

**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA CIVIL**



**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL SISTEMA DE
AGUA Y ALCANTARILLADO CON APLICACIÓN DE SISTEMA
DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA DEL CENTRO POBLADO
MEDIO MUNDO**

INFORME DE SUFICIENCIA

Para optar el Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

SHEILA VERÓNICA SOLANO VERGARAY

Lima- Perú

2012

ÍNDICE

	Pág.
ÍNDICE	1
RESUMEN	4
LISTA DE CUADROS	5
LISTA DE FIGURAS	7
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	8
INTRODUCCIÓN	9
CAPÍTULO I: GENERALIDADES	11
1.1 CONCEPTOS BÁSICOS	11
1.1.1 Peligro Sísmico o Amenaza Sísmica	11
1.1.2 Vulnerabilidad Sísmica	13
1.2 SISMOS	14
1.2.1 Definición	14
1.2.2 Origen	14
1.2.3 Medición de los Sismos	15
1.3 SISMICIDAD EN EL PERU	17
1.4 SISTEMAS VITALES	19
1.5 REDES DE AGUA Y ALCANTARILLADO	20
1.5.1 Importancia	20
1.5.2 Mecanismos de fallas de las Tuberías	21
1.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA	22
1.6.1 Definición	22
1.6.2 Funcionamiento	23
1.7 MAPAS TEMATICOS	23
CAPÍTULO II: METODOLOGIAS PARA DETERMINACION DE FALLAS	25
2.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA	25
2.1.1 Factor de Amenaza por Tipo de Perfil de Suelo (FTPS)	25
2.1.2 Factor de Amenaza por Licuefacción Potencial del Suelo (FLPS)	26
2.1.3 Factor de Amenaza por Deformación Permanente del Suelo (FDPS)	26
2.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD	28
2.3 CÁLCULO DEL NÚMERO ESPERADO DE FALLAS POR KILÓMETRO	30

2.3.1 Datos	30
2.3.2 Procedimiento	31
CAPÍTULO III: SITUACIÓN ACTUAL DEL CENTRO POBLADO MEDIO MUNDO	33
3.1 UBICACIÓN	33
3.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO	34
3.3 SISMICIDAD	35
3.4 INFORMACIÓN GEOTÉCNICA	37
3.5 DESCRIPCIÓN DE LAS REDES DE AGUA Y ALCANTARILLADO EXISTENTES	38
3.5.1 Red de Agua existente	38
3.5.2 Red de Alcantarillado existente	39
CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE AGUA Y ALCANTARILLADO	40
4.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE AGUA	40
4.1.1 División de tramos	40
4.1.2 Longitudes de tramos	40
4.1.3 Determinación de Factores	41
4.1.4 Cálculo del número de fallas	43
4.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO	46
4.2.1 División de tramos	46
4.2.2 Longitudes de tramos	46
4.2.3 Determinación de Factores	46
4.2.4 Cálculo del número de fallas	49
CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PRESENTACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS	52
5.1 ANÁLISIS DE MAPAS TEMÁTICOS	52
5.1.1 Número de Fallas en tuberías de agua potable ante un sismo de Intensidad VI y VII	52
5.1.2 Número de fallas en tuberías de agua potable ante un sismo de Intensidad VIII	53

5.1.3 Número de fallas en tuberías de agua potable ante un sismo de Intensidad IX	54
5.1.4 Número de fallas en tuberías de agua potable ante un sismo de Intensidad X	55
5.1.5 Número de fallas en tuberías de alcantarillado ante un sismo de Intensidad VI, VII y VIII	56
5.1.6 Número de fallas en tuberías de alcantarillado ante un sismo de Intensidad IX	57
5.1.7 Número de fallas en tuberías de alcantarillado ante un sismo de Intensidad X	58
CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60
1.1 CONCLUSIONES	60
1.2 RECOMENDACIONES	61
BIBLIOGRAFÍA	62
ANEXOS	64

RESUMEN

A lo largo de la historia los sismos han sido eventos que han ocasionado grandes pérdidas para el ser humano, no solo materiales sino también humanas. Es por ello que desde hace muchos años se han desarrollado estudios que expliquen su ocurrencia y la manera de estar prevenidos para que estas pérdidas sean menores.

Cuando se produce un sismo existen sistemas que por ser vitales deben mantenerse a salvo para que su funcionamiento continúe y no perjudique aun más a la población como son los sistemas de agua, alcantarillado, electricidad, redes viales, etc.

Se decide desarrollar este informe debido a la importancia del agua para el hombre por su naturaleza vital y de las redes de alcantarillado ya que contienen elementos que podrían perjudicar la salud poblacional si sus tuberías fallan.

Se busca explicar y aplicar un método que sirva para determinar la vulnerabilidad de las tuberías de las redes de agua y alcantarillado mediante el cálculo del número de fallas de las tuberías que las componen.

Además se indicará mediante mapas temáticos la localización de los resultados obtenidos y de la población afectada.

LISTA DE CUADROS

	Pág.
Cuadro N° 1: Descripción de las zonas de peligro	12
Cuadro N° 2: Tabla de Magnitud de Richter	16
Cuadro N° 3: Tabla de Magnitud de Mercalli	17
Cuadro N° 4: Factor de Amenaza por Tipo de Perfil de Suelo (FTPS)	26
Cuadro N° 5: Factor de Amenaza por Licuefacción Potencial del Suelo (FLPS)	26
Cuadro N° 6: Factor de Amenaza por Deformación Permanente del Suelo (FDPS)	27
Cuadro N° 7: Factor de Amenaza Sísmica (FAS)	27
Cuadro N° 8: Índices Básicos de daño (IBD) por sismos en tuberías de hierro fundido (HF)	28
Cuadro N° 9: Factores de Corrección por Tipo de Material (FCM)	29
Cuadro N° 10: Factores por Estado de Tuberías (FET)	29
Cuadro N° 11: Tiempo de vida útil aproximado de tuberías	30
Cuadro N° 12: Factor de Aumento por Diámetro de Tubería (FADT)	30
Cuadro N° 13: Descripción de Reservorios del Centro Poblado Medio Mundo	38
Cuadro N° 14: Longitudes de tramos de Tuberías de la Red de Agua	41
Cuadro N° 15: IBD de las Tuberías de la Red de Agua	42
Cuadro N° 16: IBD _{corregido} de las Tuberías de la Red de Agua	43
Cuadro N° 17: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad VI	43
Cuadro N° 18: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad VII	44
Cuadro N° 19: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad VIII	44
Cuadro N° 20: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad IX	45
Cuadro N° 21: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad X	45
Cuadro N° 22: Longitudes de tramos de Tuberías de la Red de Alcantarillado	46
Cuadro N° 23: IBD de las Tuberías de la Red de Alcantarillado	47
Cuadro N° 24: IBD _{corregido} de las Tuberías de la Red de Alcantarillado	48

Cuadro N° 25: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VI	49
Cuadro N° 26: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VII	49
Cuadro N° 27: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VIII	50
Cuadro N° 28: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad IX	50
Cuadro N° 29: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad X	51
Cuadro N° 30: Número de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad VI y VII	52
Cuadro N° 31: Número de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad VIII	53
Cuadro N° 32: Número de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad IX	54
Cuadro N° 33: Número de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad X	55
Cuadro N° 34: Número de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VI, VII y VIII	56
Cuadro N° 35: Número de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad IX	57
Cuadro N° 36: Número de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad X	58

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura N° 1: Clasificación de los principales peligros que se pueden presentar en el país	11
Figura N° 4: Partes de un mapa temático	24
Figura N° 3: Ubicación del Centro Poblado Medio Mundo	33
Figura N° 4: Ubicación de Punto de georeferenciación	34
Figura N° 5: Peligrosidad sísmica del Centro Poblado Medio Mundo	35
Figura N° 6: Intensidad máxima de sismo del Centro Poblado Medio Mundo	36
Figura N° 7: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad VI y VII	53
Figura N° 8: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad VIII	54
Figura N° 9: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad IX	55
Figura N° 10: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad X	56
Figura N° 11: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VI, VII y VIII	57
Figura N° 12: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad IX	58
Figura N° 13: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad X	59

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

CISMID	: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres
D_t	: Diámetro de Tubería
E_t	: Estado de Tuberías
FADT	: Factor de Aumento por Diámetro de Tubería
FAS	: Factor de Amenaza Sísmica
FCM	: Factores de Corrección por Tipo de Material
FDPS	: Factor de Amenaza por Deformación Permanente del Suelo
FET	: Factor por Estado de Tubería
FLPS	: Factor de Amenaza por Licuefacción Potencial del Suelo
FTPS	: Factor de Amenaza por Tipo de Perfil de Suelo
IBD	: Índices Básicos de daño
INDECI	: Instituto Nacional de Defensa Civil
L_t	: Longitud de Tubería
M	: Material
SIG	: Sistema de Información Geográfica

INTRODUCCIÓN

El Perú es un país que se encuentra en una zona altamente sísmica debido a la interacción de placas que genera frecuentemente terremotos de magnitud elevada y esta característica hace que tanto las estructuras y como la población estén expuestos a daños que podrían ser irreparables.

Cuando se presentan sismos de elevada magnitud hay elementos y sistemas de suma importancia puesto que su continuo y correcto funcionamiento es vital para la supervivencia humana por lo que es primordial que las autoridades las mantengan en óptimas condiciones.

Esto sistemas vitales pueden ser los suministros de agua, alcantarillado, electricidad, comunicación, etc.

Ante tal importancia, el presente trabajo se desarrolla el análisis de vulnerabilidad de las redes de suministro de agua y alcantarillado mediante un método aproximado para determinar el número de roturas de las tuberías que las componen.

En el primer capítulo se desarrollan temas conceptuales que permitirán entender términos utilizados en el desarrollo del informe.

El segundo capítulo explica la metodología a utilizar para la evaluación de la vulnerabilidad de las redes en estudio a través del cálculo del número de fallas en las tuberías.

En el tercer capítulo se determina la zona de estudio describiéndose además de sus características sísmicas y geotécnicas, el estado de los sistemas de agua y alcantarillado con los que cuentan.

En el cuarto capítulo se desarrolla la aplicación directa del método explicado en el segundo capítulo dando como resultado la cantidad de fallas de las tuberías.

Finalmente, en el quinto capítulo se realizará la aplicación de sistemas de información geográfica mediante el desarrollo y presentación de mapas temáticos que muestren de manera directa sobre la imagen satelital de la zona de estudios, los resultados obtenidos en el cuarto capítulo en cuanto al impacto de los sismos sobre las redes.

CAPÍTULO I: GENERALIDADES

1.1 CONCEPTOS BÁSICOS

1.1.1 Peligro Sísmico o Amenaza Sísmica

El peligro es la probabilidad que en un lugar determinado ocurra un movimiento sísmico de una intensidad igual o mayor que un valor fijado, que puede afectar un área poblada, infraestructura física y/o el medio ambiente.

El peligro, según su origen, puede ser de dos clases: por un lado, de carácter natural; y por otro de carácter tecnológico o generado por la acción del hombre.

La Figura N° 1, que a continuación se presenta, detalla los principales peligros que se presentan en nuestro país.

