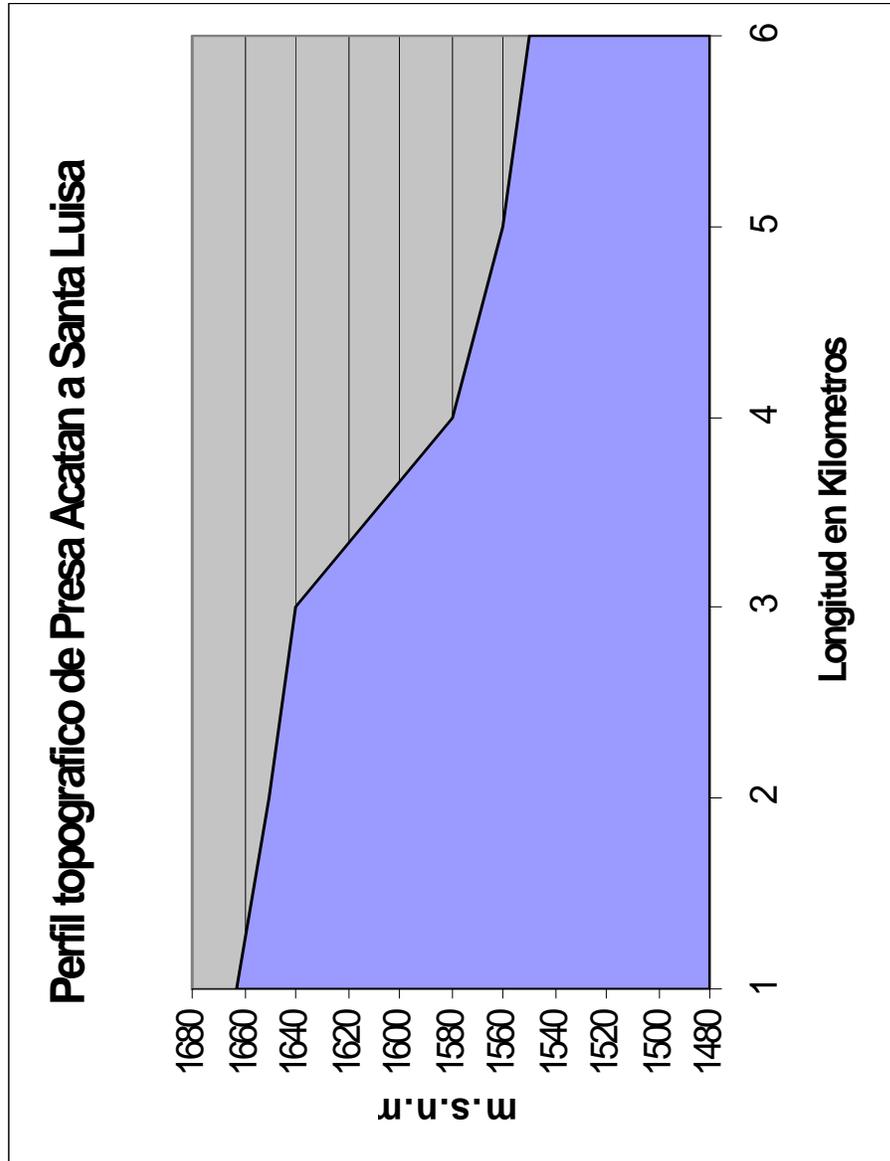
1. Gráfica del perfil topográfico por donde pasa la tubería que va desde la batería de pozos de emergencia 1 a la planta Santa Luisa.



Perfil topográfico pozos Emergencia 1 (Hacienda Real)-Santa Luisa. Tubería de 24", línea de conducción, fuente: planos EMPAGUA zona 8. (La información topográfica se ha perdido por el deterioro de las memorias para las otras líneas de conducción).

