

Universidad Nacional
“José Faustino Sánchez Carrión”



“Facultad de Ingeniería Civil”
Escuela Profesional de Ingeniería Civil

**“ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE
AGUA POTABLE PARA PREVENIR EL DESABASTECIMIENTO DEL SECTOR VI
DEL DISTRITO DE HUACHO – 2018”**

TESIS
PARA OPTAR EL TITULO PROFESIONAL DE INGENIERO CIVIL

Autor:

PAZ RONCEROS, Max Miller.

Asesor:

Ing. VALVERDE FIGUEROA, Jean Jesús.

C.I.P. N° 154167

Huacho - Perú

2020

**“ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DE REDES DE
DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA PREVENIR EL
DESABASTECIMIENTO DEL SECTOR VI DEL DISTRITO DE
HUACHO – 2018”**

ASESOR Y MIEMBROS DEL JURADO

.....
Asesor
Ing. VALVERDE FIGUEROA, Jean Jesús.
CIP N° 154167

.....
Presidente
Dr. SALCEDO MEZA, Máximo Tomás.
CIP N° 15140

.....
Secretario
M(o) ABARCA RODRÍGUEZ, Joaquín José.
CIP N° 108833

.....
Vocal
M(o) ZUMARÁN IRRIBARREN, José Luis.
CIP N° 78792

DEDICATORIA.

Esta tesis está dedicada con todo amor y afecto a mis padres y hermana, quienes han influenciado en mi vida, dándome los mejores consejos, guiándome y haciendo de mí una persona de bien.

AGRADECIMIENTO.

Gracias a mis padres, por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy y, gracias a Dios por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante todo mi camino hasta este día.

RESUMEN

En la presente investigación se utilizó 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” ((OPS), 1998); la cual está fundamentada en el Estudio de Caso del Terremoto de Limón, Costa Rica, 1991, para hallar el número esperado de roturas por kilómetro de longitud; se realizó la evaluación de la amenaza sísmica; posteriormente se ha estimado la vulnerabilidad para con ello determinar el número de fallas en cada tramo de tubería.

Es así que, con la aplicación de la metodología anteriormente mencionada, se pudo estimar el número de roturas en cada tramo de las tuberías de la red de distribución de agua potable en el Sector VI del distrito de Huacho, para casos de sismos de intensidad VII, VIII, IX y X.

Finalmente, conociéndose el número de roturas por cada tramo de tubería, se pudo identificar medidas de mitigación que podrían ser implementadas en un futuro por la E.P.S. Aguas de Lima Norte para prevenir el desabastecimiento de agua potable en el Sector VI del distrito de Huacho ante eventos sísmicos.

Palabras clave: vulnerabilidad, sismo, redes de distribución, agua potable, desabastecimiento.

ABSTRACT

This research will analyze the methodology proposed by the Pan American Health Organization in its publication "Mitigation of Natural Disasters in Drinking Water and Sanitary Sewer Systems - Guidelines for Vulnerability Analysis" ((PAHO), 1998); which is based on the Limón Earthquake Case Study, Costa Rica, 1991, to find the expected number of breaks per kilometer in length; the seismic threat assessment was carried out; subsequently, the modification has been estimated to determine the number of failures in each section of pipe.

Thus, with the application of the aforementioned methodology, it was possible to estimate the number of breaks in each section of the pipes of the drinking water distribution network in Sector VI of the Huacho district, for cases of earthquakes of intensity VII, VIII, IX and X.

Finally, we knew the number of breaks for each section of pipe, we were able to identify mitigation measures that could be implemented in the future by the E.P.S. Aguas de Lima Norte to prevent drinking water shortages in Sector VI of the Huacho district in the face of seismic events.

Key words: *vulnerability, earthquake, distribution networks, drinking water, shortages.*

INTRODUCCIÓN

El distrito de Huacho se encuentra en una zona altamente sísmica de la costa peruana debido a la interacción de placas que genera frecuentemente sismos de magnitud elevada, y esta característica hace que tanto las estructuras y la población estén expuestos a daños que podrían ser irreparables.

Si agregamos a los peligros naturales la creciente vulnerabilidad causada por la actividad humana, como la industrialización, la urbanización descontrolada y el deterioro del medio ambiente, vemos un aumento dramático en la frecuencia y los efectos de los desastres. Los desastres siguen un ciclo que incluye la etapa previa al impacto, la respuesta al desastre y las actividades de reconstrucción y rehabilitación. Los costos de la reconstrucción consumen una gran parte de los activos disponibles, reducen los recursos para nuevas inversiones y pueden retrasar el proceso de desarrollo.

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 se mantengan en óptimas condiciones.

Ante tal importancia, en la presente tesis se desarrolla el análisis de vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable del Sector VI del distrito de Huacho mediante un método aproximado para determinar el número de roturas de las tuberías que las componen.

ÍNDICE

DEDICATORIA. -----	3
AGRADECIMIENTO. -----	4
RESUMEN-----	5
ABSTRACT -----	6
INTRODUCCIÓN-----	7
ÍNDICE -----	8
ÍNDICE DE TABLAS -----	12
CAPÍTULO I PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA -----	19
1.1. Descripción de la Realidad Problemática	19
1.2. Formulación del Problema.....	20
1.2.1. Problema general.	20
1.2.2. Problemas específicos.	20
1.3. Objetivos de la Investigación.....	21
1.3.1. Objetivo general.	21
1.3.2. Objetivos específicos.....	21
1.4. Justificación de la Investigación	21
1.4.1. Justificación teórica.	21
1.4.2. Justificación metodológica.	22
1.4.3. Justificación práctica.	22
1.4.4. Justificación social.....	22
1.5. Delimitación del Estudio	23

1.5.1. Delimitación temporal.	23
1.5.2. Delimitación espacial.	23
1.5.3. Delimitación social.	23
1.6. Viabilidad del Estudio.	23
CAPÍTULO II MARCO TEÓRICO -----	25
2.1. Antecedentes de la Investigación.....	25
2.1.1. Investigaciones internacionales.	25
2.1.2. Investigaciones nacionales.	27
2.1.3. Otras publicaciones científicas.	28
2.2. Bases Teóricas.	32
2.2.1. Análisis de vulnerabilidad.	32
2.2.1.1. Vulnerabilidad.	33
2.2.1.2. Cuantificación de vulnerabilidad.....	33
2.2.2. Evaluación del riesgo sísmico.	34
2.2.2.1. Características.	34
2.2.2.2. Medición de los sismos.	36
2.2.2.3. Efectos de los sismos en obras subterráneas o enterradas.....	36
2.2.3. Redes de distribución de agua potable.	39
2.2.3.1. Tipos de redes.....	39
2.2.4. Método de estimación del daño en tuberías.	40
2.2.4.1. Evaluación de la amenaza sísmica.	41
2.2.4.2. Estimación de la vulnerabilidad.	44

2.2.4.3. Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro.....	46
2.3. Definición de Términos Básicos.....	47
2.4. Hipótesis de Investigación.....	50
2.4.1. Hipótesis general.....	50
2.4.2. Hipótesis específicas.....	50
2.5. Operacionalización de las Variables.....	51
CAPÍTULO III METODOLOGÍA -----	52
3.1. Diseño Metodológico.....	52
3.1.1. Tipo de investigación científica.....	52
3.1.2. Nivel de investigación.....	52
3.1.3. Diseño de investigación.....	52
3.1.4. Enfoque de investigación.....	52
3.2. Población y Muestra.....	53
3.2.1. Población.....	53
3.2.2. Muestra.....	53
3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.....	53
3.3.1. Técnicas a Emplear.....	53
3.3.2. Descripción de los Instrumentos.....	53
3.4. Técnicas para el Procesamiento de la Información.....	53
CAPÍTULO IV RESULTADOS -----	55
4.1. Análisis de Resultados.....	55
4.1.1. Evaluación de la amenaza sísmica.....	55

4.1.2. Determinación del número esperado de fallas por kilómetro.....	57
4.1.3. Medidas de prevención.....	93
4.2. Contrastación de Hipótesis.....	98
CAPÍTULO V DISCUSIÓN-----	100
5.1. Discusión.....	100
CAPÍTULO VI CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES-----	101
6.1. Conclusiones.....	101
6.2. Recomendaciones.....	102
REFERENCIAS-----	104
7.1. Fuentes Bibliográficas.....	104
ANEXOS-----	108

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Factor de peligro por tipo de perfil de suelo.	41
Tabla 2: Factor de peligro por licuefacción potencial del suelo.	42
Tabla 3: Factor de peligro por deformación permanente del suelo.	43
Tabla 4: Factor de amenaza sísmica (FAS).	43
Tabla 5: Índices básicos de daño (IBD) por sismos, en tubería de hierro fundido (HF).	44
Tabla 6: Factor de corrección por tipo de material (FCM).	45
Tabla 7: Factores por estado de tuberías (FET).	45
Tabla 8: Factor de aumento por diámetro de tubería (FADT).	46
Tabla 9: Operacionalización de variables	51
Tabla 10: Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FSPT) en el Sector VI del distrito de Huacho.	55
Tabla 11: Factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS) en el Sector VI del distrito de Huacho.	56
Tabla 12: Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) en el Sector VI del distrito de Huacho.	56
Tabla 13: Determinación del factor de amenaza sísmica (FAS) en el Sector VI del distrito de Huacho.	57
Tabla 14: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 1 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.	58
Tabla 15: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 2 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.	58
Tabla 16: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 3 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.	59

Tabla 17: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 4 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	59
Tabla 18: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 5 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	60
Tabla 19: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 6 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	60
Tabla 20: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 7 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	61
Tabla 21: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 8 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	61
Tabla 22: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 9 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	62
Tabla 23: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 10 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	62
Tabla 24: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 11 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	63
Tabla 25: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 12 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	63
Tabla 26: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 13 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	64
Tabla 27: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 14 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	64
Tabla 28: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 15 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	65

Tabla 29: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 16 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	65
Tabla 30: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 17 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	66
Tabla 31: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 18 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	66
Tabla 32: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 19 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	67
Tabla 33: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 20 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	67
Tabla 34: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 21 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	68
Tabla 35: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 22 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	68
Tabla 36: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 23 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	69
Tabla 37: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 24 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	69
Tabla 38: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 25 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	70
Tabla 39: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 26 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	70
Tabla 40: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 27 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	71

Tabla 41: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 28 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	71
Tabla 42: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 29 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	72
Tabla 43: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 30 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	72
Tabla 44: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 31 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	73
Tabla 45: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 32 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	73
Tabla 46: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 33 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	74
Tabla 47: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 34 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	74
Tabla 48: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 35 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	75
Tabla 49: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 36 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	75
Tabla 50: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 37 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	76
Tabla 51: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 38 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	76
Tabla 52: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 39 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	77

Tabla 53: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 40 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	77
Tabla 54: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 41 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	78
Tabla 55: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 42 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	78
Tabla 56: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 43 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	79
Tabla 57: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 44 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	79
Tabla 58: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 45 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	80
Tabla 59: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 46 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	80
Tabla 60: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 47 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	81
Tabla 61: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 48 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	81
Tabla 62: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 49 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	82
Tabla 63: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 50 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	82
Tabla 64: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 51 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	83

Tabla 65: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 52 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	83
Tabla 66: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 53 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	84
Tabla 67: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 54 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	84
Tabla 68: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 55 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	85
Tabla 69: Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 56 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.....	85
Tabla 70: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad VII desde el Tramo 1 al Tramo 28.....	86
Tabla 71: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad VII desde el Tramo 29 al Tramo 56.....	87
Tabla 72: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad VIII desde el Tramo 1 al Tramo 28.....	88
Tabla 73: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad VIII desde el Tramo 29 al Tramo 56.....	89
Tabla 74: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad IX desde el Tramo 1 al Tramo 28.....	90
Tabla 75: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad IX desde el Tramo 29 al Tramo 56.....	91
Tabla 76: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad X desde el Tramo 1 al Tramo 28.....	92

Tabla 77: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad X desde el Tramo 29 al Tramo 56..... 93

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Descripción de la Realidad Problemática

Con el calentamiento global, el problema del agua se está convirtiendo en un problema medio en áreas del hemisferio sur donde la lluvia está disminuyendo considerablemente. Como resultado, preservar dicho recurso se está convirtiendo en una tarea crucial que enfrentan las autoridades. Una de las principales formas de preservación es hacer que la red de tuberías de agua esté lo más segura posible de cualquier daño que implique la pérdida de agua alrededor de las áreas urbanas, en particular aquellas situadas dentro de áreas propensas a la sismicidad.