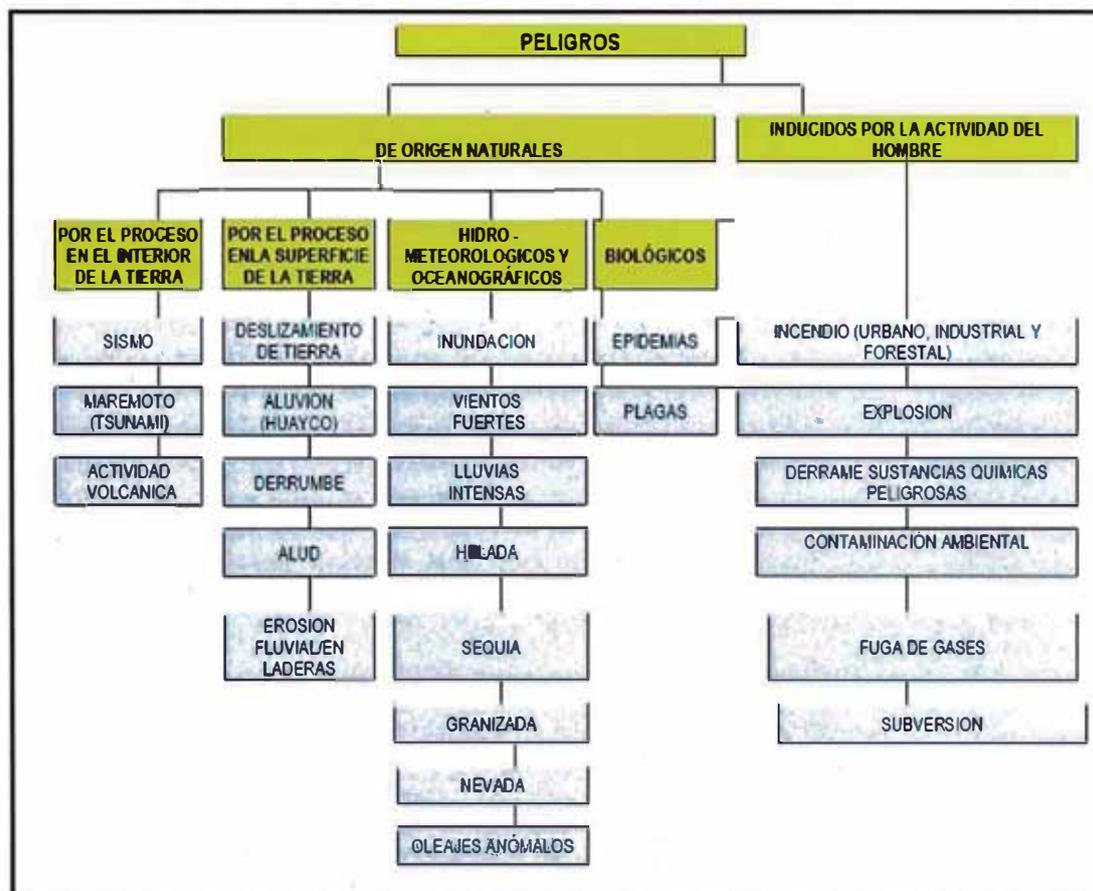


Figura N° 1: Clasificación de los principales peligros que se pueden presentar en el país

Fuente: Manual Básico para la Estimación del Riesgo – INDECI

Las zonas de peligro pueden estratificarse en cuatro niveles: bajo, medio, alto y muy alto, cuyas características y sus probabilidades de ocurrencia correspondientes son detalladas en el Cuadro N° 1.

Cuadro N° 1: Descripción de las zonas de peligro

ESTRATO / NIVEL	DESCRIPCIÓN O CARACTERÍSTICAS	PROBABILIDAD DE OCURRENCIA
PB (Peligro Bajo)	<p>Terrenos planos o con poca pendiente, roca y suelo compacto y seco, con alta capacidad portante.</p> <p>Terrenos altos no inundables, alejados de barrancos o cerros deleznales. No amenazados por peligros, como actividad volcánica, maremotos, etc.</p> <p>Distancia mayor a 500m desde el lugar del peligro tecnológico.</p>	<p>1</p> <p>< de 25%</p>
PM (Peligro Medio)	<p>Suelo de calidad intermedia, con aceleraciones sísmicas moderadas.</p> <p>Inundaciones muy esporádicas, con bajo tirante y velocidad.</p> <p>De 300 a 500m desde el lugar del peligro tecnológico.</p>	<p>2</p> <p>De 26% a 50%</p>
PA (Peligro Alto)	<p>Sectores donde se esperan altas aceleraciones sísmicas por sus características geotécnicas.</p> <p>Sectores que son inundados a baja velocidad y permanecen bajo agua por varios días.</p> <p>Ocurrencia parcial de la licuación y suelos expansivos.</p> <p>De 150 a 300m desde el lugar del peligro tecnológico.</p>	<p>3</p> <p>De 51% a 75%</p>
PMA (Peligro Muy Alto)	<p>Sectores amenazados por alud-avalanchas y flujos repentinos de piedra y lodo.</p> <p>Áreas amenazadas por flujos piroclásticos o lava.</p> <p>Fondos de quebrada que nacen de la cumbre de volcanes activos y sus zonas de deposición afectables por flujos de lodo.</p> <p>Sectores amenazados por deslizamientos o inundaciones a gran velocidad con gran fuerza hidrodinámica y poder erosivo.</p> <p>Sectores amenazados por otros peligros: maremoto, heladas, etc.</p> <p>Suelos con alta probabilidad de ocurrencia de licuación generalizada o suelos colapsables en grandes proporciones.</p> <p>Menor de 150m desde el lugar del peligro tecnológico.</p>	<p>4</p> <p>De 76% a 100%</p>

Fuente: Manual Básico para la Estimación del Riesgo – INDECI

Cuando el peligro es muy alto, el peligro puede ser catalogado como “peligro inminente”, es decir a la situación creada por un fenómeno de origen natural u ocasionado por la acción del hombre, que haya generado, en un lugar determinado, un nivel de deterioro acumulativo debido a su desarrollo y evolución, o cuya potencial ocurrencia es altamente probable en el corto plazo, desencadenando un impacto de consecuencias significativas en la población y su entorno socio-económico.

Debido a que el interés de estudio es el análisis ante las consecuencias de un movimiento sísmico es este el tipo de peligro que se analizará.

En el Anexo N° 1 se puede observar el Mapa de calificación de provincias del Perú según niveles de Peligros Sísmicos elaborado por la Comisión Multisectorial de Reducción de Riesgos en el Desarrollo.

1.1.2 Vulnerabilidad Sísmica

La vulnerabilidad es el grado de debilidad o exposición de un elemento o conjunto de elementos frente a la ocurrencia de un peligro natural o antrópico de una magnitud dada. Es la facilidad de que un elemento (infraestructura, vivienda, actividades productivas, grado de organización, sistemas de alerta y desarrollo político-institucional, entre otros) pueda sufrir daños humanos y materiales. Se expresa en términos de probabilidad, en porcentaje de 0 a 100.

La vulnerabilidad es entonces una condición previa que se manifiesta durante el desastre cuando no se ha invertido lo suficiente en obras o acciones de prevención y mitigación y se ha aceptado un nivel de riesgo demasiado alto.

Para su análisis, la vulnerabilidad debe promover la identificación y caracterización de los elementos que se encuentran expuestos, en una determinada área geográfica, a los efectos desfavorables de un peligro adverso. La vulnerabilidad de un centro poblado es el reflejo del estado individual y colectivo de sus elementos o tipos de orden ambiental y ecológico, físico, económico, social, y científico y tecnológico, entre otros; los mismos que son dinámicos, es decir cambian continuamente con el tiempo, según su nivel de preparación, actitud, comportamiento, normas, condiciones socio-económicas y políticas en los individuos, familias, comunidades, instituciones y países.

Para el análisis posterior que se realizará se estudiará solo la vulnerabilidad ante un fenómeno sísmico y sobre la redes de agua y alcantarillado.

1.2 SISMOS

1.2.1 Definición

Un sismo es, por la clasificación mostrada en la Figura N° 1, un peligro de origen natural que se genera por procesos dentro del interior de la Tierra.

Un sismo es la liberación súbita de energía mecánica generada por el movimiento de grandes columnas de rocas en el interior de la Tierra, entre su corteza y manto superior y se propaga en forma de vibraciones a través de las diferentes capas terrestres, incluyendo los núcleos externos o internos de la Tierra.

1.2.2 Origen

- Sismos tectónicos

Producen el 90 % de los terremotos y dejan sentir sus efectos en zonas extensas, pueden ser sismos interplaca (zona de contacto entre placas) o sismos intraplaca (zonas internas de estas). Los sismos de interplaca se caracterizan por tener una alta magnitud (7 grados en la Escala de Richter), un foco profundo (20 Km.), y los sismos de intraplaca tienen magnitudes pequeñas o moderadas.

- Sismos volcánicos

Se producen como consecuencia de la actividad propia de los volcanes y por lo general son de pequeña o baja magnitud y se limitan al aparato volcánico. En las etapas previas a episodios de actividad volcánica mayor se presentan en número reducidos (algunos sismos por día o por mes) y durante una erupción la actividad sísmica aumenta hasta presentar decenas o cientos de sismos en unas horas. Según indican las estadísticas mundiales, muy pocas veces han rebasado los 6 grados en la escala de magnitud.

- Sismos locales

Afectan a una región muy pequeña y se deben a hundimientos de cavernas y cavidades subterráneas; trastornos causados por disoluciones de estratos de

yeso, sal u otras sustancias, o a deslizamientos de terrenos que reposan sobre capas arcillosas. Otro sismo local es el provocado por el hombre originado por explosiones o bien por colapso de galerías en grandes explotaciones mineras. También se ha supuesto que experimentos nucleares, o la fuerza de millones de toneladas de agua acumulada en represas o lagos artificiales podría producir tal fenómeno

1.2.3 Medición de los Sismos

Se realiza a través de un instrumento llamado sismógrafo, el que registra en un papel la vibración de la Tierra producida por el sismo (sismograma) y nos informa la magnitud y la duración.

Este instrumento registra dos tipos de ondas: las superficiales, que viajan a través de la superficie terrestre y que producen la mayor vibración de ésta (y probablemente el mayor daño) y las centrales o corporales, que viajan a través de la Tierra desde su profundidad.

Para medir la fuerza de un terremoto se determinan muchos parámetros, sin embargo, dos son los principales, en primer lugar la energía que ha liberado (magnitud), y en segundo lugar la percepción del sismo en la población y su destrucción asociada (Intensidad)

- Magnitud de Escala Richter

La escala sismológica de Richter, también conocida como escala de magnitud local (ML), es una escala logarítmica arbitraria que asigna un número para cuantificar la energía liberada en un terremoto, denominada así en honor del sismólogo estadounidense Charles Richter.

Representa la energía sísmica liberada en cada terremoto y se basa en el registro sismográfico.

Es una escala que crece en forma potencial o semilogarítmica, de manera que cada punto de aumento puede significar un aumento diez o más veces mayor de la magnitud de las ondas (vibración de la tierra), pero la energía liberada aumenta 32 veces. Una magnitud 4 no es el doble de 2, sino que 100 veces mayor.

Cuadro N° 2: Tabla de Magnitud de Richter

MAGNITUDES RICHTER	DESCRIPCIÓN	EFFECTOS DE UN SISMO
Menos de 2,0	Micro	Los microsismos no son perceptibles.
2,0-2,9	Menor	Generalmente no son perceptibles.
3,0-3,9		Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.
4,0-4,9	Ligero	Movimiento de objetos en las habitaciones que genera ruido. Sismo significativo pero con daño poco probable.
5,0-5,9	Moderado	Puede causar daños mayores en edificaciones débiles o mal construidas. En edificaciones bien diseñadas los daños son leves.
6,0-6,9	Fuerte	Pueden ser destructivos en áreas pobladas, en hasta unos 160 kilómetros a la redonda.
7,0-7,9	Mayor	Puede causar serios daños en extensas zonas.
8,0-8,9	Gran	Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.
9,0-9,9		Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros.
10,0+	Épico	Nunca registrado; ver tabla de más abajo para el equivalente de energía sísmica.

Fuente: <http://www.geography-site.co.uk/pages/physical/earth/richt.html>

- Escala de Mercalli de Intensidades

Creada en 1902 por el sismólogo italiano Giuseppe Mercalli, no se basa en los registros sismográficos sino en el efecto o daño producido en las estructuras y en la sensación percibida por la gente. Para establecer la Intensidad se recurre a la revisión de registros históricos, entrevistas a la gente, noticias de los diarios públicos y personales, etc. La Intensidad puede ser diferente en los diferentes sitios reportados para un mismo terremoto (la Magnitud Richter, en cambio, es una sola) y dependerá de la energía del terremoto, la distancia de la falla donde se produjo el terremoto, la forma como las ondas llegan al sitio en que se registra (oblicua, perpendicular, etc.), las características geológicas del material subyacente del sitio donde se registra la Intensidad y, lo más importante, cómo la población sintió o dejó registros del terremoto.

Los grados no son equivalentes con la escala de Richter. Se expresa en números romanos y es proporcional, de modo que una Intensidad IV es el doble de II, por ejemplo.