APÉNDICE 2

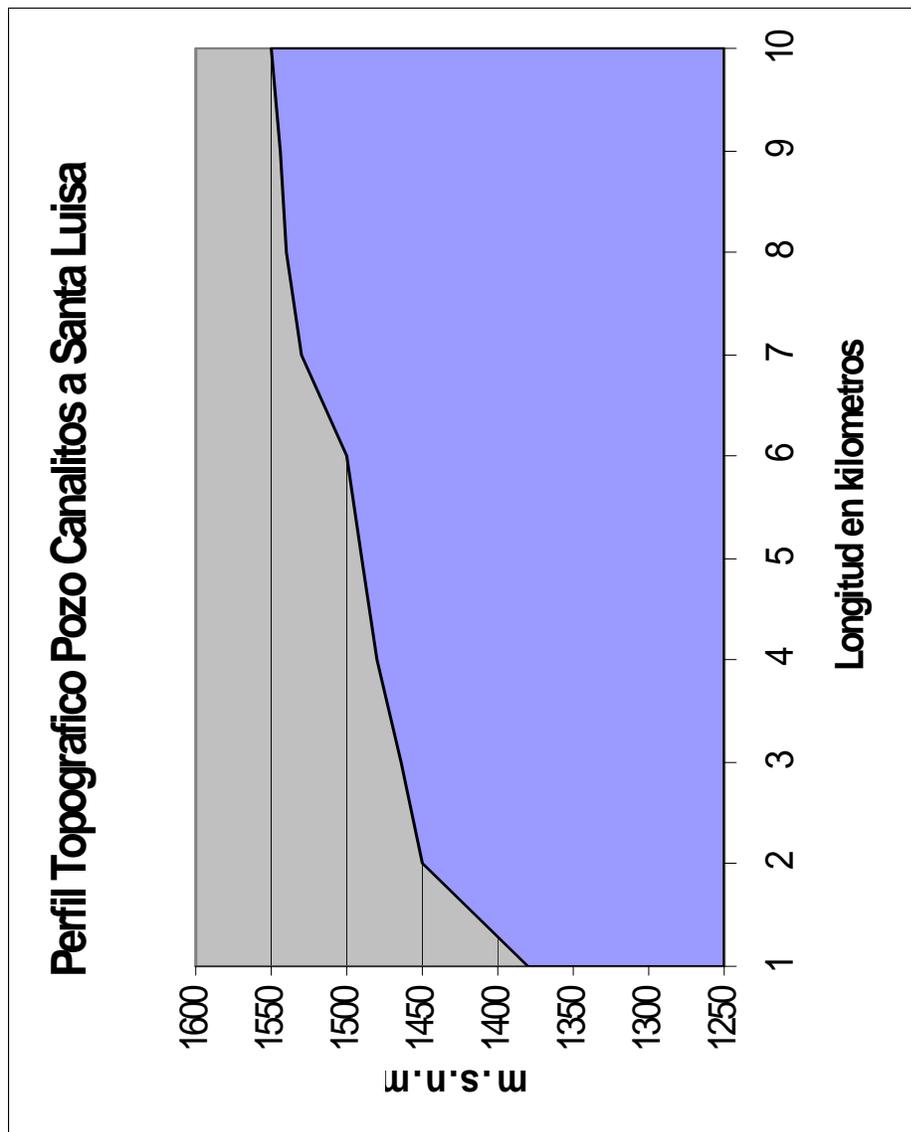
2. Gráfica del perfil topográfico por donde pasa la tubería que va desde la presa Acatán a Santa Luisa.



Perfil topográfico Acatán-Santa Luisa.
Tuberías de distintos diámetros y materiales desde 12" a 24" línea de conducción. Fuente: Planos EMPAGUA zona 8. (La información topográfica se ha perdido por el deterioro de las memorias para las otras líneas de conducción).