El servicio es crítico; en general, hay varios factores que inhiben dicha función, incluido el deterioro físico de las instalaciones de la red (tuberías en particular), los riesgos provocados por el hombre que resultan en daños a la tubería durante la construcción del suelo y los desastres naturales como terremotos e inundaciones. Entre ellos, los desastres naturales están más allá del control humano, y el alcance del daño puede ser catastrófico. Por lo tanto, los desastres naturales requieren mantenimiento preventivo en comparación con otros factores. Entre otros tipos de desastres naturales, los terremotos tienen el impacto más significativo y directo en la red de suministro de agua porque la mayoría de los componentes están enterrados bajo tierra.

Las funciones de vulnerabilidad se usan con las proporciones de tipologías de construcción del conjunto de datos de cada método para calcular las tasas de pérdida sísmica esperadas en un rango de intensidades sísmicas. El rango de pérdidas estimadas resalta la incertidumbre en los resultados dependiendo de la metodología de recolección de datos empleados y muchas otras fuentes de incertidumbre del proceso de evaluación del riesgo sísmico. Se destacan las opciones clave de investigación futura para continuar trabajando hacia la mejora de la efectividad de las decisiones tomadas utilizando resultados de riesgo sísmico.

Una red de suministro de agua es una infraestructura hecha por el hombre que suministra agua potable. Si pierde parcial o completamente la función de suministro de agua debido a un desastre imprevisto, pueden producirse daños sociales y económicos masivos. Por lo tanto, mantenimiento constante para evitar tal retroceso en el agua. El distrito de Huacho se encuentra ubicado en el litoral peruano, que según la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”, está clasificado como “Zona 4” pues posee una peligrosidad sísmica muy alta. Actualmente cuenta con la EPS Aguas de Lima Norte S.A., la cual es la encargada de la administración, operación y mantenimiento de los sistemas de agua potable existentes en el distrito. Esta EPS por medio de su Gerencia Operacional cuenta con información actualizada sobre la antigüedad de las tuberías, tipo de material y demás característica.

En general, los enfoques utilizados para reducir el daño sísmico se pueden dividir en gran medida en dos ramas. El primero es reforzar la durabilidad del sistema para evitar daños o minimizar el deterioro inmediato de un sistema. Debido a que es difícil predecir el momento exacto de un evento de terremoto, sería beneficioso desarrollar un sistema resistente a terremotos a través de refuerzo avanzado o diseño del sistema. El segundo enfoque es mejorar la capacidad de recuperación del sistema mediante la restauración posterior al terremoto. Debido a que los desastres naturales no se pueden prevenir por completo, es esencial mejorar la resistencia del sistema en términos de restauración posterior al evento para evitar pérdidas a largo plazo.

1.2. Formulación del Problema

1.2.1. Problema general.

¿Cuál será la magnitud del análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho - 2018?

1.2.2. Problemas específicos.

- a. ¿Cómo se puede cuantificar la vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable del sector VI del distrito de Huacho – 2018?
- b. De acuerdo al análisis de vulnerabilidad sísmica en las redes de distribución de agua potable ¿Qué medidas se pueden adoptar para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018?

1.3. Objetivos de la Investigación

1.3.1. Objetivo general.

Analizar la vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho - 2018.

1.3.2. Objetivos específicos.

- a. Cuantificar la vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable para la identificación de los puntos críticos de del sector VI del distrito de Huacho – 2018.
- b. Proponer medidas para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018.

1.4. Justificación de la Investigación

1.4.1. Justificación teórica.

El análisis de vulnerabilidad, el tema de este documento, proporciona un enfoque simple para abordar la pregunta: ¿Cuál será la magnitud del análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho - 2018?" El resultado ayudará a definir las medidas de mitigación necesarias y los procedimientos de respuesta de emergencia en caso de que ocurra un desastre antes de llevar a cabo las medidas de mitigación, o si las medidas no evitan daños. El análisis de vulnerabilidad es primordial para establecer planes de mitigación y emergencia para (i) la ejecución de las medidas de mitigación para diferentes componentes del sistema, (ii) organización y

preparación, y (iii) atención a la emergencia. Requiere una respuesta antes, durante y después del desastre.

1.4.2. Justificación metodológica.

Este informe describe la metodología desarrollada, que se basa determinar la forma o grado de vulnerabilidad sísmica al que se encuentran expuestas las tuberías de las redes de distribución en el Sector VI de Huacho, en la simulación matemática orientada a objetos para dar cuenta de las incertidumbres involucradas (en el peligro, así como en el sistema) y abordar la complejidad de las interacciones existentes dentro de cada sistema entre sus componentes y entre los sistemas. La metodología integra en el mismo marco el peligro, la vulnerabilidad física y las consecuencias / impacto social. La fortaleza de la base orientada a objetos del modelo es que se puede expandir y desarrollar fácilmente paso a paso, lo que permite múltiples opciones para cada modelo intermedio.

1.4.3. Justificación práctica.

El suministro de agua potable es responsabilidad directa de las empresas, públicas o privadas, que prestan el servicio. El rendimiento de los sistemas en situaciones de emergencia debe planificarse de la misma manera que los programas de operación de rutina y mantenimiento preventivo y correctivo planificado. Incluso durante las operaciones de rutina, a menudo hay interrupciones del servicio debido a fallas en el equipo, roturas en las tuberías y racionamiento debido al bajo suministro de agua. El daño disminuye cuando se toman medidas para fortalecer los sistemas y tener mecanismos de respuesta en caso de una emergencia. La implementación de programas que actualizan continuamente la mitigación de desastres y los planes de respuesta a emergencias garantizan una respuesta responsable y efectiva a los desastres.

1.4.4. Justificación social.

Los servicios de agua potable y alcantarillado son esenciales para garantizar la salud y el bienestar de las poblaciones y, como tales, desempeñan un papel importante en el proceso de

desarrollo. En situaciones de emergencia o desastre, estos servicios básicos son imprescindibles para el rápido retorno a la normalidad. El impacto de un desastre natural puede causar contaminación del agua, roturas en las tuberías, daños a las estructuras, escasez de agua y colapso de todo el sistema. Dependiendo del nivel de preparación que las autoridades del sistema de agua hayan adoptado, la reparación del sistema puede llevar días, semanas e incluso meses. El riesgo de daños a los sistemas de agua en situaciones de desastre aumenta dramáticamente con factores como el crecimiento descontrolado en áreas urbanas, deficiencias en la infraestructura y, sobre todo, la ubicación de los componentes del sistema en áreas que son vulnerables a los peligros naturales.

1.5. Delimitación del Estudio

1.5.1. Delimitación temporal.

La investigación realizada corresponde al periodo 2018.

1.5.2. Delimitación espacial.

La investigación fue realizada en la ciudad de Huacho, lugar donde se encuentran las redes de distribución de agua potable.

- Distrito: Huacho
- Provincia: Huaura.
- Departamento: Lima.
- País: Perú.

1.5.3. Delimitación social.

La investigación se llevó a cabo en el sector VI del distrito de Huacho.

1.6. Viabilidad del Estudio.

La elaboración de esta investigación es viable, ya que posee las literaturas teóricas, los medios técnicos y los recursos económicos indispensables. Así mismo, el análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable para prevenir el desabastecimiento del sector

VI del distrito de Huacho – 2018, se aplica no solo a la estructura física del sistema, sino también a la organización y gestión de la autoridad o empresa del agua.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes de la Investigación

2.1.1. Investigaciones internacionales.

Kanta (2006), en su tesis “Evaluación de vulnerabilidad de sistemas de suministro de agua para flujos de fuego insuficientes”, señala que según los resultados del modelo de optimización ilustran que, aunque los componentes / tuberías críticas de un sistema de suministro de agua varían según la ubicación del incendio, algunos de los mismos conductos de agua aparecieron como los componentes más vulnerables al fuego en los seis lugares considerados. Las simulaciones de las estrategias de mitigación muestran que el daño puede reducirse significativamente adaptando las medidas de mitigación, y la solidez y la solidez del sistema. La resiliencia también se puede mejorar. Debido a que el costo está asociado con el fortalecimiento y la adición de seguridad del sistema, también se realizó un análisis de costo de beneficios para las tres estrategias de mitigación, suponiendo que una falla máxima permitida sea igual a 3. La mayoría de las herramientas de evaluación de vulnerabilidad desarrolladas hasta ahora para los sistemas de agua han enfatizado las amenazas químicas / biológicas. . La ocurrencia de fuego durante un ataque terrorista es obviamente una amenaza física para el sistema de agua que a su vez puede causar daño a la sociedad debido a la interdependencia de la infraestructura del agua con otras infraestructuras críticas. Por lo tanto, este modelo de optimización podría utilizarse como una herramienta de evaluación de vulnerabilidad potencial para el sistema de suministro de agua urbano en el futuro.

Solano (2012), en su tesis “Análisis de vulnerabilidad sísmica del sistema de agua y alcantarillado con aplicación de sistema de información geográfica del centro poblado Medio Mundo”, se concluye que, las redes de agua son sistemas de ramales de tuberías y que la falla de uno de esto, puede afectar significativamente toda la red de agua, siendo de mayor impacto

si ocurre en los reservorios. 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. Pero considerando que son tuberías alimentadoras entre sí, se verán afectadas las demás provocando un el corte del servicio; perjudicando a la comunidad de la zona de influencia del evento o desastre natural. Cabe mencionar que le autor hace un análisis de carácter sísmico, basado en sistema de información geográfica.

Stone (2017), en su tesis “Exposición y vulnerabilidad para evaluaciones de riesgo sísmico”, hace un estudio sobre la ciudad de Guatemala, refiriendo un análisis que involucra la recopilación de entradas requeridas para métodos SVA basados en índices simplificados, que han utilizado el juicio analítico, empírico o experto. Las metodologías, existentes y las ampliamente utilizadas (por ejemplo, RVS) como las nuevas técnicas que utilizan nuevas tecnologías (por ejemplo, UAV y cámaras OD). Recopila una línea de tiempo de eventos históricos significativos que afectan la vulnerabilidad de los edificios. Se presentan proporciones de las características de construcción observadas por diferentes métodos, con los claros hallazgos de que gran parte de la ciudad está construida con diferentes tipos de construcción de mampostería, históricamente con bloques de ladrillo y adobe no reforzados, y más recientemente con mampostería de bloques de hormigón confinado. La efectividad se evalúa al calificar la precisión, la utilidad y el costo de los datos recopilados utilizando cada método. En general, el método de levantamiento OD se considera el método más efectivo, seguido de cerca por la combinación de los métodos OD y UAV (el levantamiento virtual 3D y el levantamiento aéreo virtual). La encuesta interna detallada es más efectiva cuando la precisión es una prioridad. Relativamente, los métodos RVS no funcionan bien en comparación con los métodos que utilizan tecnología emergente, debido a las ineficiencias de costos de largos períodos de tiempo en el campo. Los conjuntos de datos recopilados por diferentes métodos se utilizan luego para evaluar la vulnerabilidad sísmica, comenzando con la

clasificación de los datos utilizando la taxonomía PAGER. Para recopilar funciones de vulnerabilidad sísmica para las tipologías PAGER identificadas, se utiliza una metodología publicada para seleccionar funciones existentes de la literatura para seleccionar funciones de fragilidad. Se encuentra que el rango máximo en índices de pérdidas es del 43%. Este rango de pérdidas es significativo y podría tener enormes implicaciones en la reducción del riesgo de desastres, la gestión o las iniciativas de financiación, según el contexto.

2.1.2. Investigaciones nacionales.

Encarnación (2017), en su investigación sobre vulnerabilidad sísmica de los sistemas de impulsión de agua potable en el distrito de Puente Piedra en el 2017 señala que el estado en que se encuentran las redes de impulsión de agua potable dependen de su ubicación, y en el caso que ocurriera un evento sísmico dejarían de funcionar por prevención las líneas de conducción domiciliaria, ya que el material de las tuberías es de PVC (policloruro de vinilo), pero la red de tuberías de la línea de impulsión si dejaría de trabajar por ser 61.60% de Asbesto Cemento, lo que colapsaría a una mayor presión. Debido a la gran cantidad de existencias, la mayoría de las líneas de vida son muy vulnerables a fuertes movimientos del terreno y grandes deformaciones del terreno. En eventos importantes, los trabajos de reparación de una serie de roturas de tuberías y fallas en las juntas requieren mucho tiempo. Desde el punto de vista de la gestión del riesgo sísmico, es de gran importancia evaluar la vulnerabilidad sísmica de las instalaciones de red existente. El plan de mitigación sería una de las medidas a tomar antes de que ocurra un siniestro, teniendo el estudio de los posibles daños que podría ocurrir y más aun teniendo un mapa de riesgo sísmico, donde estaría señalada específicamente las zonas de alto riesgo de colapso de tuberías.