Cuadro N° 3: Tabla de Magnitud de Mercalli

INTENSIDADES	DESCRIPCION VERBAL	OBSERVACIONES DE LOS TESTIGOS
I	Instrumental	Detectado solo por sismógrafos.
II	Débil	Notado sólo por las personas sensibles.
III	Leve	Parecido a vibraciones del tráfico pesado.
IV	Moderado	Sentido por la gente que camina, balanceo de objetos de pie libre.
V	Bastante Fuerte	Despierta a personas que están durmiendo y repican las campanas.
VI	Fuerte	Los árboles se balancean, algunos daños por vuelco y la caída de objetos.
VII	Muy Fuerte	Alarma general, grietas en las paredes.
VIII	Destruyivo	Hay algunos daños a los edificios
IX	Ruinoso	El suelo comienza a agrietarse y las casas a derrumbarse y se rompen las tuberías.
X	Desastroso	El suelo muy rajado y muchos edificios se destruyen. Hay algunos deslizamientos de tierra.
XI	Muy Desastroso	Pocos edificios siguen en pie, puentes y vías férreas destruidas, agua, gas, electricidad y los teléfonos fuera de servicio.
XII	Catastrófico	Total destrucción, los objetos son arrojados, levantamiento, sacudida y distorsión de la tierra.

Fuente: <http://www.geography-site.co.uk/pages/physical/earth/richt.html>

De manera informativa, se presenta en el Anexo N° 2 el Mapa del Perú de distribución de máximas intensidades sísmicas elaborado por el CISMID de la Universidad Nacional de Ingeniería, este nos permitirá observar la intensidad máxima presentada en nuestra zona de estudio.

Este valor se indicará posteriormente en la Sección 3.3.

1.3 SISMICIDAD EN EL PERU

El borde occidental de América del Sur se caracteriza por ser una de las regiones sísmicamente más activas en el mundo.

El Perú forma parte de esta región y su actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la Placa de Nazca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental), generando frecuentemente terremotos de

magnitud elevada. Un segundo tipo de sismicidad, es producida por las deformaciones corticales, presentes a lo largo de la Cordillera Andina, con terremotos menores en magnitud y frecuencia.

La distribución y origen de los terremotos en Perú, han sido tema de diversos estudios utilizando datos telesísmicos y regionales a fin de estudiar la geometría de la subducción de la Placa de Nazca bajo la Sudamericana.

Por otro lado, el análisis de la sismicidad histórica ha permitido evaluar la periodicidad de ocurrencia de terremotos de magnitud elevada a lo largo de la costa peruana.

A continuación se realiza una descripción de las características tectónicas y de la sismicidad histórica e instrumental de Perú.

Los Andes son un claro ejemplo de cordillera formada como resultado del proceso de subducción de una placa oceánica bajo una continental. La Cordillera Andina se extiende a lo largo del continente sudamericano, desde Venezuela hasta el sur de Chile, con un ancho mínimo de 200 km. en la región Central de Perú y máximo de 500 km. en el límite entre Perú y Chile.

Las principales unidades estructurales formadas como resultado de la evolución de la Cordillera Andina como resultado de una tectónica activa cuya principal fuente de energía radica en el proceso de subducción de la placa oceánica bajo la continental son:

- La Zona Costera

Zona estrecha de aproximadamente 40 km. de ancho que se extiende de norte a sur y está constituida en su mayoría por suaves plegamientos volcánicos y rocas sedimentarias del Mesozoico. La zona sur está formada por basamentos de rocas cristalinas plegadas y sujetas a deformación desde el Precámbrico.

- La Cordillera Occidental

Es el batolito andino de mayor volumen que se extiende desde Venezuela hasta Tierra del Fuego en Chile. En el Perú se distribuye paralelo a la costa de norte a sur. La parte más elevada de esta Cordillera (4200-4500 m), esta formada por series del Mesozoico, más o menos plegadas y cubiertas de manera heterogénea por capas volcánicas del Cenozoico. Esta Cordillera aumenta su anchura en la región sur del Perú.

- El Altiplano

Situado entre las Cordilleras Occidental y Oriental. En la región sur su anchura es de 200 km. y se extiende hacia el norte hasta los 9 °S, en donde alcanza un ancho de unos 50 km. y después desaparece. Esta unidad está formada por una serie de cuencas intramontañosas del Cenozoico que se prolongan hacia el Altiplano, siendo la zona sur invadida por estructuras volcánicas activas del Terciario Superior.

- La Cordillera Oriental

Menos elevada que la Cordillera Occidental (3700-4000 m.) y corresponde a un extenso anticlinal formado por depósitos intrusivos del Precámbrico. En la región sur, la Cordillera se curva en dirección E-W para luego continuar paralela a las otras unidades.

- La Zona Subandina

Zona de anchura variable en donde se amortiguan las estructuras andinas. Esta zona se localiza entre la Cordillera Andina y la Llanura Amazónica y está formada por una cobertura de sedimentos del Mesozoico y Cenozoico con pliegues de gran longitud de onda.

1.4 SISTEMAS VITALES

Los sistemas vitales son todas aquellas infraestructuras cuya función es esencial para la vida de la población y el desarrollo económico de una ciudad o región y cuya importancia es fundamental en caso de desastre.

Entre estos sistemas se puede considerar los sistemas de suministro de servicios públicos como agua, electricidad, comunicaciones, etc., la infraestructura de transporte y de seguridad.

De acuerdo con sus dimensiones los sistemas pueden ser clasificados en instalaciones críticas y líneas vitales.

Las instalaciones críticas son sistemas discretos, de extensión limitada tales como hospitales y estaciones de bomberos. Además las instalaciones críticas dependen de otros sistemas de servicios para su funcionamiento bajo condiciones normales.

Las líneas vitales son sistemas continuos, cuyas dimensiones superan las de las ciudades a las cuales suministran servicios. Forman una red compleja que abarca toda la extensión de las ciudades y son ejes de transmisión de un

producto o servicio desde el lugar de origen, a través de los elementos que lo transforman para su consumo, hasta su destino. Como ejemplos de estas, se tiene el suministro de agua potable, de electricidad, alcantarillado, carreteras, etc.

1.5 REDES DE AGUA Y ALCANTARILLADO

1.5.1 Importancia

Como ya ha sido mencionado, entre las líneas vitales se tiene las redes de agua y alcantarillado que conducen el suministro de elementos primordiales para el bienestar de la población.

Históricamente, el daño a las tuberías durante los sismos a menudo ha afectado todo el sistema de abastecimiento de agua.

Después de un terremoto, la continuidad del servicio de agua potable es altamente prioritaria, por la propagación de epidemias y la alta probabilidad de que ocurran incendios derivados de cortocircuitos o escapes de gas. Sin el suministro de agua, los incendios pueden propagarse convirtiéndose en una catástrofe adicional.

Las roturas de tuberías causan la pérdida rápida de agua y producen el vaciado del reservorio. Cuando el servicio público de energía está fuera de servicio, los reservorios no se pueden volver a llenar y el sistema puede quedarse sin agua por varios días.

Una red de agua potable con diseño redundante y con diferentes vías alternas constituye una necesidad en zonas de alta sismicidad, lo que debe ser acompañado con un continuo y adecuado mantenimiento.

Unas de sus componentes principales, y que precisamente conducen el suministro de agua y la descarga del alcantarillado son las tuberías. Estas tienen un peor desempeño cuando se encuentran enterradas en suelos blandos o rellenos artificiales, que cuando están sobre terreno natural duro. Las zonas de cambio brusco en las características de los suelos, constituyen los puntos vulnerables de la red. Los acoplamientos rígidos tienen peor comportamiento que los flexibles. Por otra parte, la corrosión degrada considerablemente el comportamiento sísmico de las tuberías de hierro.

Por todo lo anterior, para el diseño de redes de agua potable y alcantarillados, o para evaluar su vulnerabilidad sísmica, es de vital importancia un buen

conocimiento de la sismicidad, condiciones y fallas geológicas, nivel freático, estabilidad de taludes y características geotécnicas.

1.5.2 Mecanismos de fallas de las Tuberías

Las tasas de falla de las tuberías (en reparaciones por unidad de longitud) son más altas en áreas que tienen fallas en el terreno o licuefacción y es por ello que el mapeo de amenazas se ha convertido en una herramienta importante para mitigar los efectos de los sismos sobre las tuberías.

Las tuberías pueden incluir accesorios como válvulas de compuerta, de mariposa o de descarga de aire/vacío; hidrantes; y tubos de expulsión. Las válvulas de compuerta o de mariposa se usan para aislar segmentos de tuberías. Las válvulas de descarga de aire/vacío se usan para descargar el aire atrapado y ventilar las tuberías a fin de prevenir la formación de vacíos. Los hidrantes se usan para obtener agua para la extinción de incendios. Los tubos de expulsión se ubican en puntos bajos para permitir la remoción de sedimentos y poder vaciar la tubería.

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

- Propagación de ondas

Las tuberías se rompen debido al paso de la onda sísmica como resultado del movimiento diferencial a lo largo del eje longitudinal de la tubería.

La tracción y compresión producen el movimiento diferencial primario. Como se mencionó, la tasa de falla (reparación por unidad de longitud) es pequeña comparada con otros mecanismos de fallas. La flexión o rotación de las uniones es insignificante.

En casi todos los casos, las tuberías de acero soldado por arco voltaico o las tuberías de polietileno son lo suficientemente dúctiles para soportar sin daño alguno las deformaciones del terreno debido a la propagación de ondas.

La corrosión también puede romper las tuberías debido a la propagación de ondas o a la deformación permanente del suelo.

- Deformación permanente del suelo

Las tuberías se mueven con el suelo durante la licuefacción o el flujo lateral, el asentamiento diferencial, el agrietamiento y el deslizamiento. Las tuberías

fallan porque se doblan, se someten a esfuerzos de corte, a tracción y a compresión.

Este mecanismo de daño incrementa las tasas de falla en comparación con la propagación de ondas. Las tuberías parcialmente vacías (principalmente alcantarillados de gravedad) pueden flotar debido a la licuefacción si la profundidad a la que se encuentra enterrada la tubería está dentro de la capa licuada. Asimismo, las conexiones pueden romper la tubería y afectar los servicios.

- Rupturas por fallas

Las tuberías que atraviesan fallas se cortarían o serán expuestas a tracción o compresión cuando la falla se mueva. Las tuberías pueden experimentar el mismo tipo de movimiento del suelo que producen los otros tipos de deformación permanente del suelo. Por ejemplo, los movimientos abruptos del suelo pueden ocurrir en los márgenes de una zona de flujo lateral similar a la del desplazamiento horizontal de una falla. Las tuberías que están dentro de la categoría de vulnerabilidad baja serán las que mejor resistan el movimiento de una falla.

1.6 SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

1.6.1 Definición

Un Sistema de Información Geográfica es una integración organizada de hardware, software y datos geográficos diseñada para capturar, almacenar, manipular, analizar y desplegar en todas sus formas la información geográficamente referenciada con el fin de resolver problemas complejos de planificación y gestión geográfica.

Es un modelo de una parte de la realidad referido a un sistema de coordenadas terrestre y construido para satisfacer unas necesidades concretas de información.

El SIG permite a los usuarios crear consultas interactivas, analizar la información espacial, editar datos, mapas y presentar los resultados de todas estas operaciones.

La tecnología de los Sistemas de Información Geográfica puede ser utilizada para investigaciones científicas, la gestión de los recursos, gestión de activos, la

arqueología, la evaluación del impacto ambiental, la planificación urbana, la cartografía, la sociología, la geografía histórica, el marketing, la logística, etc.

1.6.2 Funcionamiento

El SIG funciona como una base de datos con información geográfica (datos alfanuméricos) que se encuentra asociada por un identificador común a los objetos gráficos de un mapa digital. De esta forma, señalando un objeto se conocen sus atributos e, inversamente, preguntando por un registro de la base de datos se puede saber su localización en la cartografía.

La razón fundamental para utilizar un SIG es la gestión de información espacial, pues el sistema permite separar la información en diferentes capas temáticas y las almacena independientemente, permitiendo trabajar con ellas de manera rápida y sencilla, facilitando la posibilidad de relacionar la información existente a través de la topología de los objetos, con el fin de generar otra nueva que no podríamos obtener de otra forma.

Las principales cuestiones que puede resolver un Sistema de Información Geográfica, ordenadas de menor a mayor complejidad, son:

- **Localización:** preguntar por las características de un lugar concreto.
- **Condición:** el cumplimiento o no de unas condiciones impuestas al sistema.
- **Tendencia:** comparación entre situaciones temporales o espaciales distintas de alguna característica.
- **Rutas:** cálculo de rutas óptimas entre dos o más puntos.
- **Pautas:** detección de pautas espaciales.
- **Modelos:** generación de modelos a partir de fenómenos o actuaciones simuladas.