APÉNDICE 3

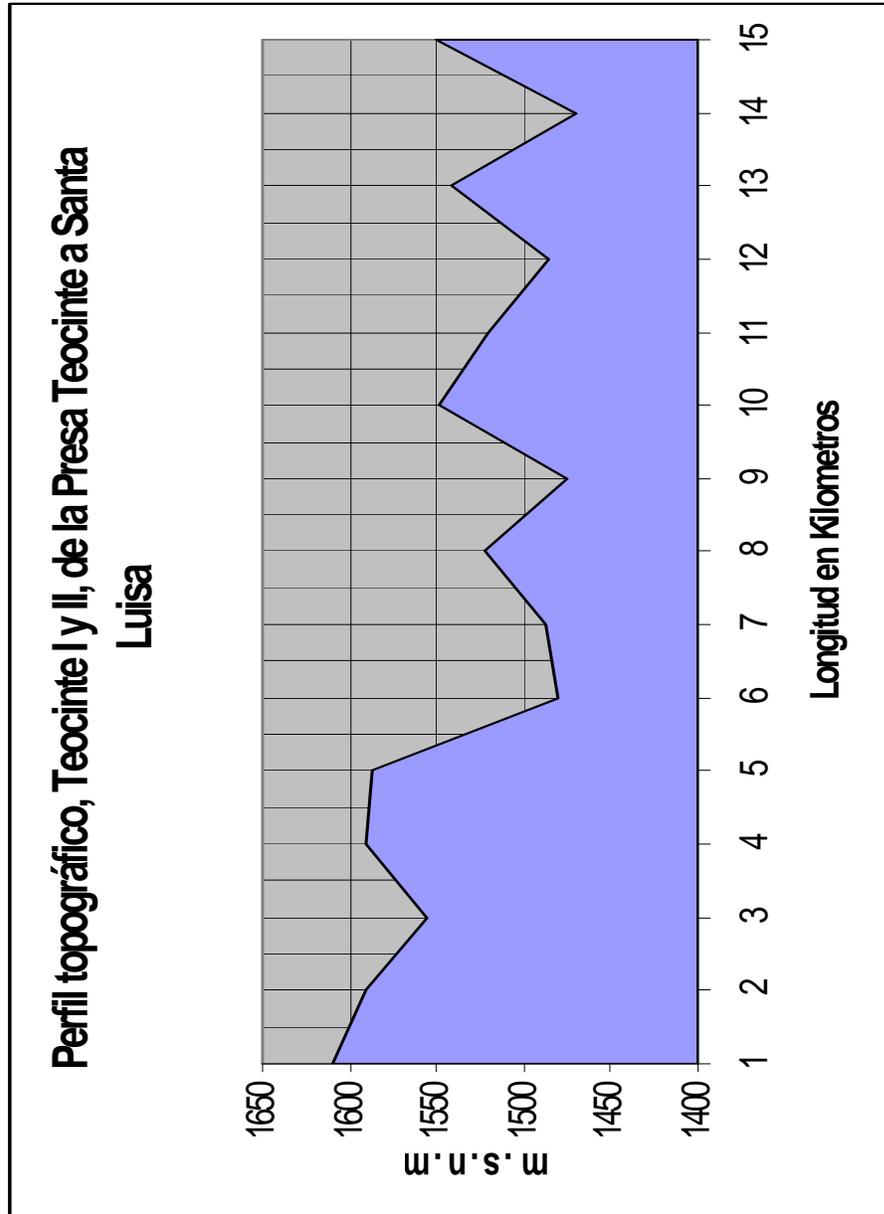
3. Gráfica del perfil topográfico por donde pasa la tubería que va desde el pozo Canalitos a Santa Luisa.



Perfil Topográfico pozo Canalitos-Santa Luisa
Tubería H.F. de 8 plg., Línea de Conducción, Fuente: Planos EMPAGUA z. 8.
(La información topográfica se ha perdido por el deterioro de las memorias para las otras líneas de conducción).

APÉNDICE 4

4. Gráfica del perfil topográfico del la Tubería Teocinte I y II que va desde la Presa Teocinte a La Planta Santa Luisa.



Perfil Topográfico Teocinte I y II-Santa Luisa
Tuberías de 18" y 20", Línea de Conducción, Fuente: Planos EMPAGUA z 8.
(La información topográfica se ha perdido por el deterioro de las memorias para las otras líneas de conducción).