López y Aguilar (2014) en el estudio sobre la amenaza, vulnerabilidad y riesgo sanitario – ambiental en los servicios de agua potable y de la disposición sanitaria de excretas y aguas residuales, en el centro poblado de Molino, Chocope, señalan que, los fenómenos naturales son

otro factor que implica la salud de la población, en ocasiones estos servicios son vulnerables, dependiendo del impacto de los eventos naturales, el daño de estos fenómenos a las redes de saneamiento influyen significativamente en la salud y la económica de la zona afectada. Las infraestructuras y equipos de salud quedan sin servicio de agua, conllevando a una crisis de salud pública, siguiendo por disposición sanitaria de excretas y aguas residuales, permisibles en la zona de influencia, perjudicando la prestación de los servicios de forma eficiente, incrementando la vulnerabilidad del sistema y la salud de la población.

Santillán (2011), en la tesis sobre conductos enterrados: comportamiento sísmico y recomendaciones de diseño, hace un estudio sobre los daños que se pueden presentar en los sistemas de conductos de líneas vitales durante un evento sísmico, presenta dos casos: el primero donde la probabilidad de daño se da cascada, comenzando por los incendios ante la ruptura de tuberías de gas, que originaría daños en sistemas eléctricos y telecomunicaciones, y que no pueden ser controlados por la falta de agua, ante la ruptura de las redes de abastecimiento; en el segundo caso, la elaboración de un plan de respuesta gubernamental dependerá en gran parte de la operacionalidad o no de los sistemas de líneas vitales. La existencia de la interacción entre el suelo – tubería, dependerá de la ubicación y presión originada por el sismo, se recomienda un modelo de resortes de suelo en la dirección axial, lateral y vertical, ya que toma en consideración los diferentes parámetros de interacción como son propiedades del suelo, características de la tubería y profundidad de entierro.

2.1.3. Otras publicaciones científicas.

UNI y CENEPRED (2012), en su Informe N°3: Estudio de microzonificación sísmica, estudio de vulnerabilidad estructural y diagnóstico del sistema de agua del distrito de Breña: Evaluación del riesgo sísmico del distrito de Breña, hacen un diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad de parte del sistema de agua ante la presencia de sismos, en base a la información de SEDAPAL, a fin de ubicar las zonas de mayor vulnerabilidad de los tramos de las redes. Se utilizaron las

curvas de Yamazaki e Isoyama para establecer el número de roturas en las tuberías de agua, según el diámetro y tipo de material. Se estableció que ocurrido un evento severo: 12 locaciones con tuberías de asbesto cemento sufrirían roturas, mientras que existirían 12 locaciones en tuberías de PVC con roturas y 8 locaciones con roturas en tubos de fierro fundido. Debe notarse que las condiciones del suelo con altas velocidades producen movimientos sumamente severos en el escenario de sismo severo propuesto. En cuanto a zonas de mayor concentración de daño por roturas de los sistemas de agua y alcantarillado del distrito de Breña, podemos afirmar que los sectores ubicados en las partes oeste del distrito experimentarían una concentración de daño con roturas promedio de 0.57 por kilómetro.

Rasulo (2017), en su artículo sobre el análisis de confiabilidad del sistema de agua urbana bajo acción sísmica, presenta un procedimiento para el análisis de confiabilidad post-sísmica de las redes de distribución de agua. El método desarrollado es capaz de integrar las características derivadas de fallas estructurales o funcionales debido a un terremoto. Las tuberías debido a la sacudida del suelo son la principal fuente de vulnerabilidad e ineficiencia para todo el sistema de distribución de agua. El método permite identificar los nodos donde la capacidad de la red disminuye hasta el punto en que el sistema no puede entregar los caudales necesarios (es decir, la capacidad es inferior a la demanda). La dificultad de la tarea se ha superado recurriendo a la técnica de análisis de fiabilidad de Montecarlo. El poder del enfoque reside tanto en la capacidad de considerar las principales fuentes de incertidumbre bajo las cuales se realiza el análisis como en tratar las redes como capacitivas. Esto ha requerido modelar la acción sísmica (teniendo en cuenta las posibles fuentes sismogénicas, la probabilidad de ocurrencia de terremotos y el proceso de atenuación de la fuente al sitio), para modelar los efectos de la sacudida del suelo en los componentes de la red (entendiendo las posibles interacciones entre mecánica y estructural reducción de daños y funcionalidad) y finalmente para modelar el flujo del agua circulante a través del sistema. El peligro sísmico y las

fragilidades componentes se han combinado a través del funcionamiento de la red: el temblor del suelo, de acuerdo con el peligro en el sitio, produce, en las tuberías que forman la red de distribución de agua, algunos daños, de acuerdo con las fragilidades componentes, de modo que todo se puede evaluar la respuesta del sistema bajo acción sísmica. La confiabilidad del sistema ha sido analizada considerando el desempeño en la entrega del agua en puntos de consumo individuales a lo largo de la red.

Klise et al. (2017), en su investigación respecto a un marco de software para evaluar la resiliencia de los sistemas de agua potable a los desastres con un ejemplo de estudio de caso de terremoto, presentan WNTR, un nuevo paquete Python de código abierto diseñado para ayudar a las empresas de servicios de agua a investigar la resiliencia de los sistemas de distribución de agua a una amplia gama de escenarios peligrosos y evaluar las acciones que mejoran la resiliencia. A diferencia de las herramientas de modelado actuales, WNTR integra simulación hidráulica y de calidad del agua, una amplia gama de opciones de daño y respuesta, y métricas de resistencia en un solo marco, lo que permite una evaluación perfecta de la resistencia de la red de agua. El software incluye métodos para predecir daños en la infraestructura utilizando funciones de fragilidad o supervivencia, y se pueden agregar otros enfoques utilizando el entorno flexible de Python. WNTR permite al usuario cambiar las características del modelo de red para reflejar daños e inicia fugas en tuberías o tanques según sea necesario. Al simular la hidráulica utilizando PDD, se predicen con mayor precisión los efectos de roturas de tuberías o tanques dañados en las presiones del sistema y los volúmenes de agua entregados. WNTR contiene una amplia variedad de métricas que pueden servir como indicadores de resistencia. Estas son métricas de nivel de sistema que reflejan la capacidad de todo el sistema de agua para resistir y recuperarse de los desastres; se pueden usar para comparar la capacidad de recuperación de un sistema de agua en diferentes tipos de desastres y para medir las mejoras en

la capacidad de recuperación basadas en acciones de mitigación implementadas recientemente o estrategias de respuesta planificadas.

Didier, Esposito, Broccardo, & Stojadinovic (2018), en su publicación sobre la resiliencia sísmica de una red de distribución de agua, señalan que las instalaciones puntuales (por ejemplo, plantas de tratamiento de agua, depósitos de agua, estaciones de bombeo) y especialmente las tuberías de las redes de distribución y suministro de agua son frágiles a los daños durante los eventos sísmicos. La capacidad de recuperación ante desastres de los sistemas de distribución y suministro de agua se puede evaluar en el marco ReCoDeS. El marco considera diferentes componentes, incluida la capacidad de suministro de servicios del sistema de infraestructura civil y la demanda de servicios de una comunidad. Se observa una falta de resistencia a nivel de nodo, si no se puede suministrar toda la demanda del servicio. Los modelos propuestos se pueden usar para modelar el impacto en el sistema de agua durante un escenario de terremoto. Sin embargo, se muestra que el escenario considerado tendrá un impacto importante en la capacidad de recuperación de los sistemas de agua en el valle de Katmandú. La metodología propuesta puede ser utilizada por las partes interesadas y los operadores del sistema para evaluar la resistencia de sus sistemas considerando diferentes escenarios de desastre.

Tabesh & Moshtaghi (2019), en su artículo sobre el análisis de riesgos y gestión de redes de distribución de agua debido a un probable terremoto, se basa en el modelo de ondas sísmicas del terremoto de Northridge de 1994. El tiempo de reparaciones se calcula con respecto al análisis hidráulico basado en el método de simulación impulsado por el cabezal. Además, se introduce un índice del efecto de las reparaciones en las presiones nodales durante el proceso. La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA), aplica este modelo a una parte de la red de distribución de agua de Teherán para evaluar las capacidades del modelo propuesto. Dado que no existe una relación de daños especiales para Irán, algunas relaciones de daños

disponibles se aplicaron a una parte de la red de distribución de agua de Teherán y los resultados mostraron que la relación de HAZUS (Departamento de Seguridad Nacional de Washington DC y Respuesta a Emergencias, FEMA, División de Mitigación, Nueva York, 2003) predijo más daños. Se definieron dos escenarios de mitigación de riesgos para evaluar la respuesta del sistema de suministro de agua a los impactos del terremoto, incluida la disminución de la demanda y el uso de pozos. Los resultados mostraron que la disminución de la demanda en un 20% conduce a una disminución en el riesgo, por lo que la disminución máxima se calculó en el caso de usar la relación de daño O'Rourke y Jeon (el riesgo disminuyó de 1.01×10^{-5} a 8.26×10^{-6}). Pero usar pozos después de los terremotos puede ser más efectivo para disminuir el riesgo después del terremoto. Los resultados del estudio de caso expresan que este modelo se puede aplicar a todas las ciudades que tienen tanto el catálogo de terremotos como el modelo de la red de distribución de agua para mostrar el número de fallas y fugas en las tuberías, el riesgo de cada relación de tasa de reparación e índice de presión para escenarios de terremotos.

2.2. Bases Teóricas.

2.2.1. Análisis de vulnerabilidad.

Los peligros naturales y las condiciones locales deben tener en cuenta al planificar proyectos de infraestructura; ya que estos se presentan generalmente porque no se consideran durante la concepción, diseño, construcción y operación del sistema (Jordán G., 2016). El análisis de vulnerabilidad cumple cinco objetivos básicos:

- a) Identificación y cuantificación de peligros que puedan afectar el sistema.
- b) Estimación de susceptibilidad al daño de componentes esenciales para proporcionar agua en caso de desastre.
- c) Definición de medidas que se incluirán en el plan de mitigación, tales como: proyectos de modernización, mejora de cuencas hidrográficas y evaluación de fundaciones y estructuras.
- d) Identificación de medidas y procedimientos para desarrollar un plan de emergencia.

- e) Evaluación de la efectividad de los planes de mitigación y emergencia, e implementación de actividades de capacitación.

2.2.1.1. Vulnerabilidad.

La vulnerabilidad se define generalmente como una medida de la susceptibilidad de un elemento o combinación de elementos a fallar una vez que están expuestos a fenómenos naturales potencialmente dañinos. Esta definición es lo suficientemente amplia como para aplicarse a los aspectos físicos, operativos y administrativos de un sistema (Kanta, 2006). Esto generalmente se expresa como:

$P(H_i)$, o la probabilidad (P) de que ocurra ese evento (H_i).

La caracterización del fenómeno y la naturaleza del problema deben ser determinadas por el analista. Por ejemplo, los factores pueden ser la aceleración del suelo, la velocidad del viento, el volumen del río, la profundidad de las cenizas volcánicas, etc. El análisis de las estadísticas sobre los peligros y sus consecuencias conduce a una clara distinción entre dos grupos de problemas: (a) el peligro y la intensidad de los eventos esperados; y (b) la capacidad de las obras hechas por el hombre para resistir tales eventos, con un nivel tolerable de daño. (Rasulo, 2017)

2.2.1.2. Cuantificación de vulnerabilidad.

La vulnerabilidad de un mecanismo o sistema específico se expresa como la probabilidad condicional de que ocurra un cierto nivel de daño (E_j), dado que se produce un peligro (H_i), (PAHO, 1998). Esto se denota como:

$$P(E_j / H_i)$$

Los siguientes cuatro niveles de daño se usan con frecuencia para describir E_j cuando se refieren al daño y al rendimiento del equipo:

E_1 = sin daños

E_2 = daño leve; el equipo está operativo

E3 = daño reparable; el equipo está fuera de servicio

E4 = daño severo o pérdida total; el equipo está fuera de servicio

Una vez que ha ocurrido un fenómeno natural (por ejemplo, terremoto, huracán, inundación, etc.), el mecanismo o sistema debe describirse en términos de una, y solo una, de las cuatro condiciones enumeradas anteriormente.