1.7 MAPAS TEMATICOS

Los mapas temáticos son mapas basados en mapas topográficos que representan cualquier fenómeno geográfico de la superficie terrestre y están diseñado para mostrar conceptos particulares sobre un tema.

Persiguen objetivos bien definidos, pues hacen referencia a la representación de ciertas características de distribución, relación, densidad o regionalización de objetos reales (vegetación, suelos, geología, etc.), o de conceptos abstractos

(indicadores de violencia, de desarrollo económico, de calidad de vida, etc.). Para representar variables numéricas utilizan todo tipo de recursos visuales, como superficies de distintos colores o tramas, flechas para indicar el movimiento de un fenómeno, el trazado de líneas que unen puntos de igual valor (isolíneas), círculos o símbolos de tamaño proporcional al valor numérico, o incluso mapas deformados para que cada unidad geográfica se represente con un tamaño proporcional a su valor numérico (cartogramas o mapas anamórficos). Está compuesto por dos partes fundamentales:

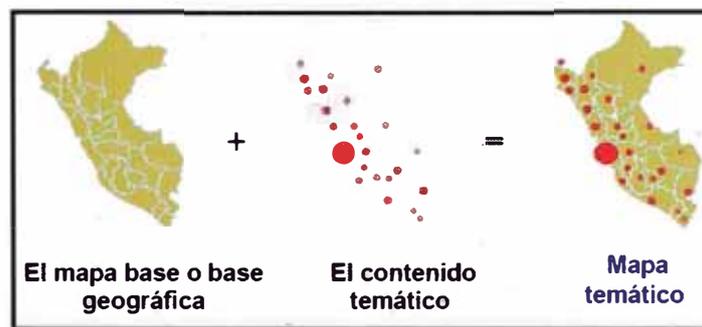


Figura N° 2: Partes de un mapa temático

Fuente: <http://www.preval.info/programa/wp-content/uploads/2008/08/002-presentacion-mapastematicos.pdf>

CAPÍTULO II: METODOLOGIAS PARA DETERMINACION DE FALLAS

El análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de agua y alcantarillado se puede desarrollar utilizando diversas metodologías y muchas de ellas la expresan por el número esperado de fallas por kilómetro de longitud.

En este informe se utilizará la metodología propuesta por la Organización Panamericana de la Salud en su publicación "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7) y que está fundamentada en el Estudio de Caso del Terremoto del Limón, Costa Rica del año 1991.

Este método se ejecutará determinando la Evaluación de la Amenaza Sísmica y de la Vulnerabilidad de la zona donde se encuentra la red estudiada.

2.1 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA SÍSMICA

Para la Evaluación de la Amenaza Sísmica se deberá determinar tres factores:

- Factor de Amenaza por Tipo de Perfil de Suelo (FTPS)
- Factor de Amenaza por Licuefacción Potencial del Suelo (FLPS)
- Factor de Amenaza por Deformación Permanente del Suelo (FDPS)

2.1.1 Factor de Amenaza por Tipo de Perfil de Suelo (FTPS)

Este factor de amenaza se determinará escogiendo entre tres tipos de suelo rocoso, firme o blando cuyas características son descritas en el Cuadro N° 4.

Cuadro N° 4: Factor de Amenaza por Tipo de Perfil de Suelo (FTPS)

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	FTPS
Rocoso	Estratos rocosos o suelos muy consolidados, con velocidades de propagación de ondas de corte en exceso a 750 m/seg.	1.0
Firme	Estratos de suelos bien consolidados, o blandos con espesor menor a 5 metros.	1.5
Blando	Estratos de suelos blandos con espesores en exceso de 10 metros.	2.0

Fuente: "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7)

2.1.2 Factor de Amenaza por Licuefacción Potencial del Suelo (FLPS)

Para determinar este factor se escogerá entre tres clases de amenaza, baja, moderada o alta, las cuales son descritas en el Cuadro N° 5.

Cuadro N° 5: Factor de Amenaza por Licuefacción Potencial del Suelo (FLPS)

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	FLPS
Baja	Suelos bien consolidados y con alta capacidad de drenaje, estratos subyacentes sin contenido de arenas apreciable.	1.0
Moderada	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderado.	1.5
Alta	Suelos mal drenados, niveles freáticos altos, estratos subyacentes con alto contenido de arenas, zonas deltaicas de ríos y depósitos aluviales.	2.0

Fuente: "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7)

2.1.3 Factor de Amenaza por Deformación Permanente del Suelo (FDPS)

El Factor de Amenaza por Deformación Permanente del Suelo puede ser de tres clases, baja, moderada y alta y su descripción se encuentra en el Cuadro N° 6.

Cuadro N° 6: Factor de Amenaza por Deformación Permanente del Suelo (FDPS)

TIPO DE SUELO	DESCRIPCIÓN	FDPS
Baja	Suelos bien consolidados, terrenos con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas.	1.0
Moderada	Suelos consolidados, terrenos con pendientes menores a 25%, rellenos compactados, áreas cercanas a cauces de ríos o fallas geológicas.	1.5
Alta	Suelos mal consolidados, terrenos con pendientes superiores al 25%, áreas ubicadas muy cerca o dentro de cauces de ríos o fallas geológicas.	2.0

Fuente: "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7)

Cuando se halla asignado los tres factores anteriores, se calculara el Factor de Amenaza Sísmica (FAS) del área de estudio.

El FAS se determinará utilizando la siguiente fórmula:

$$FAS = FTPS \times FLPS \times FDPS$$

De acuerdo al valor de FAS que se obtenga se clasificará la amenaza sísmica de la siguiente manera:

Cuadro N° 7: Factor de Amenaza Sísmica (FAS)

FAS < 2	Baja Amenaza Sísmica
2 < FAS < 4	Amenaza Sísmica moderada
FAS > 4	Amenaza Sísmica alta

Fuente: "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7)

2.2 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD

La metodología a emplear utiliza como referencia el número de fallas por sismo en tuberías de hierro fundido (HF) para diferentes grados de la Intensidad de Mercalli, tomando en consideración las estadísticas disponibles.

En el Cuadro N° 8 se dan los valores correspondientes a daños por:

- Propagación de ondas sísmicas únicamente
- Propagación de ondas y deformaciones permanentes del terreno.

Estos son denominados Índices Básicos de Daño (IBD) y dependen del Factor de Amenaza Sísmica (FAS) calculado en la Sección 2.1 según se indica en el Cuadro N° 8.

Cuadro N° 8: Índices Básicos de daño (IBD) por sismos en tuberías de hierro fundido (HF)

INTENSIDAD DE MERCALLI	DESCRIPCIÓN	
	FAS < 2	FAS ≥ 2
VI	0.0015	0.01
VII	0.015	0.09
VIII	0.15	0.55
IX	0.35	4.00
X	0.75	30.0

Fuente: "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7)

En caso de que la tubería no sea de hierro fundido (HF), se utilizará los factores de corrección del Cuadro N° 9.

Cuadro N° 9: Factores de Corrección por Tipo de Material (FCM)

MATERIAL	FCM
Acero Dúctil (AD)	0.25
Hierro Fundido (HF)	1.00
Cloruro de Polivinilo (PVC)	1.50
Asbesto Cemento (AC)	2.60
Concreto Reforzado (CR)	2.60

Fuente: "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7)

Es importante también considerar el estado de las tuberías y su tiempo de servicio. Estos factores afectan el valor de IBD y dependerán del criterio del evaluador, pero se podrá considerar los factores que se muestran en el Cuadro N° 10.

Cuadro N° 10: Factores por Estado de Tuberías (FET)

ESTADO	FACTOR
Tuberías viejas o en mal estado	1.25 - 1.50
Tuberías en estado regular	1.00 – 1.25
Tuberías en buen estado	1.00

Fuente: "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7)

Es muy difícil evaluar la vida útil ya que el desgaste de las tuberías existentes depende de su edad, la composición del material así como naturalmente cómo se utilizan las tuberías, tanto en frecuencia como qué se vierte en ellas.

Considerando que el cálculo del número de roturas es aproximado, y que las tuberías podrían estar enterradas y que esto no nos permitiría visualizar el estado de las mismas, se puede considerar el estado de tuberías según su antigüedad, y para ello se puede utilizar el Cuadro N° 11.

Cuadro N° 11: Tiempo de vida útil aproximado de tuberías

MATERIAL		Tiempo en años
Acero Dúctil (AD)	Menos de 4"	30
	Más de 4"	40
Hierro Fundido (HF)	2"-4"	50
	4"-6"	65
	8"-10"	75
	Más de 12"	100
Cloruro de Polivinilo (PVC)		50
Concreto Reforzado (CR)		20

Fuente: Elaboración propia

Las estadísticas de daños también revelan que las tuberías de menor diámetro tienden a ser más vulnerables, y por ello se aplicará un factor de aumento al número final de fallas/kilómetro obtenido, de acuerdo a lo que se muestra en Cuadro N° 12.

Cuadro N° 12: Factor de Aumento por Diámetro de Tubería (FADT)

DIÁMETRO	FACTOR
$D \leq 75 \text{ mm}$	1.25 - 1.50
$75 \text{ mm} < D < 200 \text{ mm}$	1.00 - 1.25
$D \geq 200 \text{ mm}$	1.00

Fuente: "Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario - Guías para el Análisis de Vulnerabilidad" (Ref. Bibl. N° 7)

2.3 CÁLCULO DEL NÚMERO ESPERADO DE FALLAS POR KILÓMETRO

2.3.1 Datos

Se deberá determinar los siguientes datos:

- FTPS : Factor de Amenaza por Tipo de Perfil de Suelo
- FLPS : Factor de Amenaza por Licuefacción Potencial del Suelo
- FDPS : Factor de Amenaza por Deformación Permanente del Suelo
- FAS : Factor de Amenaza Sísmica

- IBD : Índices Básicos de daño
- FCM : Factores de Corrección por Tipo de Material
- FET : Factor por Estado de Tubería
- FADT : Factor de Aumento por Diámetro de Tubería
- L_t : Longitud de Tubería
- D_t : Diámetro de Tubería
- M : Material
- E_t : Estado de Tuberías

2.3.2 Procedimiento

1° Teniendo establecida la zona de estudio, se deberá dividir la red en tramos de acuerdo a las características de las tuberías y las consideraciones sísmicas del suelo que se desarrollaron en las secciones anteriores.

En este caso debido a que el área de estudio no es muy grande, las características sísmicas de la zona y del suelo son similares y además presenta tuberías de las mismas características, razón por la cual para efectos aplicativos, se procederá a realizar a dividir en tramos de acuerdo a su continuidad.

2° Se determinarán las longitudes de cada tramo.

3° Se determinará los factores mencionados en las secciones anteriores.

Primero se realizará la Evaluación de la amenaza sísmica determinando los FTPS, FLPS y FDPS de acuerdo al suelo de cada tramo para así obtener y por medio del producto de los tres valores el FAS.



Luego se realizará la Estimación de la vulnerabilidad de la red determinando el IBD para tuberías de hierro fundido en base al FAS.



Debido a que las tuberías no son de hierro fundido, se deberá hacer la corrección del IBD ya obtenido utilizando el FCM.

Adicionalmente se corregirá este valor considerando el estado de las tuberías por medio del FET.

El último factor a escoger será el FADT, teniéndose lo siguiente.

$$\text{IBD} \rightarrow \text{IBD}_{\text{corregido}} = \text{IBD} \times \text{FCM} \times \text{FET} \times \text{FADT}$$

4° Finalmente se determinará el número de fallas en la red para cada tramo según la siguiente fórmula:

$$\text{Número de Fallas} = \text{IBD}_{\text{corregido}} \times L_t$$

CAPÍTULO III: SITUACIÓN ACTUAL DEL CENTRO POBLADO MEDIO MUNDO

3.1 UBICACIÓN

El Centro Poblado de Medio Mundo se encuentra ubicado en el distrito de Végueta, en la parte Nor-occidental de la provincia de Huaura en la Región Lima en Perú, al margen izquierdo de la Carretera Panamericana Norte, (Km 170 ½), a 14 Km de Huacho.

Los límites del Centro Poblado Medio Mundo son los siguientes:

- Norte: Distrito de Supe.
- Sur: Centro Poblado Menor Santa Cruz
- Este: Centro Poblado Las Américas
- Oeste: Albuferas de Medio Mundo - El Océano Pacífico

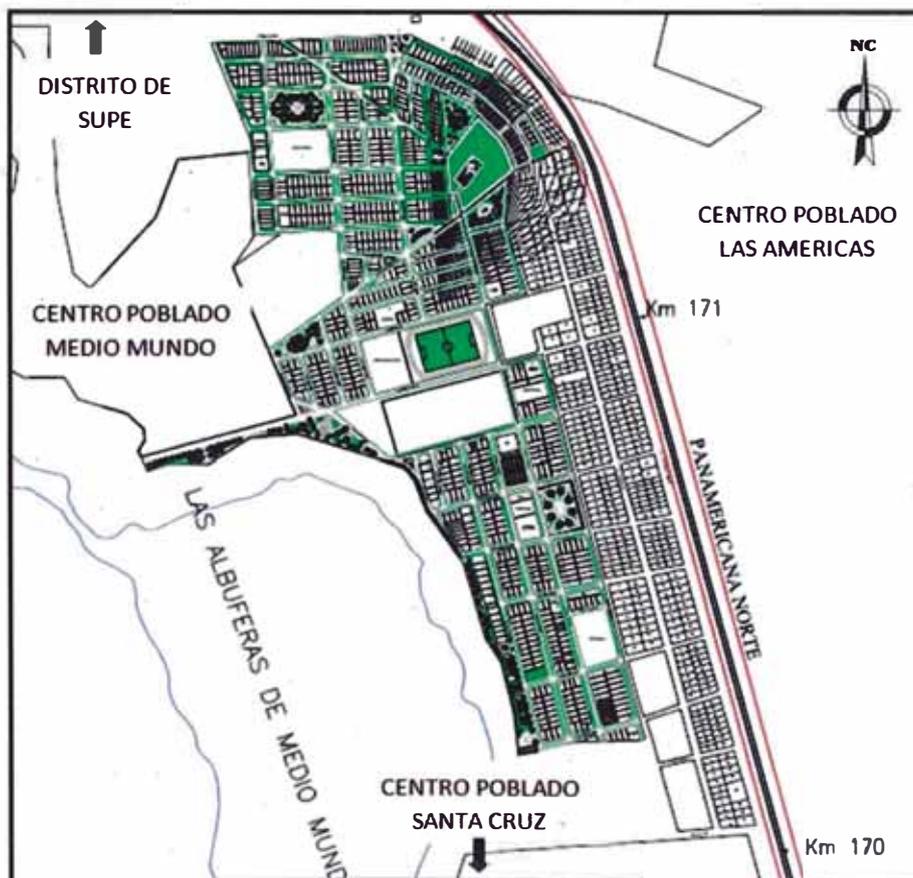


Figura N° 3: Ubicación del Centro Poblado Medio Mundo

Fuente: Municipalidad del Centro Poblado Medio Mundo

3.2 DESCRIPCIÓN DE LA ZONA DE ESTUDIO

Para el análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de agua y alcantarillado que se desarrollará se tomó como muestra 12 manzanas del Sector I del Centro Poblado que, según los planos de lotización proporcionados por la Municipalidad de Végueta, reciben la designación de 004, 005, 018, 019, 023, 024, 026, 027, 028, 029, 00E, y Losa Deportiva que contienen un total de 174 Lotes para viviendas, 1 losa deportiva, 1 comedor popular y 1 parque infantil, en los que habitan alrededor de 200 familias (750 pobladores aprox.).

Es importante mencionar que las manzanas 026, 027, 028 y 029 se encuentran totalmente vacías.

Considerando estas manzanas, el área de estudio se encuentra a una altura promedio de 45 m.s.n.m.

Durante el levantamiento de información desarrollado se tomaron las coordenadas UTM de la esquina SO de la manzana 028 para que sirva en la georeferenciación de los predios levantados.

Dichas coordenadas son: 18L 209964.49m E 8790400.92m S y su ubicación sobre el mapa satelital es mostrada en la Figura N°4



▲ : Esquina SO de la manzana 028

Figura N° 4: Ubicación de Punto de georeferenciación

Fuente: Elaboración propia

3.3 SISMICIDAD

Como ya fue mencionado, el Centro Poblado Medio Mundo se encuentra en Végueta al Norte del Departamento de Lima.

De acuerdo al mapa del Anexo N° 1, este lugar se ubica en una zona de peligrosidad sísmica muy alta, tal como lo muestra en la Figura N° 5.

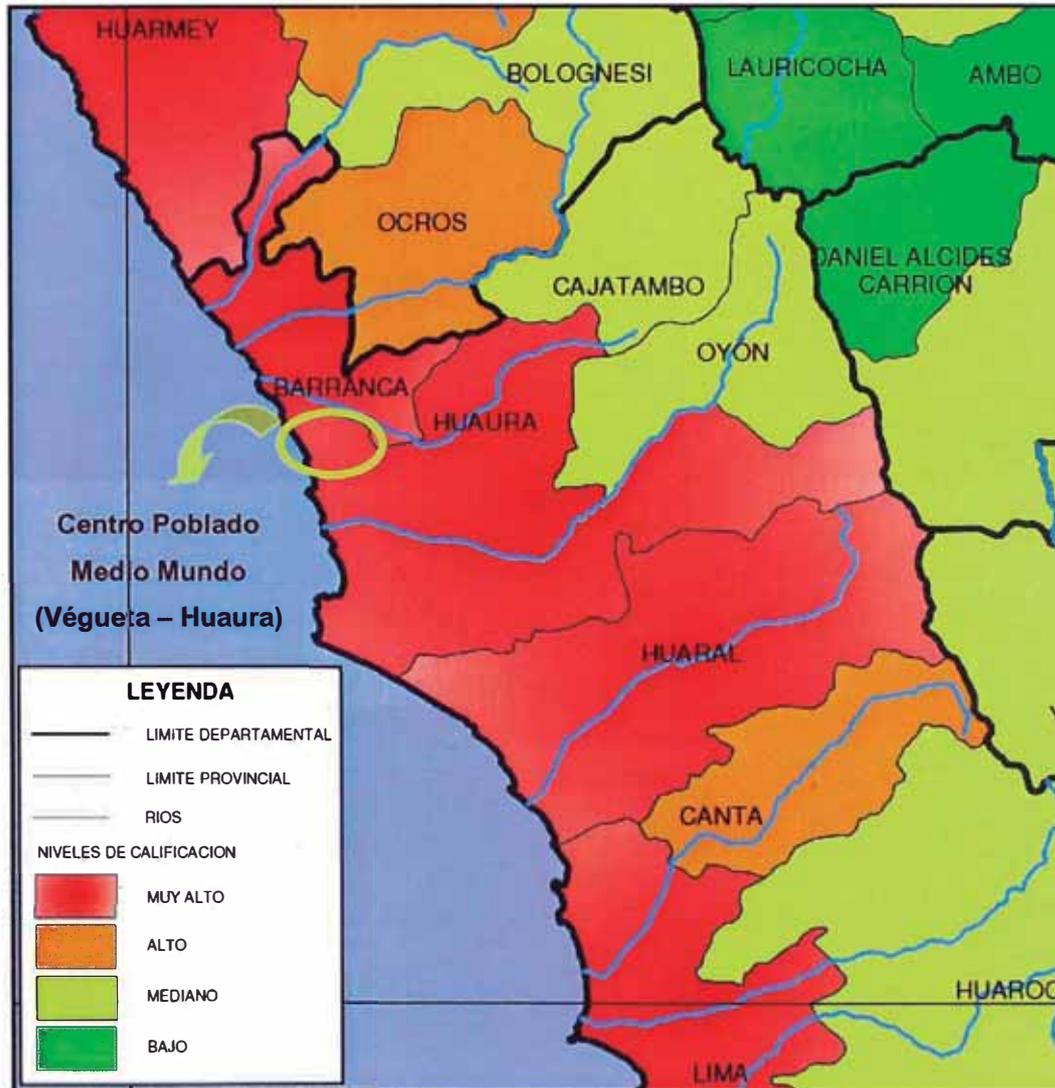


Figura N° 5: Peligrosidad sísmica del Centro Poblado Medio Mundo

Fuente: Mapa de Calificación de Provincias según Niveles de Peligros Sísmicos (Anexo N° 1)

Si se analiza el mapa del Anexo N° 2 se podrá observar que el Centro Poblado Medio Mundo ha llegado a padecer intensidades máximas de sismo de IX en la Escala de Mercalli, tal como lo muestra en la Figura N° 6.

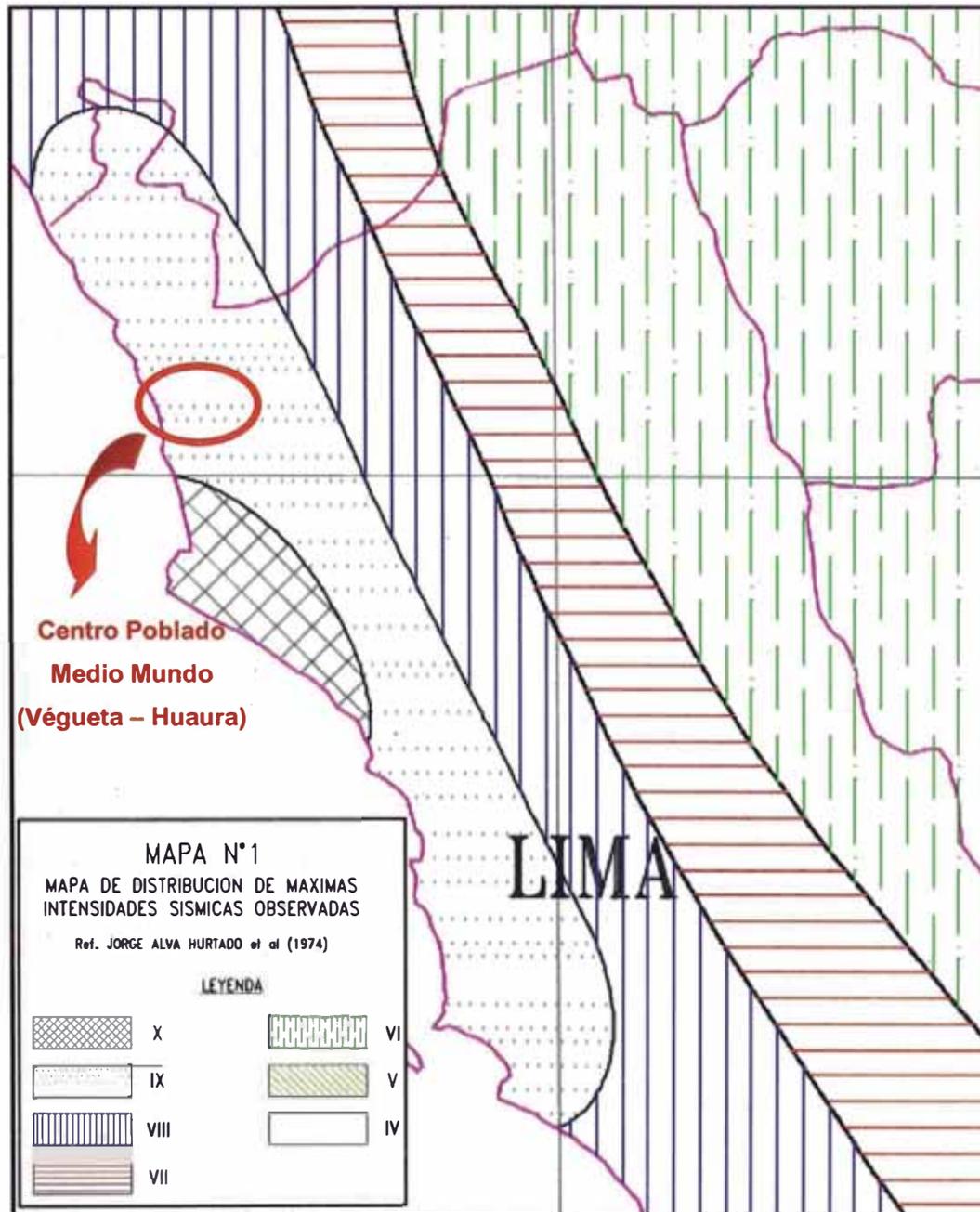


Figura N° 6: Intensidad máxima de sismo del Centro Poblado Medio Mundo
Fuente: Mapa de Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas
(Anexo N° 2)

3.4 INFORMACIÓN GEOTÉCNICA

El trazo de la línea de agua y alcantarillado se desarrolla por las calles principales de Centro Poblado Medio Mundo tal como se muestra en el Plano de Abastecimiento de Agua potable existente (Anexo N° 3) y el Plano de Redes de Alcantarillado existente (Anexo N° 4).