2.2.2. Evaluación del riesgo sísmico.

El riesgo sísmico se puede medir utilizando cualquier categoría de pérdida potencial, como económica, social, ecológica o ambiental. La evaluación de las pérdidas económicas de un conjunto de edificios requiere información sobre (1) las propiedades del temblor del suelo (peligro), (2) el inventario de edificios expuestos al temblor del suelo (exposición) y (3) la vulnerabilidad de las infraestructuras expuestas para el temblor de tierra esperado.

2.2.2.1. Características.

La información de varios niveles de complejidad está disponible para riesgos sísmicos, dependiendo del tipo de estudio necesario.

Los datos más comunes incluyen:

- a. Evaluación del peligro sísmico:** se basa en la sismicidad de la región, la sismógena, fuentes, la correlación de la atenuación y su varianza, y el uso de algoritmos ad hoc de cálculo.
- b. Mapas de zonificación de riesgo sísmico:** muchos países han desarrollado mapas de zonificación sísmica de acuerdo con los requisitos específicos de la aplicación, como el diseño del edificio, verificación de equipos de alto voltaje, diseño de puentes, pólizas de seguro o reaseguro, y otros. Estos incorporan efectos conocidos de eventos históricos. Es aconsejable complementar esta información con mapas que resalten fallas activas o potencialmente activas y la calidad y tipos de suelos; estos también se conocen como "mapas neotécnicos".

- c. Temblor del suelo:** las características predominantes del suelo, el tiempo medio de retorno de un evento sísmico, y otros factores importantes se utilizarán para los estándares de diseño y construcción. Si esta información no está disponible, que puede ser el caso en países sin estándares de construcción para un diseño sismorresistente, se deben tener probabilidades de exceso suficientemente pequeñas elegido para la selección de los desplazamientos máximos de tierra, o la intensidad del terremoto.
- d. Áreas potencialmente inestables:** no es probable que esta información esté disponible en zonificación o mapas de microzonificación. Sin embargo, es importante contar con información confiable sobre áreas del sistema que se encuentra en (i) áreas donde puede ocurrir licuefacción, como depósitos saturados, generalmente encontrado cerca de ríos, viejos deltas de ríos y lagos o playas costeras; (ii) rellenos sanitarios o movimientos de tierra susceptibles de expansión lateral; o (iii) pendientes naturales o artificiales, que son potencialmente inestables bajo actividad sísmica.
- e. Longitud de ruptura y desplazamiento permanente de fallas activas:** la escala de Richter describe la energía total de las ondas sísmicas que se irradian hacia afuera del terremoto, según lo registrado por la amplitud de las huellas del movimiento del suelo en los sismógrafos. Esta escala de magnitud es directamente relacionada con la longitud de ruptura o el área de superficie de la falla, los desplazamientos máximos y la pérdida de capacidad de carga. Los desplazamientos permanentes asociados con terremotos, son particularmente problemático cuando interceptan túneles, tuberías enterradas o cimientos de edificios.

2.2.2.2. Medición de los sismos.

En cuanto a la medición de sismos, una de las escalas más utilizadas para describir los efectos de los terremotos es la Escala de Intensidad de Mercalli Modificada (MMI), que mide los efectos que las personas sienten y observan en las estructuras, y la superficie de la tierra. La magnitud de un sismo (M) generalmente se expresa utilizando la escala de Richter, que es una medida de la amplitud de la onda sísmica, la magnitud del momento o la medición de la cantidad de energía liberada. Se estima a partir de grabaciones sismográficas. Otros tipos de escalas incorporan información sobre la estabilidad de las pendientes, la calidad de los edificios e instalaciones y la altura de las mareas.

2.2.2.3. Efectos de los sismos en obras subterráneas o enterradas.

Las obras subterráneas incluyen: tuberías y conductos de agua potable, alcantarillado y aguas pluviales; cámaras, válvulas e instalaciones domésticas; tomas de agua subterráneas como pozos, desagües y galerías.

Estas obras difieren significativamente de las estructuras de superficie ya que, en su mayor parte, el daño no será visible, lo que hace que la evaluación del daño real sea mucho más lenta y más laboriosa. Por ejemplo, dentro de los 15 días posteriores al terremoto de la Ciudad de México, se repararon los principales daños a la red de agua potable, pero se necesitaron meses para completar reparaciones menores, y fue mucho más complejo y costoso para reparar las redes de alcantarillado y drenaje pluvial.

El terremoto ejerce una fuerza de inercia en las estructuras sobre el suelo, pero las estructuras enterradas como las tuberías y las conexiones rígidas pueden dañarse a medida que la tierra sufre deformación. Se puede esperar menos daño en tuberías relativamente más flexibles (PVC o acero, por ejemplo) en comparación con tuberías rígidas como mortero comprimido, concreto, hierro fundido y fibrocemento, especialmente si tienen juntas rígidas.

- (i) Influencia del tipo de suelo en el daño. En terraplenes construidos con relleno, o en suelos blandos, los terremotos pueden romper tuberías enterradas. Las fallas también ocurren en tuberías ubicadas en áreas donde hay un cambio en el tipo de suelo, como en los cambios en la densidad del relleno natural. La licuefacción del suelo es uno de los efectos más dañinos de los sismos, ya que reduce el soporte de la base. La mayor parte del daño a las tuberías en terreno aluvial o arena saturada de agua ocurre debido a la licuefacción. Por ejemplo, en Japón, en un área de arenas saturadas, vibraciones de terremotos prácticamente convirtió el suelo en un líquido en el cual las tuberías y cámaras "flotaron", causando daños importantes a las instalaciones. Las tuberías de gran diámetro colocadas en un nivel poco profundo sufren más daños que las de menor diámetro, ya que tienen menos resistencia a las "ondas Rayleigh" que se dispersan sobre la superficie de la tierra de manera similar, aunque menos obvia, que las ondas de agua. Otra área de daño potencial está en la proximidad de las tuberías a los edificios que colapsan. La ruptura de las tuberías que entran o salen de los edificios puede eliminar las tuberías de la red pública a las que están conectadas.
- (ii) Mapas de riesgo sísmico que muestran la calidad del suelo. Dada la dificultad de localizar daños en tuberías existentes, una revisión de los mapas de riesgo sísmico de las áreas afectadas mostrará las áreas más vulnerables, por ejemplo:
- Áreas con capas profundas de suelos blandos, arenas y grava sedimentaria, pantanos y áreas rellenas (es decir, subsuelos que no absorben las vibraciones sísmicas como las rocas duras);
 - Áreas con capas de arena suelta que está saturada de agua y otros estratos de suelo no cohesivos en los que el suelo puede ablandarse;
 - Fallas en los estratos rocosos (las tuberías que cruzan estas fallas pueden sufrir daños).

(iii) Localización de daños en tuberías: El daño comúnmente produce filtración de agua en áreas cercanas a las roturas en las tuberías o conexiones. Para determinar la magnitud y el alcance del daño y realizar reparaciones urgentes, es necesario excavar las líneas para encontrar la tubería rota. Sin embargo, donde hay suelos altamente permeables o baja presión de agua, es posible que las roturas se detecten solo después de que se restablezca el servicio. Algunas indicaciones de este tipo de daño son las siguientes:

- Nuevas fugas evidenciadas por una mayor presión en la red después de que se reparan las interrupciones descubiertas inicialmente.
- Áreas de una ciudad o pueblo que continúan sin servicio de agua o tienen una presión menor después de que se hayan realizado las reparaciones. Esto podría deberse a daños en las tuberías que alimentan estas zonas, que deben identificarse y repararse.
- La detección de fugas puede llevar mucho tiempo, especialmente si el equipo y la experiencia necesarios no están disponibles localmente. Puede ser difícil determinar qué fugas fueron causadas por el terremoto y cuáles existieron antes del evento.
- Los medidores de flujo instalados en puntos apropiados en la red eléctrica de la red pueden detectar la existencia de fugas.

(iv) Riesgo de contaminación del sistema de agua potable. Si las tuberías del agua potable y los sistemas de aguas residuales se rompen simultáneamente, las aguas residuales penetrarán en el sistema de agua potable (especialmente si hay un volumen considerable de aguas residuales esparcidas por el suelo). Esto ocurre porque las tuberías para beber y aguas residuales suelen construirse paralelas entre sí, a lo largo de las mismas calles. En ciertos casos, hay agua subterránea que cubre el agua potable y las redes de alcantarillado. El agua subterránea contaminada por roturas en el sistema de alcantarillado puede infiltrarse en el sistema de agua potable a través de juntas rotas. Es

probable que esto ocurra si hay presión negativa como resultado de las interrupciones en el sistema o debido al agua potable racionada.

2.2.3. Redes de distribución de agua potable.

Es el conjunto de tuberías instaladas en serie y en paralelo con el objeto de distribuir el agua de una población.

Cuando un nivel de riesgo no es aceptable, se deben adoptar medidas de ingeniería para reducir ese riesgo. Estos criterios deben adaptarse para aplicarse a los sistemas de abastecimiento de agua potable y alcantarillado.

2.2.3.1. Tipos de redes.

a. Tipo espina de pescado o distribución ramificada.

En tipo de poblaciones que se desarrollan a lo largo de una vía principal, pues por él se tiende la red principal que va disminuyendo en diámetro a medida que va repartiéndose en ramales.

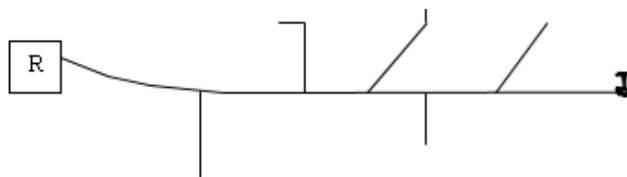


Figura N° 1: Ramales a lo largo de una vía principal.

Características:

- Es adecuado para poblaciones pequeñas.
- El sentido de flujo es único.
- Los diámetros del tubo principal son únicos o decrecientes.
- Cualquier interrupción afecta la distribución aguas abajo.
- Se recomienda instalar en los puntos más bajos válvulas de purga para evitar acumulación de sedimentos y limpieza del sistema.

b. Tipo parrilla.

Es conveniente para poblaciones pequeñas no muy extendidas con calles principales en ejes paralelos.

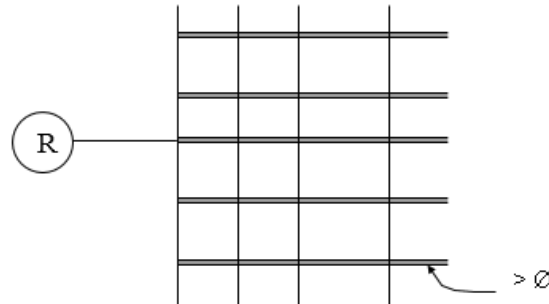


Figura N° 2: Ubicación de poblaciones pequeñas en ejes paralelos.

Características:

- El diámetro es único o decreciente.
- Sentido de flujo por partes.
- Se interrumpe el flujo por partes.

2.2.4. Método de estimación del daño en tuberías.

La llamada "evaluación preliminar", corresponde a un análisis de Nivel 1 y se basa en el sitio inspecciones y cálculos simples. Un análisis de Nivel 2 requiere un examen más riguroso. En cualquier caso, los resultados deben cuantificarse para facilitar la toma de decisiones por parte de las autoridades responsables.

Ya sea que realice un análisis de Nivel 1 o Nivel 2, ciertos resultados pueden basarse en datos recopilados previamente. Por ejemplo, el cálculo del número de roturas en las tuberías por unidad de longitud puede ser basado en datos existentes.

A continuación, se presenta una metodología para estimar el número esperado de rupturas en las tuberías afectadas por actividad sísmica. Se basa en un estudio realizado sobre el terremoto en Limón, Costa Rica, 1991.

2.2.4.1. Evaluación de la amenaza sísmica.

Para la evaluación de amenaza sísmica se deberá determinar 03 (tres) factores:

a. Factor de peligro por tipo de perfil de suelo (FSPT): este factor de peligro se determinará

escogiendo entre tres tipos de suelo; rocoso, firme o blando, según la siguiente tabla:

Tabla 1:

Factor de peligro por tipo de perfil de suelo.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	F TPS
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” ((OPS), 1998).

b. Factor de peligro para la licuefacción potencial del suelo (FPSL): para determinar este

factor se escogerá entre 03 (tres) clases de amenazas; baja, moderada o alta, según la siguiente tabla:

Tabla 2:

Factor de peligro por licuefacción potencial del suelo.

DENOMINACIÓN	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 moderados.	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” ((OPS), 1998).