Se excavaron unas calicatas en la Av. Los Incas y Ca. Los Cipreses dentro del área de estudio.

De esta información, se determinó que el perfil típico presenta en la superficie un relleno de poco espesor, 0.20 m en promedio. Esta superficie sobreyace a suelos granulares del tipo arenas bien graduadas de espesor promedio de 1.50 m, con presencia de gravas angulosas (SW). Los depósitos ubicados en la parte baja, son arenas mal graduadas (SP) que presentan coloración variable como gris claro y marrón, teniendo en estos estratos presencia de humedad, así como manto de sales.

De acuerdo a la resistencia que presentan para excavarlos, los suelos se clasifican en:

- Material tipo I o tipo A:

Es un tipo de suelo que está casi suelto, con poco grado de dureza, que se puede excavar con una simple pala.

- Material tipo II o tipo B:

Es un tipo de suelo un poco más consolidado, se requiere de pico y pala para excavarlo, una retroexcavadora lo hace sin problemas.

- Material tipo III o tipo C:

Este tipo de material presenta un grado de cementación y de dureza que no se puede excavar tan fácilmente, una retroexcavadora no puede hacerlo sin ayuda de otros recursos. Se requiere de medios neumáticos, de explosivos, martillos hidráulicos, etc.

El suelo de la zona de estudio está conformado por materiales sueltos tales como arena, limo, arena limosa, gravillas, etc. y terrenos consolidados como materiales granulares, afirmado o mezcla de ellos, etc. los cuales pueden ser excavados sin dificultad con herramientas manuales y/o equipo mecánico, por lo que el tipo de material es del tipo II.

En este grupo se ha considerado además, los materiales de relleno que pueden ser excavados sin dificultad.

No se encontró la presencia de nivel freático hasta una profundidad de 2.00m en las calicatas de exploración.

En cuanto a la amenaza por licuación que pueda sufrir el área de estudio, se considera la información que se encuentra en el Anexo N° 5 (Mapa de áreas de Licuación de suelos) que indica que el Centro Poblado medio Mundo se encuentra cerca de un Área de Licuación, por lo que se le considerará de la misma categoría.

3.5 DESCRIPCIÓN DE LAS REDES DE AGUA Y ALCANTARILLADO EXISTENTES

3.5.1 Red de Agua existente

De acuerdo a "Mejoramiento e Instalación del Sistema de Agua y Alcantarillado para los C.P. Medio Mundo y Las Américas (Ref. Bibl. N° 6)", la fuente de agua es de origen subterráneo, pues parte de la precipitación en la cuenca se infiltra en el suelo hasta la zona de saturación.

El Centro Poblado Medio Mundo cuenta con redes de distribución relativamente nuevas instaladas aproximadamente en el año 2005.

Cuenta con 2 reservorios, cuyas características se detallan en el Cuadro N° 13:

Cuadro N° 13: Descripción de Reservorios del Centro Poblado Medio Mundo

RESERVORIO	CAPACIDAD (m3)	ANTIGUEDAD	T. LLENADO (Hr)	ABASTECE
1	150	6 Año	9	Av. Andres Llares, Esequiel Gago, 2 de Mayo(30min menos martes), Inc. Las Americas (3hr, dejando 1 dia).
2	30	15 Año	2	2da. Etapa parte alta, menos jueves. 45 min. Parte baja, 30 min. menos miercoles.

Fuente: Mejoramiento e Instalación del Sistema de Agua y Alcantarillado para los C.P. Medio Mundo y Las Américas (Ref. Bibl. N° 6)

Según la misma fuente en mención, ambos reservorios se encuentran en perfecto funcionamiento, no obstante la estructura en el Reservorio 02 no es apropiada para su uso. Las líneas de impulsión que llegan a ambos reservorios son de 3", mientras que las de aducción son de 4".

La red de distribución del Centro Poblado Medio Mundo está dividido en dos etapas, la primera etapa esta de forma provisional y la segunda etapa es permanente. Las tuberías en estudio son permanentes.

El agua del Centro Poblado está administrada por una Junta de Administradores de agua y saneamiento (JAAS) situados en las instalaciones del Municipio de Medio Mundo.

La zona estudiada cuenta con 177 lotes (174 utilizados para vivienda, 1 para losa deportiva, 1 para comedor popular y 1 parque infantil), de los cuales 129 no cuentan con el servicio de agua potable.

3.5.2 Red de Alcantarillado existente

El Centro Poblado Medio Mundo no tiene un sistema de alcantarillado en su totalidad. Solo la primera etapa tiene la red y la segunda solo presenta buzones. Las tuberías son de PVC de 8" de diámetro que se encuentran ubicadas entre 0.80 m a 1.20 m de profundidad según la topografía del terreno. Las ubicadas en la primera etapa tienen conexiones domiciliarias, mientras que la segunda etapa no presenta ni la matriz principal.

Los buzones son de concreto armado aunque no todos están en funcionamiento, las profundidades de estos varían según la topografía.

Como ya se mencionó, la zona estudiada cuenta con 177 lotes (174 utilizados para vivienda, 1 para losa deportiva, 1 para comedor popular y 1 parque infantil) y de ellos 170 no cuentan con el servicio de alcantarillado.

CAPÍTULO IV: ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE AGUA Y ALCANTARILLADO

Como ya se explicó en el Capítulo II se realizará el análisis de vulnerabilidad de las redes de agua y alcantarillado calculando el número de fallas en tuberías de acuerdo a la metodología y procedimiento explicados en dicha sección.

4.1 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE AGUA

4.1.1 División de tramos

Debido a que la zona de estudio no es muy grande, se considerará que las características geotécnicas y sísmicas del suelo son uniformes en todos los casos, por lo tanto la división de tramos se efectuará en función de las características físicas de las tuberías y se consideraran las longitudes aproximadas de éstas solamente dentro del área estudiada.

Además con fines de presentar una diferenciación más clara de los resultados, se dividirá los tramos también por su continuidad.

La distribución de estos tramos es mostrada en el Anexo N° 3: Plano de Abastecimiento de Agua potable existente.

4.1.2 Longitudes de tramos

Las longitudes de los tramos de la Red de Agua han sido medidas de manera aproximada. A continuación se presenta esta información en el Cuadro N° 14.

Cuadro N° 14: Longitudes de tramos de Tuberías de la Red de Agua

TRAMO	LONGITUD (L _t) (Km)
1-2	0.640
3-9	0.589
5-12	0.208
6-13	0.204
7-10	0.110
4-8	0.227
9-11	0.184
12-14	0.097

Fuente: Elaboración propia

4.1.3 Determinación de Factores

- Evaluación de Amenaza Sísmica

1. FTPS:

Debido a su resistencia a la excavación el suelo es de tipo II (Ver Sección 3.4), por lo que se le considera un **SUELO FIRME**.

→ **FTPS: 1.5**

2. FLPS:

Debido al tipo de suelo, su ubicación cercana a una zona de suelo licuable y la presencia de nivel freático (Ver Sección 3.4), se considera que el suelo tiene un **POTENCIAL MODERADO DE LICUACIÓN**.

→ **FLPS: 1.5**

3. FDPS:

Se considera un suelo con **DEFORMACIÓN PERMANENTE MODERADA**.

→ **FDPS: 1.5**

Con estos tres factores, se obtiene el siguiente valor de Factor de Amenaza Sísmica (FAS):

$$\mathbf{FAS = 1.5 \times 1.5 \times 1.5 = 3.38}$$

- **Estimación de la Vulnerabilidad**

Como ya se mencionó anteriormente, de acuerdo al Anexo N°2: Mapa del Perú de distribución de máximas intensidades sísmicas el Centro Poblado Medio Mundo ha soportado Intensidades de hasta IX en la Escala de Mercalli.

Aun así, se procederá al análisis de la red de agua considerando todas las intensidades indicadas por el método, es decir VI, VII, VIII, IX y X.

1. **IBD:**

Como el FAS obtenido en la Sección 4.3.1 es mayor a 2, los valores de IBD a utilizar para todas las intensidades son las mostradas en el Cuadro N° 15.

Cuadro N° 15: IBD de las Tuberías de la Red de Agua

INTENSIDAD DE MERCALLI	DESCRIPCIÓN
	FAS ≥ 2
VI	0.01
VII	0.09
VIII	0.55
IX	4.00
X	30.0

Fuente: Elaboración propia

2. **IBD corregido:**

Las tuberías de agua son de **CLORURO DE POLIVINILO (PVC)**, por lo tanto el valor de FCM es el siguiente:

FCM: 1.50

Según la Sección 3.5.1, las tuberías son relativamente nuevas y su **ESTADO REGULAR** por lo que el valor de FET que se considerará es el siguiente:

FET: 1.25

Adicionalmente, se tiene que las tuberías de agua son de dos diámetros, 2" (50.8mm) y 4" (101.6mm), por lo que se debe corregir el IBD.

Para esto, el valor de FADT que se considerará es:

FADT (2"): 1.50
FADT (4"): 1.25

Con estos factores, el IBD corregido es mostrado en el Cuadro N° 16.

$$IBD_{\text{corregido}} = IBD \times FCM \times FET \times FADT$$

Cuadro N° 16: IBD_{corregido} de las Tuberías de la Red de Agua

INTENSIDAD DE MERCALLI	IBD _{corregido} (Tubería 2")	IBD _{corregido} (Tubería 4")
VI	0.028	0.023
VII	0.253	0.211
VIII	1.547	1.289
IX	11.250	9.375
X	84.375	70.313

Fuente: Elaboración propia

4.1.4 Cálculo del número de fallas

SISMO DE INTENSIDAD VI

Cuadro N° 17: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad VI

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD				NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO	
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT			IBD _{corregido}
1-2	0.640	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1.25	0.023	0	0
3-9	0.589	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1.25	0.023	0	0
5-12	0.208	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1.25	0.023	0	0
6-13	0.204	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1.25	0.023	0	0
7-10	0.110	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1.25	0.023	0	0
4-8	0.227	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1.25	0.023	0	0
9-11	0.184	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1.5	0.028	0	0
12-14	0.097	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1.50	0.028	0	0
TOTAL														0	0

Fuente: Elaboración propia

De acuerdo a los resultados anteriormente obtenidos, se observa que ningún tramo de la red estudiada presenta roturas por lo que ésta no fallaría ante un sismo de Intensidad VI.

SISMO DE INTENSIDAD VII

Cuadro N° 18: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad VII

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO	
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido			
1-2	0.640	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1.25	0.211	0	0	
3-9	0.589	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1.25	0.211	0	0	
5-12	0.208	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1.25	0.211	0	0	
6-13	0.204	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1.25	0.211	0	0	
7-10	0.110	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1.25	0.211	0	0	
4-8	0.227	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1.25	0.211	0	0	
9-11	0.184	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1.50	0.253	0	0	
12-14	0.097	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1.50	0.253	0	0	
TOTAL																0

Fuente: Elaboración propia

De manera similar con el caso anterior, los resultados anteriormente obtenidos muestran que ningún tramo de la red estudiada presenta roturas por lo que ésta no fallaría ante un sismo de Intensidad VII.

SISMO DE INTENSIDAD VIII

Cuadro N° 19: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad VIII

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO	
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido			
1-2	0.640	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1	1.25	1.25	0.859	1	1	
3-9	0.589	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1	1.25	1.25	0.859	1	1	
5-12	0.208	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1	1.25	1.25	0.859	0	0	
6-13	0.204	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1	1.25	1.25	0.859	0	0	
7-10	0.110	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1	1.25	1.25	0.859	0	0	
4-8	0.227	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1	1.25	1.25	0.859	0	0	
9-11	0.184	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1	1.25	1.50	1.031	0	0	
12-14	0.097	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1	1.25	1.50	1.031	0	0	
TOTAL																2

Fuente: Elaboración propia

Ante un sismo de Intensidad VIII se observa que los solo los tramos 1-2 y 3-9 fallarían presentando 1 rotura cada uno.

La manera en cómo afecta estas roturas al sistema se observará y analizará en la Sección 5.1.2.

SISMO DE INTENSIDAD IX

Cuadro N° 20: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad IX

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido		
1-2	0.640	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1.25	9.375	6	4
3-9	0.589	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1.25	9.375	6	4
5-12	0.208	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1.25	9.375	2	0
6-13	0.204	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1.25	9.375	2	0
7-10	0.110	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1.25	9.375	1	0
4-8	0.227	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1.25	9.375	2	0
9-11	0.184	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1.50	11.250	2	0
12-14	0.097	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1.50	11.250	1	0
TOTAL															8

Fuente: Elaboración propia

Ante un sismo de Intensidad IX se observa que los tramos 1-2 y 3-9 son los que fallarían presentando 4 roturas cada uno.