- c. Factor de desplazamiento permanente del suelo (FPDS):** para determinar este factor se escogerá entre 03 (tres) clases de amenazas; baja, moderada o alta, según la siguiente tabla:

Tabla 3:

Factor de peligro por deformación permanente del suelo.

DENOMINACIÓN	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 al 25%, rellenos compactados, áreas cercanas a cruces 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” ((OPS), 1998).

De acuerdo con este proceso, el factor de riesgo sísmico del área se caracteriza por el producto:

$$FSPT \times FPSL \times FPDS$$

Los valores de menos de 2 se consideran de bajo riesgo sísmico; entre 2 y 4 riesgo sísmico moderado; igual o mayor a 4, alto riesgo sísmico.

Tabla 4:

Factor de amenaza sísmica (FAS).

VALOR	TIPO DE AMENAZA SÍSMICA
$(FAS) < 2$	Baja amenaza sísmica
$2 < (FAS) < 4$	Amenaza sísmica moderada
$(FAS) \geq 4$	Amenaza sísmica alta

Fuente: “Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario – Guías para el Análisis de Vulnerabilidad” ((OPS), 1998).

2.2.4.2. *Estimación de la vulnerabilidad.*

La vulnerabilidad de los diferentes sistemas de tuberías a la actividad sísmica se expresa por el número de fallas esperadas por kilómetro. Tomando en consideración las estadísticas disponibles, resulta ventajoso emplear como referencia el número de fallas por sismo en tuberías de hierro fundido (HF), para diferentes grados de la Intensidad de Mercalli. En la tabla siguiente se dan los valores correspondientes a daños por: (i) propagación de ondas sísmicas únicamente y (ii) 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 anterior según se indica en la siguiente tabla ((OPS), 1998):

Tabla 5:

Índices básicos de daño (IBD) por sismos, en tubería de hierro fundido (HF).

INTENSIDAD DE MERCALLI	ÍNDICE BÁSICO DE DAÑO (IBD) (Fallas/Km)	
	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	30.00

Fuente: “Mitigación de Desastres Naturales en Sistemas de Agua Potable y Alcantarillado Sanitario – Guías para el Análisis de Vulnerabilidad” ((OPS), 1998).

En caso de que la tubería no sea de hierro fundido (HF), se recomienda emplear los factores de corrección que se dan en la tabla siguiente:

Tabla 6:

Factor 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” ((OPS), 1998).

Estos factores pueden verse afectados por el estado general de la tubería y/o años de uso, y deben ser juzgado por el profesional responsable de realizar la evaluación. Para tuberías viejas o en mal estado los valores del índice básico de daño pueden aumentar hasta en un 50%; si su estado se considera regular el porcentaje no debe exceder el 25%; y para tuberías en buen estado no es necesario modificar los valores ((OPS), 1998).

Tabla 7:

Factores por estado de tuberías (FET).

MATERIAL	FET
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” ((OPS), 1998).

Los datos disponibles indican que las tuberías con diámetros más pequeños tienden a ser más vulnerables. Se puede aplicar un aumento en el factor de corrección de hasta el 50% para tuberías de 75 mm o menos de diámetro; El factor de corrección para tuberías entre 75 mm

y 200 mm puede aumentar hasta un 25%. Para tuberías con diámetros superiores a 200 mm, no se deben aumentar los valores dados ((OPS), 1998).

Tabla 8:

Factor de aumento por diámetro de tubería (FADT).

MATERIAL	FADT
$D \leq 75 \text{ mm}$	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” ((OPS), 1998).

2.2.4.3. Cálculo del número esperado de fallas por kilómetro.

Se deberá determinar los siguientes datos:

- FAS: Factor de amenaza sísmica.
- IBD: Índice básico de daño.
- FCM: Factor 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.

Teniendo establecida la zona de estudio, se debe dividir la red en tramos de acuerdo a las características de las tuberías y las consideraciones del suelo. En caso las características en el área de estudio sean similares, se dividirá en tramos de acuerdo a su continuidad y se determina la longitud de cada uno de los tramos.

Posterior a ello, se realizará la evaluación de la amenaza sísmica por cada tramo, obteniendo el valor del FAS.

Luego se realizará la estimación de la vulnerabilidad de la red, determinando el IBD para tuberías de hierro fundido en base al FAS. Y si 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 y el diámetro de la tubería por medio del FADT (Solano V., 2012).

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

Finalmente se determinará el número de fallas en la red para cada tramo, según la siguiente fórmula (Solano V., 2012):

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

2.3. Definición de Términos Básicos

- a. **Agua Potable:** también llamada agua apta para consumo humano, es aquella que llega al consumidor a través de redes o tuberías, de forma segura y apta para beber, cocinar y realizar la higiene personal. (SUNASS, 2004)
- b. **Análisis de vulnerabilidad:** Es la herramienta básica para reducir, prevenir o mitigar los desastres o eventos naturales. Permite identificar los peligros específicos de una zona en particular, el análisis de vulnerabilidad ayuda a determinar: (a) las deficiencias físicas de los componentes del sistema; (b) debilidades en la organización y el apoyo brindado por la empresa de servicios de agua; y (c) limitaciones en términos de cantidad, continuidad y calidad de servicio. (Stone, 2017)
- c. **Escenario (sísmico).** Se refiere a un solo evento sísmico. Se puede presentar en términos de la ubicación del evento, la magnitud, el estilo de falla, etc., o en términos de la distribución correspondiente de la intensidad local (por ejemplo, un "mapa de sacudidas") o, finalmente, en términos del evento (por ejemplo, un mapa de daños). (Encarnación V., 2017)

- d. Estado límite (o estado de daño o nivel de rendimiento):** El estado cuando una cantidad de demanda alcanza un umbral / capacidad correspondiente. No se limita a estados extremos (como el colapso de una estructura o elemento estructural), sino que se puede formular para cualquier estado intermedio de rendimiento / daño, p. continua funcionalidad / operatividad, daño estructural y no estructural leve, medio o severo. Se puede expresar en términos de diferentes medidas de rendimiento, tales como cantidades físicas, estructurales (deriva, cizallamiento), o socioeconómicos (número de víctimas, valor económico de la pérdida, tiempo de inactividad, número de usuarios no alimentados en una red, etc.). (Lopez D. & Aguilar M., 2014)
- e. Fragilidad:** Una función que representa la probabilidad condicional de un componente o sistema (fragilidad del componente, fragilidad del sistema) que excede un estado límite predefinido en función de un parámetro. Este último es más comúnmente una medida escalar (o vectorial) de intensidad sísmica, pero también puede ser un parámetro de respuesta estructural (como la aceleración del piso o la deriva entre niveles), p. Ej. para la fragilidad de componentes no estructurales. (Didier, Esposito, Broccardo, & Stojadinovic, 2018)
- f. Mapa de peligro:** Un mapa de valores de intensidad de peligro uniforme (a menudo, pero no exclusivamente, la aceleración máxima del terreno o una ordenada espectral) sobre una región. Utilizado con fines de diseño, no puede emplearse en estudios sistémicos ya que la intensidad de los valores no son simultáneos. (Cano Z., 2006).
- g. Peligro (sísmico).** Un modelo probabilístico que describe la ocurrencia (en el espacio / tiempo) de terremotos, y / o la intensidad correspondiente en un sitio. Cuando se trata de un solo sitio, el peligro a menudo está representado por el resultado final de un análisis de riesgo sísmico probabilístico, PSHA, (donde el modelo anterior es la entrada), es decir, una curva (o superficie) de riesgo sísmico. Este último produce la tasa anual de superación de un escalar (o vector) medida de intensidad local por encima (fuera) de cualquier umbral dado. Cuando

se trata de un sistema distribuido donde la intensidad simultánea en varios sitios es de interés (conceptualmente un vector de valores de intensidad aleatorios y estadísticamente dependientes), se utiliza el modelo completo (es decir, caracterización de fuentes sísmicas en términos de geometría y actividad, más leyes de atenuación y un modelo de correlación espacial entre medidas de intensidad en diferentes sitios). (Solano V., 2012)

- h. Pérdida (directa):** Pérdida incurrida como consecuencia directa del daño físico a los componentes de los sistemas. Esta categoría incluye el valor económico de los componentes estructurales y no estructurales dañados (arquitectura, contenido, equipo, etc.), el valor monetario equivalente de vidas perdidas. (Rodríguez V., 2012)
- i. Pérdida (indirecta):** Pérdida incurrida como consecuencia indirecta del daño físico y relacionado con la interrupción funcional en los sistemas. Esta categoría incluye el valor monetario del aumento de los tiempos de viaje para personas y mercancías en el sistema de transporte dañado, el equivalente económico de la interrupción del negocio y la producción industrial, hasta la interrupción completa de todo un sector económico en la región afectada, el valor económico de la disrupción social (Rodríguez V., 2012)
- j. Red:** En Matemáticas, un gráfico dirigido ponderado (dígrafo) formado por vértices (nodos) conectados por aristas (arcos, enlaces). Los pesos pueden representar la capacidad de los enlaces para acomodar flujos entre vértices. Los flujos entrantes y salientes en vértices generalmente suman cero, a menos que el vértice sea una fuente o un sumidero. Una red es un sistema y cualquier sistema puede representarse como una red. (Stone, 2017)
- k. Riesgo:** Una medida probabilística de la consecuencia de un evento peligroso definido probabilísticamente. A menudo es la probabilidad incondicional o la frecuencia media anual (medida probabilística) de un componente o sistema que excede un estado límite predefinido (consecuencia). El riesgo también se utiliza para indicar el valor esperado, y posiblemente la variación (dentro del marco de tiempo de referencia) de: Valor económico del daño físico;

Bajas / fatalidades; Falta del tiempo; Pérdida económica: directa (daño físico / vidas) + indirecta (tiempo de inactividad, etc. (Didier, Esposito, Broccardo, & Stojadinovic, 2018)

1. Vulnerabilidad. se define generalmente como una medida de la susceptibilidad de un elemento o combinación de elementos a fallar una vez que están expuestos a fenómenos naturales potencialmente dañinos. Esta definición es lo suficientemente amplia como para aplicarse a los aspectos físicos, operativos y administrativos de un sistema. (Jordán G., 2016).

2.4. Hipótesis de Investigación

2.4.1. Hipótesis general

Con el análisis de vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable se logra establecer medidas para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho - 2018.

2.4.2. Hipótesis específicas.

- a. Se logra cuantificar la vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable del sector VI del distrito de Huacho – 2018.
- b. Las medidas propuestas para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018 reducen la vulnerabilidad.

2.5. Operacionalización de las Variables

Para la operacionalización de variables e indicadores; desglosare en **variable independiente** “Análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua” y como **variable dependiente** se considera “Prevención del desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018”. En la siguiente tabla se hará la distribución de sus dimensiones e indicadores respectivamente.

Tabla 9:

Operacionalización de variables

Variable Independiente	Dimensiones	Indicadores
Análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable	- Factor de amenaza sísmica	- 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)
	- Índice Básico de daño	- Diámetro de la tubería
		- Estado de la tubería
Variable Dependiente		
Prevención del desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho	- Medidas de prevención	- Estudio de zona
		- Actividades preventivas

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Diseño Metodológico

3.1.1. Tipo de investigación científica.

Es una investigación de carácter documental; ya que el análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018; se da según el tipo de material utilizado en las misma y su ubicación geográfica; datos que fueron extraídos de fuentes. (Carrasco D., 2006).

3.1.2. Nivel de investigación.

Esta investigación, se considera de nivel predictivo, por ser de carácter bivariado y de causalidad. El análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable, responden a las causas de los acontecimientos físicos o sociales; ya que busca como prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho, buscando una relación significativa entre sus variables e indicadores. (Naghi, 2005).

3.1.3. Diseño de investigación.

Es un diseño no experimental, transversal descriptivo, ya que se emplea para analizar y conocer las características, rasgos, propiedades y cualidades de un fenómeno de la realidad en un momento determinado.

3.1.4. Enfoque de investigación.

Es una investigación mixta – cuantitativa y cualitativa; ya que el análisis de vulnerabilidad sísmica, requiere cuantificar el grado de magnitud del fenómeno natural, a través de un modelo o formulación matemática, para determinar la influencia en la zona afectada. Así mismo será cualitativa, porque dependerá de la percepción de incertidumbre que tendrá la población respecto a prevenir el desabastecimiento en caso sismo. (Carrasco D., 2006).

3.2. Población y Muestra

3.2.1. Población.

La población está representada por el total de tuberías de red de distribución de agua potable existentes en el sector VI del distrito de Huacho.