La manera en cómo afecta estas roturas al sistema se observará y analizará en la Sección 5.1.3.

SISMO DE INTENSIDAD X

Cuadro N° 21: Número de fallas en Tuberías de la Red de Agua ante un Sismo de Intensidad X

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido		
1-2	0.640	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1.25	70.313	45	29
3-9	0.589	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1.25	70.313	41	24
5-12	0.208	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1.25	70.313	15	3
6-13	0.204	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1.25	70.313	14	3
7-10	0.110	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1.25	70.313	8	1
4-8	0.227	101.6	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1.25	70.313	16	4
9-11	0.184	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1.50	84.375	16	3
12-14	0.097	50.8	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1.50	84.375	8	1
TOTAL															68

Fuente: Elaboración propia

Por los resultados obtenidos se observa que ante un sismo de Intensidad X todos los tramos fallarían.

La manera en cómo afecta estas roturas al sistema se observará y analizará en la Sección 5.1.4.

4.2 ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD DE LAS REDES DE ALCANTARILLADO

4.2.1 División de tramos

De igual manera que para las redes de agua, se considerará que las características geotécnicas y sísmicas del suelo son uniformes en todos los casos, y se realizará la división de tramos en función de las características físicas de las tuberías y por su cambio de dirección.

La distribución de estos tramos es mostrada en el Anexo N° 4: Plano de Redes de Alcantarillado existente.

4.2.2 Longitudes de tramos

Las longitudes de los tramos de la Red de Alcantarillado han sido medidas de manera aproximada también. A continuación se presenta esta información en el Cuadro N° 22.

Cuadro N° 22: Longitudes de tramos de Tuberías de la Red de Alcantarillado

TRAMO	LONGITUD (L _t) (Km)
A-C	0.400
C-D	0.228
B-E	0.115

Fuente: Elaboración propia

4.2.3 Determinación de Factores

- Evaluación de Amenaza Sísmica

1. FTPS:

Debido a su resistencia a la excavación el suelo es de tipo II (Ver Sección 3.4), por lo que se le considera un **SUELO FIRME**.

→ **FTPS: 1.5**

2. FLPS:

Debido al tipo de suelo, su ubicación cercana a una zona de suelo licuable y la presencia de nivel freático (Ver Sección 3.4), se considera que el suelo tiene un **POTENCIAL MODERADO DE LICUACIÓN.**

→ FLPS: 1.5

3. FDPS:

Se considera un suelo con **DEFORMACIÓN PERMANENTE MODERADA.**

→ FDPS: 1.5

Con estos tres factores, se obtiene el siguiente valor de Factor de Amenaza Sísmica (FAS):

$$FAS = 1.5 \times 1.5 \times 1.5 = 3.38$$

- Estimación de la Vulnerabilidad

Como ya se mencionó anteriormente, de acuerdo al Anexo N°2: Mapa del Perú de distribución de máximas intensidades sísmicas el Centro Poblado Medio Mundo ha soportado Intensidades de hasta IX en la Escala de Mercalli.

Aun así, se procederá al análisis de la red de agua considerando todas las intensidades indicadas por el método, es decir VI, VII, VIII, IX y X.

1. IBD:

Como el FAS obtenido en la Sección 4.3.1 es mayor a 2, los valores de IBD a utilizar para todas las intensidades son las mostradas en el Cuadro N° 23.

Cuadro N° 23: IBD de las Tuberías de la Red de Alcantarillado

INTENSIDAD DE MERCALLI	DESCRIPCIÓN
	FAS ≥ 2
VI	0.01
VII	0.09
VIII	0.55
IX	4.00
X	30.0

Fuente: Elaboración propia

2. **IBD corregido:**

Las tuberías de agua son de **CLORURO DE POLIVINILO (PVC)**, por lo tanto el valor de FCM es el siguiente:

FCM: 1.50

Las tuberías son relativamente nuevas y su **ESTADO REGULAR** por lo que el valor de FET que se considerará es el siguiente:

FET: 1.25

Adicionalmente, se tiene que las tuberías de alcantarillado son de diámetro 8" (203.2mm), por lo que no se debe corregir el IBD.

Por esto, el valor de FADT que se considerará es:

FADT (8"): 1.00

Con estos factores, el IBD corregido es mostrado en el Cuadro N° 24.

$$\text{IBD}_{\text{corregido}} = \text{IBD} \times \text{FCM} \times \text{FET} \times \text{FADT}$$

Cuadro N° 24: IBD _{corregido} de las Tuberías de la Red de Alcantarillado

INTENSIDAD DE MERCALLI	IBD _{corregido}
VI	0.019
VII	0.169
VIII	1.031
IX	7.500
X	56.250

Fuente: Elaboración propia

4.2.4 Cálculo del número de fallas

SISMO DE INTENSIDAD VI

Cuadro N° 25: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VI

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido		
A-C	0.400	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1	0.019	0	0
C-D	0.228	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1	0.019	0	0
B-E	0.115	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.01	1.5	1.25	1	0.019	0	0
TOTAL														0	0

Fuente: Elaboración propia

En el Cuadro N° 25 se observa que ante un sismo de Intensidad VI ningún tramo del sistema estudiado fallaría, por lo que éste y la población no presentarían problemas.

SISMO DE INTENSIDAD VII

Cuadro N° 26: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VII

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido		
A-C	0.400	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1	0.169	0	0
C-D	0.228	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1	0.169	0	0
B-E	0.115	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.09	1.5	1.25	1	0.169	0	0
TOTAL														0	0

Fuente: Elaboración propia

Igualmente que el caso previamente analizado, el Cuadro N° 26 muestra que ante un sismo de Intensidad VII ningún tramo del sistema estudiado fallaría, por lo que éste y la población no presentarían problemas.

SISMO DE INTENSIDAD VIII

Cuadro N° 27: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VIII

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido		
A-C	0.400	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1.5	1.25	1	1.031	0	0
C-D	0.228	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1.5	1.25	1	1.031	0	0
B-E	0.115	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	0.55	1.5	1.25	1	1.031	0	0
TOTAL														0	0

Fuente: Elaboración propia

Igualmente que los casos previamente analizados, el Cuadro N° 27 muestra que ante un sismo de Intensidad VIII ningún tramo del sistema estudiado fallaría, por lo que éste y la población no presentarían problemas.

SISMO DE INTENSIDAD IX

Cuadro N° 28: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad IX

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FTPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido		
A-C	0.400	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1	7.500	3	1
C-D	0.228	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1	7.500	2	0
B-E	0.115	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	4	1.5	1.25	1	7.500	1	0
TOTAL														1	1

Fuente: Elaboración propia

En este caso el Cuadro N° 28 muestra que ante un sismo de Intensidad IX solo el tramo del sistema estudiado fallaría con 1 rotura.

La manera en cómo afecta esta rotura al sistema se observará y analizará en la Sección 5.1.6.

SISMO DE INTENSIDAD X

Cuadro N° 29: Número de fallas en Tuberías de la Red de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad X

TRAMO	CARACTERÍSTICAS DE TUBERÍAS				EVALUACIÓN DE AMENAZA SÍSMICA				ESTIMACIÓN DE LA VULNERABILIDAD					NÚMERO DE FALLAS POR KILÓMETRO	NÚMERO DE FALLAS EN TRAMO
	LONGITUD (Km)	DIÁMETRO (mm)	MATERIAL	ESTADO DE LAS TUBERÍAS	FPS	FLPS	FDPS	FAS	IBD	FCM	FET	FADT	IBD corregido		
A-C	0.400	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1	56.250	23	9
C-D	0.228	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1	56.250	13	3
B-E	0.115	203.2	PVC	REGULAR	1.5	1.5	1.5	3.38	30	1.5	1.25	1	56.250	6	1
TOTAL															13

Fuente: Elaboración propia

El Cuadro N° 29 muestra que cuando se presente un sismo de Intensidad X todos los tramos fallarían.

La manera en cómo afecta esta rotura al sistema se observará y analizará en la Sección 5.1.7.

CAPÍTULO V: APLICACIÓN DE SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA Y PRESENTACIÓN DE MAPAS TEMÁTICOS

Para la creación de los mapas temáticos se utilizó el programa ArcGIS, el cual permitió la introducción de los datos obtenidos durante el catastro de viviendas y lo obtenido en este informe.

Como el tema tratado ha sido la vulnerabilidad de las tuberías, en los mapas temáticos se podrán observar los tramos escogidos para cada red y el número de fallas de cada uno según lo calculado en el Capítulo IV para cada una de los escenarios sísmicos.

Así mismo en estos mapas se observarán aquellos lotes que se verían afectados por la falta de servicio debido a las fallas de las redes de agua y alcantarillado que ocurrirían por el sismo y su vulnerabilidad.

5.1 ANÁLISIS DE MAPAS TEMÁTICOS

5.1.1 Número de Fallas en tuberías de agua potable ante un sismo de Intensidad VI y VII

En el Anexo N°6: "Mapa Temático: Número de Fallas en Tuberías de Agua Potable ante un Sismo de Intensidad VI y VII" realizado bajo estos escenarios se observa que las tuberías no fallan por lo que ningún lote se vería afectado por un corte de servicio.

En el Cuadro N° 30 se puede ver la situación de la zona de estudio y en la Figura N° 7 un diagrama circular de la misma información en porcentaje.

Cuadro N° 30: Número de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad VI y VII

	NUMERO DE LOTES	% DE LOTES
LOTES SIN SERVICIO	129	73%
LOTES AFECTADOS	0	0%
LOTES NO AFECTADOS	48	27%

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 7: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad VI y VII

Fuente: Elaboración propia

5.1.2 Número de fallas en tuberías de agua potable ante un sismo de Intensidad VIII

En el Anexo N°7: “Mapa Temático: Número de Fallas en Tuberías de Agua Potable ante un Sismo de Intensidad VIII” realizado bajo este escenario se observa que el tramo 1-2 y 3-9 sufrirían 1 falla pero por ser tramos que alimentan a varios mas, afectaría por corte de servicio a muchos lotes, según se muestra en el Cuadro N° 31 y en la Figura N° 8.

Cuadro N° 31: Número de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad VIII

	NUMERO DE LOTES	% DE LOTES
LOTES SIN SERVICIO	129	73%
LOTES AFECTADOS	48	19%
LOTES NO AFECTADOS	0	8%

Fuente: Elaboración propia

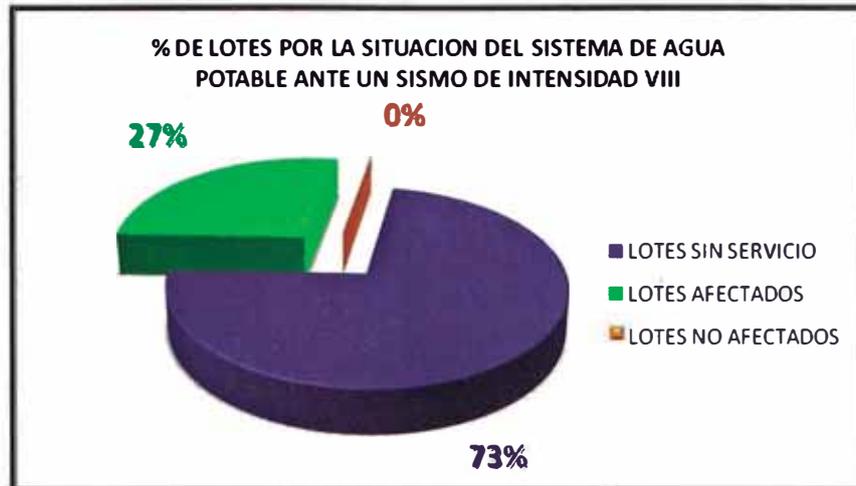


Figura N° 8: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad VIII

Fuente: Elaboración propia

5.1.3 Número de fallas en tuberías de agua potable ante un sismo de Intensidad IX

En el Anexo N°8: "Mapa Temático: Número de Fallas en Tuberías de Agua Potable ante un Sismo de Intensidad IX" realizado bajo este escenario se observa que el tramo 1-2 y 3-9 sufrirían 4 fallas cada uno pero por ser tramos que alimentan a varios mas, afectaría por corte de servicio a muchos lotes, según se muestra en el Cuadro N° 32 y en la Figura N° 9.