3.2.2. Muestra.

La muestra para el trabajo de investigación será las tuberías de la red de distribución, ubicadas en las principales calles del sector VI del distrito de Huacho, las cuales son: Av. San Martín, Prolong. Santa Rosa, Av. Cruz de Cano, Av. Puquio Cano, B. Leguía, Jr. La Merced, Panamericana Norte, Av. Domingo Mandamiento, Antonio Raymondi, Av. Mateo Pumacahua, Av. San Martín de Porres, Av. Juan José Crespo, Ca. Mariano Melgar, Av. Hipólito Unanue, Ca. José Santos Chocano, Ca. Cesar Vallejo, Ca. Ramon Castilla, Ca. Gonzales Prada, Av. P. Herrera, Av. Hualmay, Jr. San Isidro, Jr. G. de la Vega y Av. Cincuentenario.

3.3. Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos

3.3.1. Técnicas a Emplear.

Observación Sistemática Indirecta, mediante esta técnica se podrá analizar y estudiar los diversos documentos que contiene información sobre el tema de investigación.

3.3.2. Descripción de los Instrumentos.

El formulario y ficha de observación, utilizados en este estudio, contribuyeron en la recopilación de la información requerida para las evaluaciones de vulnerabilidad. Los resultados obtenidos se utilizaron para definir las proporciones de daños de las tuberías de agua potable, y se compararon con los resultados de otros métodos para comprender la utilidad relativa, el costo y la precisión de los datos recopilados.

3.4. Técnicas para el Procesamiento de la Información

Se utilizará técnica estadística mediante 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” ((OPS), 1998); la cual está fundamentada en el estudio de caso del terremoto de limón, Costa Rica, 1991, usando programas de cálculo como Excel, para luego mostrar la información, mediante tablas, registros, figuras, y otros.

CAPÍTULO IV

RESULTADOS

4.1. Análisis de Resultados

4.1.1. Evaluación de la amenaza sísmica.

a. Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FSPT).

El factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FSPT) es de 1.5, el cual corresponde a los suelos firmes.

Tabla 10:

Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FSPT) en el Sector VI del distrito de Huacho.

DENOMINACIÓN	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

b. Factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS).

El factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS) es de 1.5, el cual corresponde a la licuefacción moderada.

Tabla 11:

Factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS) en el Sector VI del distrito de Huacho.

DENOMINACIÓN	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 moderados.	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

c. Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS).

El factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) es de 1, el cual corresponde a la deformación baja.

Tabla 12:

Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) en el Sector VI del distrito de Huacho.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	FDPS
Baja	Suelos bien consolidados, terrenos con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas.	1
Moderada	Suelos consolidados, terrenos con pendientes menores al 25%, rellenos compactados, áreas cercanas a cruces 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

d. Determinación del factor de amenaza sísmica (FAS).

Teniendo un FSPT = 1.5, un FLPS = 1.5 y un FDPS = 1; el factor de amenaza sísmica (FAS) resultante es de 2.25.

Tabla 13:

Determinación del factor de amenaza sísmica (FAS) en el Sector VI del distrito de Huacho.

DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	FACTOR DE AMENAZA
Firme	Estratos de suelos bien consolidados, o blandos con espesor menor a 5 metros.	FTPS = 1.5
Moderada	Suelos con moderada capacidad de drenaje, estratos subyacentes con contenido de arenas moderados.	FLPS = 1.5
Baja	Suelos bien consolidados, terrenos con pendientes bajas, rellenos bien compactados, áreas alejadas de cauces de ríos o fallas geológicas.	FDPS = 1
FACTOR DE AMENAZA SÍSMICA (FAS) = 2.25		

4.1.2. Determinación del número esperado de fallas por kilómetro.

A continuación, se pueden observar los resultados obtenidos en cuanto al número de fallas o roturas por kilómetro de tubería esperados en caso de eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X en la escala de Mercalli. Para la obtención de estos resultados se necesitó conocer ciertas características del tramo de tubería a evaluar, como son, diámetro, estado de la tubería, material de la tubería, longitud del tramo (está en kilómetros) y el factor de amenaza sísmica.

Tabla 14:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 1 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 1				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.85			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	3.00	17.00	125.00

Tabla 15:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 2 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 2				
Diámetro (mm)	200			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.26			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	5.00	31.00

Tabla 16:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 3 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 3				
Diámetro (mm)	110			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.32			
FAS	3.00			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	7.00	48.00

Tabla 17:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 4 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 4				
Diámetro (mm)	110			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.50			
FAS	3.38			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	10.00	73.00

Tabla 18:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 5 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 5				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.17			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	4.00	25.00

Tabla 19:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 6 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 6				
Diámetro (mm)	315			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.74			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	12.00	87.00

Tabla 20:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 7 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 7				
Diámetro (mm)	110			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.16			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	4.00	24.00

Tabla 21:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 8 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 8				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.43			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	5.00	37.00

Tabla 22:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 9 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 9				
Diámetro (mm)	250			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.42			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	7.00	50.00

Tabla 23:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 10 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 10				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.15			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	2.00	13.00

Tabla 24:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 11 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 11				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.33			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	7.00	48.00

Tabla 25:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 12 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 12				
Diámetro (mm)	250			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.48			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	8.00	56.00

Tabla 26:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 13 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 13				
Diámetro (mm)	250			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.31			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.21	1.24	9.00	67.50
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	22.00

Tabla 27:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 14 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 14				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.29			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	6.00	43.00

Tabla 28:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 15 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 15				
Diámetro (mm)	250			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.45			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.21	1.24	9.00	67.50
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	5.00	31.00

Tabla 29:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 16 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 16				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.43			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	5.00	36.00

Tabla 30:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 17 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 17				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.24			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	21.00

Tabla 31:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 18 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 18				
Diámetro (mm)	250			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.25			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.21	1.24	9.00	67.50
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	18.00

Tabla 32:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 19 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 19				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Regular			
Longitud del tramo (km)	0.28			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.25	1.25	1.25	1.25
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.22	1.29	9.38	70.32
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	20.00

Tabla 33:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 20 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 20				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.39			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	5.00	33.00

Tabla 34:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 21 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 21				
Diámetro (mm)	400			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.38			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	6.00	45.00

Tabla 35:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 22 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 22				
Diámetro (mm)	250			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.23			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.21	1.24	9.00	67.50
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	16.00

Tabla 36:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 23 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 23				
Diámetro (mm)	200			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.23			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.21	1.24	9.00	67.50
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	16.00

Tabla 37:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 24 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 24				
Diámetro (mm)	350			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.65			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	11.00	77.00

Tabla 38:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 25 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 25				
Diámetro (mm)	200			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.63			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	10.00	74.00

Tabla 39:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 26 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 26				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	2.60			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.66			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	13.00	98.00

Tabla 40:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 27 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 27				
Diámetro (mm)	400			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.67			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	11.00	79.00

Tabla 41:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 28 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 28				
Diámetro (mm)	200			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.66			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.21	1.24	9.00	67.50
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	6.00	45.00

Tabla 42:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 29 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 29				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.65			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	13.00	96.00

Tabla 43:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 30 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 30				
Diámetro (mm)	400			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	1.24			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.00	1.00	1.00	1.00
IBD corregido	0.36	2.15	15.60	117.00
Número de fallas por kilómetro	1.00	3.00	20.00	146.00

Tabla 44:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 31 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 31				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	1.14			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	13.00	97.00

Tabla 45:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 32 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 32				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Bueno			
Longitud del tramo (km)	0.51			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.00	1.00	1.00	1.00
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.17	1.04	7.50	56.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	4.00	29.00

Tabla 46:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 33 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 33				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Bueno			
Longitud del tramo (km)	0.24			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.00	1.00	1.00	1.00
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.17	1.04	7.50	56.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	2.00	14.00

Tabla 47:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 34 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 34				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.39			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	8.00	58.00

Tabla 48:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 35 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 35				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	Asbesto Cemento			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.39			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	2.60	2.60	2.60	2.60
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.44	2.69	19.50	146.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	8.00	58.00

Tabla 49:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 36 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 36				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.29			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	4.00	25.00

Tabla 50:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 37 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 37				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.24			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	20.00

Tabla 51:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 38 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 38				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.60			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	7.00	51.00

Tabla 52:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 39 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 39				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.63			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	8.00	54.00

Tabla 53:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 40 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 40				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.16			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	2.00	14.00

Tabla 54:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 41 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 41				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.17			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	2.00	15.00

Tabla 55:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 42 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 42				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.27			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	4.00	23.00

Tabla 56:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 43 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 43				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Bueno			
Longitud del tramo (km)	0.31			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.00	1.00	1.00	1.00
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.17	1.04	7.50	56.25
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	18.00

Tabla 57:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 44 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 44				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.83			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	10.00	70.00

Tabla 58:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 45 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 45				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.13			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	2.00	11.00

Tabla 59:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 46 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 46				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.14			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	2.00	12.00

Tabla 60:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 47 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 47				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.31			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	4.00	27.00

Tabla 61:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 48 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 48				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.13			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	2.00	11.00

Tabla 62:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 49 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 49				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.37			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	5.00	31.00

Tabla 63:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 50 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 50				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.11			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	2.00	10.00

Tabla 64:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 51 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 51				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.28			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	4.00	24.00

Tabla 65:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 52 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 52				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.22			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	3.00	19.00

Tabla 66:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 53 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 53				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.39			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	5.00	33.00

Tabla 67:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 54 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 54				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.38			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	5.00	33.00

Tabla 68:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 55 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 55				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.94			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	2.00	11.00	80.00

Tabla 69:

Determinación del número de roturas por kilómetro del tramo 56 en eventos sísmicos de intensidades VII, VIII, IX y X.

TRAMO 56				
Diámetro (mm)	160			
Material de la tubería	PVC			
Estado de la tubería	Malo			
Longitud del tramo (km)	0.08			
FAS	2.25			
Intensidad de Mercalli	VII	VIII	IX	X
IBD	0.09	0.55	4.00	30.00
FCM	1.50	1.50	1.50	1.50
FET	1.50	1.50	1.50	1.50
FADT	1.25	1.25	1.25	1.25
IBD corregido	0.26	1.55	11.25	84.38
Número de fallas por kilómetro	1.00	1.00	1.00	7.00

Tabla 70:

Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad

VII desde el Tramo 1 al Tramo 28.

Nº	TRAMO	FCM	IBD CORREGIDO	Nº DE FALLAS POR KILÓMETRO
1	Tramo 1	2.60	0.44	1.00
2	Tramo 2	2.60	0.36	1.00
3	Tramo 3	2.60	0.44	1.00
4	Tramo 4	2.60	0.44	1.00
5	Tramo 5	2.60	0.44	1.00
6	Tramo 6	2.60	0.36	1.00
7	Tramo 7	2.60	0.44	1.00
8	Tramo 8	1.50	0.26	1.00
9	Tramo 9	2.60	0.36	1.00
10	Tramo 10	1.50	0.26	1.00
11	Tramo 11	2.60	0.44	1.00
12	Tramo 12	2.60	0.36	1.00
13	Tramo 13	1.50	0.21	1.00
14	Tramo 14	2.60	0.44	1.00
15	Tramo 15	1.50	0.21	1.00
16	Tramo 16	1.50	0.26	1.00
17	Tramo 17	1.50	0.26	1.00
18	Tramo 18	1.50	0.21	1.00
19	Tramo 19	1.50	0.22	1.00
20	Tramo 20	1.50	0.26	1.00
21	Tramo 21	2.60	0.36	1.00
22	Tramo 22	1.50	0.21	1.00
23	Tramo 23	1.50	0.21	1.00
24	Tramo 24	2.60	0.36	1.00
25	Tramo 25	2.60	0.36	1.00
26	Tramo 26	2.60	0.44	1.00
27	Tramo 27	2.60	0.36	1.00
28	Tramo 28	1.50	0.21	1.00

Tabla 71: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad VII desde el Tramo 29 al Tramo 56.