Cuadro N° 32: Número de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad IX

	NUMERO DE LOTES	% DE LOTES
LOTES SIN SERVICIO	129	73%
LOTES AFECTADOS	48	27%
LOTES NO AFECTADOS	0	0%

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 9: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad IX

Fuente: Elaboración propia

5.1.4 Número de fallas en tuberías de agua potable ante un sismo de Intensidad X

En el Anexo N°9: “Mapa Temático: Número de Fallas en Tuberías de Agua Potable ante un Sismo de Intensidad X” realizado bajo este escenario se observa que todos los tramos sufrirían roturas y todos los lotes estudiados sufrirían cortes de servicio también tal como se puede observar en el Cuadro N° 33 y en la Figura N° 10.

Cuadro N° 33: Número de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad X

	NUMERO DE LOTES	% DE LOTES
LOTES SIN SERVICIO	129	73%
LOTES AFECTADOS	48	27%
LOTES NO AFECTADOS	0	0%

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 10: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Agua ante un Sismo de Intensidad X

Fuente: Elaboración propia

5.1.5 Número de fallas en tuberías de alcantarillado ante un sismo de Intensidad VI, VII y VIII

En el Anexo N°10: "Mapa Temático: Número de Fallas en Tuberías de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VI, VII y VIII" realizado bajo este escenario se observa que las tuberías no fallan por lo que ningún lote se vería afectado por un corte de servicio.

En el Cuadro N° 34 y la Figura N° 11 se puede ver lo anteriormente mencionado.

Cuadro N° 34: Número de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VI, VII y VIII

	NUMERO DE LOTES	% DE LOTES
LOTES SIN SERVICIO	170	96%
LOTES AFECTADOS	0	0%
LOTES NO AFECTADOS	7	4%

Fuente: Elaboración propia

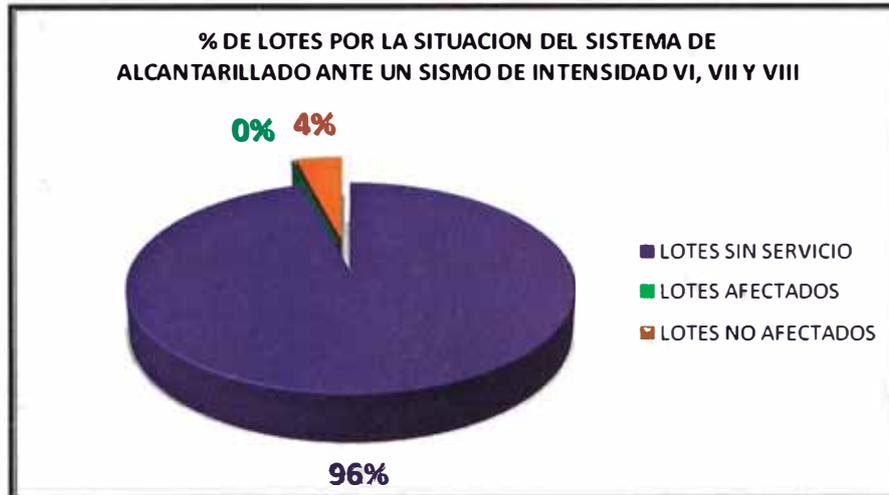


Figura N° 11: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad VI, VII y VIII

Fuente: Elaboración propia

5.1.6 Número de fallas en tuberías de alcantarillado ante un sismo de Intensidad IX

En el Anexo N°11: "Mapa Temático: Número de Fallas en Tuberías de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad IX" realizado bajo este escenario se observa que las tuberías del tramo A-C fallarían por 1 rotura y 1 lote que cuenta con servicio se vería afectado, según se muestra en el Cuadro N° 35 y la Figura N° 12.

Cuadro N° 35: Número de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad IX

	NUMERO DE LOTES	% DE LOTES
LOTES SIN SERVICIO	170	96%
LOTES AFECTADOS	1	1%
LOTES NO AFECTADOS	6	3%

Fuente: Elaboración propia



Figura N° 12: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad IX

Fuente: Elaboración propia

5.1.7 Número de fallas en tuberías de alcantarillado ante un sismo de Intensidad X

En el Anexo N°12: "Mapa Temático: Número de Fallas en Tuberías de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad X" realizado bajo este escenario se observa que las tuberías tendrían al menos 1 rotura y que los lotes que cuenten con servicio se verían afectados, según se muestra en el Cuadro N° 33 y la Figura N° 13.

En este caso las tuberías del tramo A-C presentaría 10 fallas, B-E 1 falla y el tramo C-D 3 fallas y por estas fallas todos los lotes que cuenten con servicio se verían afectados por corte, según se muestra en el Cuadro N° 36 y la Figura N° 13.

Cuadro N° 36: Número de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad X

	NUMERO DE LOTES	% DE LOTES
LOTES SIN SERVICIO	170	96%
LOTES AFECTADOS	7	4%
LOTES NO AFECTADOS	0	0%

Fuente: Elaboración propia

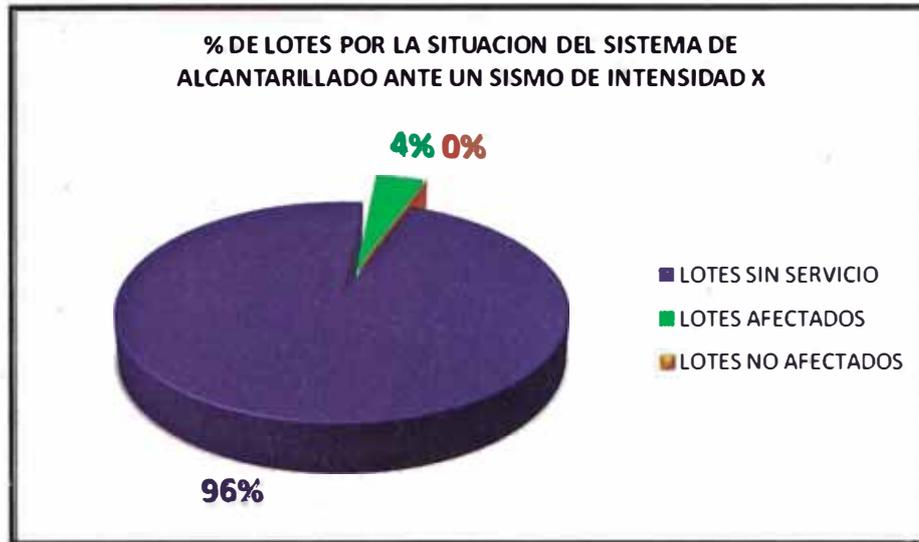


Figura N° 13: Porcentaje de lotes por la situación del Sistema de Alcantarillado ante un Sismo de Intensidad X

Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

1.1 CONCLUSIONES

- El estudio de las fallas de tuberías ocasionadas por sismo se desarrolla analizando la amenaza sísmica de la zona, en la que se determina las condiciones sísmicas y de suelo, y la vulnerabilidad de estas tuberías en la que se analiza las propiedades y condiciones de las mismas.
- Las redes de agua son sistemas formados por ramales de tuberías y que la falla de uno de sus tramos puede afectar todo el conjunto, más aun si las fallas se producen cerca a los reservorios.
- Ante un sismo de intensidad VI y VII las tuberías de agua de la zona estudiada no fallarían y por lo tanto ningún lote que cuente con el servicio, que son el 27% de los lotes estudiados se vería afectado.
- Un sismo de intensidad VIII produciría 1 falla en los tramos 1-2 y 3-9 de las tuberías de agua, pero no en los demás. Sin embargo, por ser las tuberías afectadas las que alimentan a las demás todos los lotes se verían afectados con el corte del servicio.
- Un sismo de intensidad IX también afectaría los tramos 1-2 y 3-9 de tuberías de agua, teniéndose 4 fallas en cada uno de estos tramos y ninguna en los demás. De manera similar por ser esos tramos los que alimentan al resto se quedarían sin servicio todos los lotes estudiados.
- Un sismo de intensidad X ocasionaría un de total de 68 fallas en todos los tramos de tuberías de agua ocasionando que todos los lotes se queden sin servicio.
- En el caso de los tramos de tuberías para el sistema de alcantarillado, estos resistirían los sismos de intensidades VI, VII y VIII sin fallas, no afectándose los lotes que cuentan con el servicio que son solo el 4% del total estudiado.
- Un sismo de intensidad IX producirá 1 rotura en las tuberías del tramo A-C y ninguna en los tramos C-D y B-E. Esto producirá que 1 lote (1%) se vea afectado.
- Si se presentara un sismo de intensidad X todos los tramos de las tuberías de alcantarillado fallarían con un total de 13 roturas.

1.2 RECOMENDACIONES

- Debido a que este estudio ha sido realizado para que sirva de guía, se ha considerado para su desarrollo información de diversas fuentes. Por esta razón se recomienda hacer un mejor estudio de todos los factores que intervienen en el análisis de vulnerabilidad para así obtener resultados más reales sobre la zona de estudio.
- Cuando se realice el análisis de vulnerabilidad de toda la red, se recomienda hacer la división de tramos en función a los tipos de tuberías y condiciones del terreno, para así establecer las que fallen y hacer un análisis de cuáles podrían ser cambiadas para que soporten los diversos escenarios sísmicos.
- Es importante asegurar que las tuberías cercanas a los reservorios de agua sean las que preferentemente no fallen pues ello ocasionaría que todo el sistema se quede sin servicio de agua.

De acuerdo al análisis realizado, este sería el caso de la red estudiada cuando se presentan sismos de intensidad VIII, IX o X, donde las tuberías de los tramos que salen de los reservorios son las que fallan.

Para ello se recomienda cambiar las tuberías de esos tramos buscando asegurar que esos tramos resistan los sismos de intensidad VIII, IX o X, por ejemplo cambiando el material del mismo (acero dúctil) o aumentando sus diámetros.

- Aun así la falla no ocurra en las tuberías cercanas al reservorio, también sería recomendable la colocación de válvulas de compuertas que sirvan para aislar segmentos de tubería y así evitar las pérdidas de agua por fuga y el posible vaciado de los reservorios.
- Después de haber hecho un análisis de las tuberías de alcantarillado y ver los tramos de falla, se recomienda hacer el cambio de tuberías del tramo A-C buscando que ésta soporte sismos de intensidad IX y X, pues su deterioro implicaría posibles problemas ambientales y sanitarios que afecten a la población, sobretodo considerando que el método utilizado no permite establecer la ubicación exacta de los puntos de falla y esto dificultaría una pronta reparación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Argudo Rodríguez, Jaime, "Diagnóstico de Vulnerabilidad y estimación de daños en los Sistemas Vitales de Guayaquil en el escenario de un terremoto de Intensidad VIII". Universidad Católica de Santiago de Guayaquil - Instituto de Investigación y Desarrollo de la Facultad de Ingeniería (IIFIUC)
2. Castillo Aedo, Jorge L., Alva Hurtado Jorge, "Peligro Sísmico en el Perú. Ponencia presentada en el VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones", Perú, 1993.
3. Instituto Nacional de Defensa Civil, "Manual Básico para la Estimación del Riesgo". Instituto Nacional de Defensa Civil. Lima, 2006.
4. Organización Panamericana de la Salud. "Reducción del Daño Sísmico. Guía para las Empresas de Agua". Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre. Lima, 2003.
5. Narváez Osorio, Juan Diego, "Diagnóstico de la Vulnerabilidad física y funcional del sistema de acueducto y alcantarillado de Santa Rosa de Cabal, Risaralda", Santa Rosa de Cabal, Risaralda, 2002.
6. Negocios y Construcciones SAC, "Mejoramiento e Instalación del Sistema de Agua y Alcantarillado para los C.P. Medio Mundo y Las Américas", Lima, 2008
7. Organización Panamericana de la Salud. "Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario. Guías para el análisis de Vulnerabilidad". Programa de Preparativos para Situaciones de Emergencia y Coordinación del Socorro en Casos de Desastre, OPS/OMS. Estados Unidos, 1998.

8. Rodríguez Avellaneda, Alexys Herleym. "Análisis y Evaluación de Riesgo Sísmico en Líneas Vitales. Caso de Estudio Bogotá D.C.", Universidad Nacional de Colombia. Bogotá D.C., 2011
9. Negocios y Construcciones SAC, "Mejoramiento e Instalación del Sistema de Agua y Alcantarillado para los C.P. Medio Mundo y Las Américas", Lima, 2008