Nº	TRAMO	FCM	IBD CORREGIDO	Nº DE FALLAS POR KILÓMETRO
29	Tramo 29	2.60	0.44	1.00
30	Tramo 30	2.60	0.36	1.00
31	Tramo 31	1.50	0.26	1.00
32	Tramo 32	1.50	0.17	1.00
33	Tramo 33	1.50	0.17	1.00
34	Tramo 34	2.60	0.44	1.00
35	Tramo 35	2.60	0.44	1.00
36	Tramo 36	1.50	0.26	1.00
37	Tramo 37	1.50	0.26	1.00
38	Tramo 38	1.50	0.26	1.00
39	Tramo 39	1.50	0.26	1.00
40	Tramo 40	1.50	0.26	1.00
41	Tramo 41	1.50	0.26	1.00
42	Tramo 42	1.50	0.26	1.00
43	Tramo 43	1.50	0.17	1.00
44	Tramo 44	1.50	0.26	1.00
45	Tramo 45	1.50	0.26	1.00
46	Tramo 46	1.50	0.26	1.00
47	Tramo 47	1.50	0.26	1.00
48	Tramo 48	1.50	0.26	1.00
49	Tramo 49	1.50	0.26	1.00
50	Tramo 50	1.50	0.26	1.00
51	Tramo 51	1.50	0.26	1.00
52	Tramo 52	1.50	0.26	1.00
53	Tramo 53	1.50	0.26	1.00
54	Tramo 54	1.50	0.26	1.00
55	Tramo 55	1.50	0.26	1.00
56	Tramo 56	1.50	0.26	1.00

Tabla 72: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad VIII desde el Tramo 1 al Tramo 28.

Nº	TRAMO	FCM	IBD CORREGIDO	Nº DE FALLAS POR KILÓMETRO
1	Tramo 1	2.60	2.69	3.00
2	Tramo 2	2.60	2.15	1.00
3	Tramo 3	2.60	2.68	1.00
4	Tramo 4	2.60	2.69	2.00
5	Tramo 5	2.60	2.69	1.00
6	Tramo 6	2.60	2.15	2.00
7	Tramo 7	2.60	2.69	1.00
8	Tramo 8	1.50	1.55	1.00
9	Tramo 9	2.60	2.15	1.00
10	Tramo 10	1.50	1.55	1.00
11	Tramo 11	2.60	2.69	1.00
12	Tramo 12	2.60	2.15	2.00
13	Tramo 13	1.50	1.24	1.00
14	Tramo 14	2.60	2.69	1.00
15	Tramo 15	1.50	1.24	1.00
16	Tramo 16	1.50	1.55	1.00
17	Tramo 17	1.50	1.55	1.00
18	Tramo 18	1.50	1.24	1.00
19	Tramo 19	1.50	1.29	1.00
20	Tramo 20	1.50	1.55	1.00
21	Tramo 21	2.60	2.15	1.00
22	Tramo 22	1.50	1.24	1.00
23	Tramo 23	1.50	1.24	1.00
24	Tramo 24	2.60	2.15	2.00
25	Tramo 25	2.60	2.15	2.00
26	Tramo 26	2.60	2.69	2.00
27	Tramo 27	2.60	2.15	2.00
28	Tramo 28	1.50	1.24	1.00

Tabla 73: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad VIII desde el Tramo 29 al Tramo 56.

Nº	TRAMO	FCM	IBD CORREGIDO	Nº DE FALLAS POR KILÓMETRO
29	Tramo 29	2.60	2.69	2.00
30	Tramo 30	2.60	2.15	3.00
31	Tramo 31	1.50	1.55	2.00
32	Tramo 32	1.50	1.04	1.00
33	Tramo 33	1.50	1.04	1.00
34	Tramo 34	2.60	2.69	2.00
35	Tramo 35	2.60	2.69	2.00
36	Tramo 36	1.50	1.55	1.00
37	Tramo 37	1.50	1.55	1.00
38	Tramo 38	1.50	1.55	1.00
39	Tramo 39	1.50	1.55	1.00
40	Tramo 40	1.50	1.55	1.00
41	Tramo 41	1.50	1.55	1.00
42	Tramo 42	1.50	1.55	1.00
43	Tramo 43	1.50	1.04	1.00
44	Tramo 44	1.50	1.55	2.00
45	Tramo 45	1.50	1.55	1.00
46	Tramo 46	1.50	1.55	1.00
47	Tramo 47	1.50	1.55	1.00
48	Tramo 48	1.50	1.55	1.00
49	Tramo 49	1.50	1.55	1.00
50	Tramo 50	1.50	1.55	1.00
51	Tramo 51	1.50	1.55	1.00
52	Tramo 52	1.50	1.55	1.00
53	Tramo 53	1.50	1.55	1.00
54	Tramo 54	1.50	1.55	1.00
55	Tramo 55	1.50	1.55	2.00
56	Tramo 56	1.50	1.55	1.00

Tabla 74: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad IX desde el Tramo 1 al Tramo 28.

Nº	TRAMO	FCM	IBD CORREGIDO	Nº DE FALLAS POR KILÓMETRO
1	Tramo 1	2.60	19.50	17.00
2	Tramo 2	2.60	15.60	5.00
3	Tramo 3	2.60	19.50	7.00
4	Tramo 4	2.60	19.50	10.00
5	Tramo 5	2.60	19.50	4.00
6	Tramo 6	2.60	15.60	12.00
7	Tramo 7	2.60	19.50	4.00
8	Tramo 8	1.50	11.25	5.00
9	Tramo 9	2.60	15.60	7.00
10	Tramo 10	1.50	11.25	2.00
11	Tramo 11	2.60	19.50	7.00
12	Tramo 12	2.60	15.60	8.00
13	Tramo 13	1.50	9.00	3.00
14	Tramo 14	2.60	19.50	6.00
15	Tramo 15	1.50	9.00	5.00
16	Tramo 16	1.50	11.25	5.00
17	Tramo 17	1.50	11.25	3.00
18	Tramo 18	1.50	9.00	3.00
19	Tramo 19	1.50	9.38	3.00
20	Tramo 20	1.50	11.25	5.00
21	Tramo 21	2.60	15.60	6.00
22	Tramo 22	1.50	9.00	3.00
23	Tramo 23	1.50	9.00	3.00
24	Tramo 24	2.60	15.60	11.00
25	Tramo 25	2.60	15.60	10.00
26	Tramo 26	2.60	19.50	13.00
27	Tramo 27	2.60	15.60	11.00
28	Tramo 28	1.50	9.00	6.00

Tabla 75: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad IX desde el Tramo 29 al Tramo 56.

Nº	TRAMO	FCM	IBD CORREGIDO	Nº DE FALLAS POR KILÓMETRO
29	Tramo 29	2.60	19.50	13.00
30	Tramo 30	2.60	15.60	20.00
31	Tramo 31	1.50	11.25	13.00
32	Tramo 32	1.50	7.50	4.00
33	Tramo 33	1.50	7.50	2.00
34	Tramo 34	2.60	19.50	8.00
35	Tramo 35	2.60	19.50	8.00
36	Tramo 36	1.50	11.25	4.00
37	Tramo 37	1.50	11.25	3.00
38	Tramo 38	1.50	11.25	7.00
39	Tramo 39	1.50	11.25	8.00
40	Tramo 40	1.50	11.25	2.00
41	Tramo 41	1.50	11.25	2.00
42	Tramo 42	1.50	11.25	4.00
43	Tramo 43	1.50	7.50	3.00
44	Tramo 44	1.50	11.25	10.00
45	Tramo 45	1.50	11.25	2.00
46	Tramo 46	1.50	11.25	2.00
47	Tramo 47	1.50	11.25	4.00
48	Tramo 48	1.50	11.25	2.00
49	Tramo 49	1.50	11.25	5.00
50	Tramo 50	1.50	11.25	2.00
51	Tramo 51	1.50	11.25	4.00
52	Tramo 52	1.50	11.25	3.00
53	Tramo 53	1.50	11.25	5.00
54	Tramo 54	1.50	11.25	5.00
55	Tramo 55	1.50	11.25	11.00
56	Tramo 56	1.50	11.25	1.00

Tabla 76: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad X desde el Tramo 1 al Tramo 28.

Nº	TRAMO	FCM	IBD CORREGIDO	Nº DE FALLAS POR KILÓMETRO
1	Tramo 1	2.60	146.25	125.00
2	Tramo 2	2.60	117.00	31.00
3	Tramo 3	2.60	146.25	48.00
4	Tramo 4	2.60	146.25	73.00
5	Tramo 5	2.60	146.25	25.00
6	Tramo 6	2.60	117.00	87.00
7	Tramo 7	2.60	146.25	24.00
8	Tramo 8	1.50	84.38	37.00
9	Tramo 9	2.60	117.00	50.00
10	Tramo 10	1.50	84.38	13.00
11	Tramo 11	2.60	146.25	48.00
12	Tramo 12	2.60	117.00	56.00
13	Tramo 13	1.50	67.50	22.00
14	Tramo 14	2.60	146.25	43.00
15	Tramo 15	1.50	67.50	31.00
16	Tramo 16	1.50	84.38	36.00
17	Tramo 17	1.50	84.38	21.00
18	Tramo 18	1.50	67.50	18.00
19	Tramo 19	1.50	70.32	20.00
20	Tramo 20	1.50	84.38	33.00
21	Tramo 21	2.60	117.00	45.00
22	Tramo 22	1.50	67.50	16.00
23	Tramo 23	1.50	67.50	16.00
24	Tramo 24	2.60	117.00	77.00
25	Tramo 25	2.60	117.00	74.00
26	Tramo 26	2.60	146.25	98.00
27	Tramo 27	2.60	117.00	79.00
28	Tramo 28	1.50	67.50	45.00

Tabla 77: Resumen del número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad X desde el Tramo 29 al Tramo 56.

Nº	TRAMO	FCM	IBD CORREGIDO	Nº DE FALLAS POR KILÓMETRO
29	Tramo 29	2.60	146.25	96.00
30	Tramo 30	2.60	117.00	146.00
31	Tramo 31	1.50	84.38	97.00
32	Tramo 32	1.50	56.25	29.00
33	Tramo 33	1.50	56.25	14.00
34	Tramo 34	2.60	146.25	58.00
35	Tramo 35	2.60	146.25	58.00
36	Tramo 36	1.50	84.38	25.00
37	Tramo 37	1.50	84.38	20.00
38	Tramo 38	1.50	84.38	51.00
39	Tramo 39	1.50	84.38	54.00
40	Tramo 40	1.50	84.38	14.00
41	Tramo 41	1.50	84.38	15.00
42	Tramo 42	1.50	84.38	23.00
43	Tramo 43	1.50	56.25	18.00
44	Tramo 44	1.50	84.38	70.00
45	Tramo 45	1.50	84.38	11.00
46	Tramo 46	1.50	84.38	12.00
47	Tramo 47	1.50	84.38	27.00
48	Tramo 48	1.50	84.38	11.00
49	Tramo 49	1.50	84.38	31.00
50	Tramo 50	1.50	84.38	10.00
51	Tramo 51	1.50	84.38	24.00
52	Tramo 52	1.50	84.38	19.00
53	Tramo 53	1.50	84.38	33.00
54	Tramo 54	1.50	84.38	33.00
55	Tramo 55	1.50	84.38	80.00
56	Tramo 56	1.50	84.38	7.00

4.1.3. Medidas de prevención.

Las medidas de prevención para contrarrestar la vulnerabilidad operativa consisten en tomar acciones para asegurar la cantidad, continuidad y calidad del agua y un buen mantenimiento y operación del sistema.

Las medidas de prevención se enumeran, como la modificación, sustitución, reparación, colocación de equipos redundantes, acceso mejorado, etc. Se debe especificar la prioridad de acción para cada componente dependiendo de si requiere: (a) mayor tiempo de rehabilitación;

(b) mayor frecuencia de reparación; y / o (c) es un componente crítico. Los costos asociados con la implementación de estas medidas también deben tenerse en cuenta. Las medidas de mitigación para reducir la vulnerabilidad de ciertos componentes del agua potable incluyen:

- Reemplace los equipos o accesorios si están en malas condiciones, y monitoree los componentes periódicamente si están en condiciones promedio (por ejemplo, bombas eléctricas, generadores auxiliares y válvulas);
- Reparar elementos, equipos y accesorios defectuosos;
- Reemplazar elementos, equipos y accesorios que sean inadecuados o que no funcionen;
- Obtenga componentes, equipos y accesorios faltantes (por ejemplo, generadores auxiliares en áreas donde hay cortes eléctricos prolongados o frecuentes).
- Proporcionar modernización estructural de los componentes;
- Proteger los sitios contra deslizamientos de tierra, desprendimientos de rocas e inundaciones;
- Adaptar o cambiar elementos agrietados o de material de baja calidad; reemplazar conexiones rígidas y accesorios.

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

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

- e) Medir y registrar el caudal producido. Si éste no es suficiente y tiene periodos grandes de falta de agua, informar a la empresa prestadora de servicios y/o buscar otras fuentes adicionales de captación.
- f) Si se determina caudal faltante entre los componentes, localizar filtraciones y repararlas.
- g) Verificar si el agua se usa para riego u otros fines, identificar a los usuarios y comunicar a la empresa prestadora de servicios.
- h) Revisar y registrar periódicamente el estado de conservación y funcionamiento de los elementos y equipos.
- i) Solicitar o mantener en buen estado las herramientas de trabajo y materiales para el funcionamiento del sistema.
- j) Solicitar periódicamente ensayos de calidad del agua, con recomendaciones claras y precisas en caso de resultados desfavorables.
- k) Conocer y registrar las especificaciones técnicas para el buen funcionamiento de equipos, principalmente eléctricos y mecánicos, etc.
- l) Mantener una reserva de los químicos utilizadas para el tratamiento y desinfección del agua.
- m) Para el diseño sismorresistente de las tuberías debe considerarse que:
 - Se prefiere la tubería dúctil de pared gruesa a la tubería frágil de pared delgada.
 - Las tuberías de hierro dúctil, de acero y polietileno son muy dúctiles y se deformarán considerablemente antes de romperse.
 - El policloruro de vinilo (PVC) es moderadamente dúctil.
 - La tubería cilíndrica de asbesto-cemento y de concreto es algo dúctil.
 - Los sistemas de revestimiento o recubrimiento de tubos deberán brindar protección continua contra la corrosión.

- Los sistemas de tuberías dúctiles con uniones fijas segmentada o soldadas resistirán el movimiento del terreno y producirán un daño mínimo.
 - Las uniones segmentadas (es decir, de espiga y campana) con empaques de caucho permitirán el movimiento de las uniones, pero se separarán fácilmente.
 - La tubería segmentada con uniones de mortero se vuelve rígida y no permitirá el movimiento de las uniones, lo cual incrementará la deformación de las tuberías y su posterior ruptura.
 - El diseño moderno de la tubería de espiga y campana emplea empaques elastoméricos para sellar las uniones de las tuberías. Estas tuberías pueden ser flexibles a la expansión y rotación, dependiendo de la práctica de instalación. Son flexibles a la compresión hasta tener un contacto de metal sobre metal. Por lo general, el grado de flexibilidad se muestra en las normas para materiales de tuberías o puede ser proporcionado por el fabricante.
 - La tubería de menor tamaño permite una mayor rotación de las uniones que las tuberías de mayor diámetro.
 - Las uniones deben diseñarse de tal manera que puedan moverse antes de que se desacoplen del todo.
 - La restricción de las uniones de una tubería es un aspecto importante en la vulnerabilidad sísmica de las tuberías porque permite la transferencia de cargas y el desplazamiento a través de las uniones.
 - Las uniones fijas también se usan comúnmente para resistir los empujes hidráulicos axiales, lo que elimina la necesidad de macizos de apoyo.
 - El uso de pernos para fijar las uniones permite la compresión porque posibilitan que la conexión unida por pernos se afloje.
- n) Dar mantenimiento a la valvulería de todo el sistema.

- o) Los trabajos de relleno y compactación deben hacerse de acuerdo a lo establecido en las normas fijadas para el efecto.
- p) Capacitar al personal para el reconocimiento de la vulnerabilidad del sistema y la determinación de las medidas de mitigación.
- q) Presupuestar y adquirir las herramientas y materiales necesarios para la operación y mantenimiento normal del sistema.
- r) Reducir monto de morosidad.
- s) Implementar un fondo de capitalización.
- t) Concienciar a los usuarios sobre la vulnerabilidad de los sistemas.
- u) Presupuestar y financiar las medidas de mitigación a través del fondo de capitalización y/o ayuda externa.
- v) Elaborar un plan de ejecución de las medidas de mitigación.
- w) Mejorar las deficiencias de la organización institucional y local, para poder implementar las medidas de mitigación físicas, operativas y administrativas.
- x) Identificar claramente las responsabilidades de los niveles de organización, administración y operación, definir los mecanismos de coordinación e información, etc.
- y) Formar un comité de mitigación, el cual se trate de un equipo multidisciplinario de profesionales, idealmente integrado por ingenieros, administradores y operadores de los sistemas. Eventualmente, podrán ser invitados a participar profesionales de otras instituciones y sectores a fin de lograr la coordinación interinstitucional e intersectorial, así como expertos en la amenaza analizada (sismólogos, hidrólogos). Este grupo debe tener como responsabilidad el coordinar las acciones para la estructuración e implementación del Plan de Mitigación.
- z) Para responder coordinadamente en la atención de una emergencia o desastre se requiere disponer de un espacio físico, conocido como sala de situación, que reúna características

de seguridad y todos los recursos necesarios para garantizar un funcionamiento óptimo en los momento más conflictivo y críticos.

- aa) Diseñar e implementar un plan de capacitación que considera a todos los funcionarios del sistema de agua potable, en especial a los fontaneros, los que deben conocer detalles sobre las amenazas y debilidades que posee el sistema, y de las medidas a seguir para minimizar tales debilidades. La ausencia de capacitación de los 20 fontaneros y la ausencia de planos actualizados del sistema de agua dificulta las acciones oportunas para garantizar la operación, mantenimiento y administración del sistema.

4.2. Contrastación de Hipótesis.

Hipótesis General.

Hi: “Con el análisis de vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable se logra establecer medidas para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018”.

H₀: “Con el análisis de vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable no se logra establecer medidas para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018”

De acuerdo al análisis de vulnerabilidad sísmica, se determinó el factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS) = 1.5 (moderado), factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS) = 1 (deformación bajo) y factor de amenaza sísmica (FAS) resultante = 2.25 (alto riesgo); evidenciando que el rango de vulnerabilidad de las redes de distribución de agua potable, es en efecto *significativo*, según la intensidad de sismo, comprobándose la hipótesis alterna (*Hi*) y rechazando la hipótesis nula (*Ho*); reforzando esta hipótesis se tiene que el número de fallas por kilómetro en sismos de intensidad VII del Tramo 1 al Tramo 56 (tabla 70 y 71), sería de 01; mientras si fuera un sismo de VIII, el 3.57% de los tramos de las tuberías sufrirían 03 roturas; el 23.21% sufrirían 02 roturas y el 73.21% sufriría

01 rotura (tabla 72 y 73). Incrementando el porcentaje de daños en el caso de sismos de intensidad IX, ya que sería de 20 roturas, reflejando el 1.79%, seguidos de otro 1.79% con 17 roturas y un 5.36% con 13 roturas; además el mayor porcentaje es de 16.07% con 03 roturas por tramo de tuberías, seguido del 14.29% con 05 roturas por tramo y otro 14.29% con 02 roturas por kilómetro. Para un evento sísmico de intensidad X, el daño sería catastrófico, puesto que las redes de distribución de agua potable del Sector VI del distrito de Huacho, ya que por tramo el menor número de roturas sería de 7 y el máximo de 146 roturas. Así pues, la hipótesis plateada es necesaria y correcta por su nivel de significancia e incidencia en temas preventivos, sujetos a propuestas e implementación otras medidas para profundizar esta investigación.

CAPÍTULO V

DISCUSIÓN

5.1. Discusión.

En el estudio de “Amenaza, vulnerabilidad y riesgo sanitario – ambiental en los servicios de agua potable y de la disposición sanitaria de excretas y aguas residuales, en el centro poblado de Molino, Chocope” (Lopez D. & Aguilar M., 2014), señala que, los fenómenos naturales son otro factor que implica la salud de la población, en ocasiones estos servicios son vulnerables, dependiendo del impacto de los eventos naturales, el daño de estos fenómenos a las redes de saneamiento influyen significativamente en la salud y la económica de la zona afectada. Las infraestructuras y equipos de salud quedan sin servicio de agua, conllevando a una crisis de salud pública, siguiendo por disposición sanitaria de excretas y aguas residuales, permisibles en la zona de influencia, perjudicando la prestación de los servicios de forma eficiente, incrementando la vulnerabilidad del sistema y la salud de la población.

De acuerdo a la investigación realizada respecto al análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable para prevenir el desabastecimiento del Sector VI del distrito de Huacho – 2018; podemos coincidir con la autora (Solano V., 2012), 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 aún si las fallas se producen cerca a los reservorios.

La investigadora (Encarnación V., 2017); analiza la vulnerabilidad sísmica; así pues, pudo deducir en base a sus resultados que, si hubiese un evento sísmico de gran magnitud, las redes de distribución de agua potable de asbesto colapsarían por ser de 61.60% de cemento; además el plan de mitigación sería una de las medidas a implementar antes de que ocurra el evento sísmico, ya que, los trabajos de reparación de una serie de roturas de tuberías y fallas en las juntas requieren mucho tiempo. Desde el punto de vista de la gestión del riesgo sísmico, es de gran importancia evaluar la vulnerabilidad sísmica de las instalaciones de red existente.

CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

La evaluación de la vulnerabilidad, destacó como un área clave para investigar, especialmente porque impacta directamente en los resultados de las evaluaciones de vulnerabilidad y pérdida sísmica, pero también forma una proporción significativa de los recursos gastados. Si estos recursos pudieran gastarse de manera más efectiva, habría más recursos para usar en las estrategias de reducción de riesgos, mientras que los tomadores de decisiones tenían un buen nivel de precisión para basar las decisiones. También se revisa el papel de los métodos de recopilación de datos de construcción existentes y potenciales.

El 35.71% de las tuberías de las redes de distribución del Sector VI del distrito de Huacho son de asbesto cemento y el 64.29% son de PVC.

En sismos de intensidad VII, el 100.00% de los tramos de las tuberías de las redes de distribución de agua potable del Sector VI del distrito de Huacho sufrirían 01 rotura.

En sismos de intensidad VIII, el 3.57% de los tramos de las tuberías de las redes de distribución de agua potable del Sector VI del distrito de Huacho sufrirían 03 roturas; el 23.21% sufrirían 02 roturas y el 73.21% sufriría 01 rotura.

En sismos de intensidad IX, en las redes de distribución de agua potable del Sector VI del distrito de Huacho; el mayor número de roturas que se evidenciaría sería de 20 que se reflejarían en el 1.79%, seguidos de otro 1.79% con 17 roturas y un 5.36% con 13 roturas; además el mayor porcentaje es de 16.07% con 03 roturas por tramo de tuberías, seguido del 14.29% con 05 roturas por tramo y otro 14.29% con 02 roturas por kilómetro.

En sismos de intensidad X, en las redes de distribución de agua potable del Sector VI del distrito de Huacho, el menor número de roturas que sufriría uno de los tramos es de 07 y el mayor número de roturas sería de 146.

Usando los datos recopilados, se estima la vulnerabilidad sísmica y el riesgo del área de estudio, y un estudio preliminar comienza a investigar los impactos de las incertidumbres en la construcción de datos. Se requiere más trabajo, pero el resultado preliminar indica que el rango de pérdidas es significativo, destacando la necesidad de una recopilación precisa de datos para alimentar las evaluaciones de vulnerabilidad y exposición sísmica y, a su vez, las evaluaciones de riesgo sísmico.

El resultado deseado del análisis de vulnerabilidad es, lógicamente, la aplicación de medidas de prevención y mitigación para corregir las debilidades reveladas por el estudio. Las recomendaciones técnicas para aplicar medidas deben formar parte del análisis. Algunas medidas de mitigación serán técnicamente complejo y requiere estudios adicionales sobre diseños de ingeniería y costos. Las medidas de mitigación son aplicadas a los componentes más vulnerables, ya sea que se encuentren en funcionamiento, administrativo o elementos físicos.

6.2. Recomendaciones

Sería conveniente que el Instituto Nacional de Defensa Civil del Perú (INDECI) junto de la mano con el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmica y Mitigación de Desastres (CISMID) y Aguas de Lima Norte S.A. realicen un estudio de vulnerabilidad sísmica de segundo nivel en los sistemas de abastecimiento de agua potable para poder disminuir o mitigar de alguna manera el colapso del servicio en caso de un sismo severo.

Es aconsejable que Aguas de Lima Norte S.A. incorpore una base de datos de los tramos de tuberías que sufrirían roturas durante un evento sísmico o de otra naturaleza, ya que así sería posible identificar con mayor exactitud y si es necesario cambiar las tuberías de material vulnerable por tuberías que tenga mayor resistencia y ductilidad, que puedan soportar durante un sismo.

Se recomienda considerar las medidas de mitigación propuestas para la elaboración de un Plan de Mitigación que debe mantenerse actualizado y estar disponible en todo momento

para el uso de las personas que intervengan en el mismo. Su éxito dependerá de cuan sencillo, práctico y fácil sea de ejecutar, así como del conocimiento del mismo que tengan las personas participantes, lo que se logra por medio de actividades periódicas de capacitación y simulacros.

REFERENCIAS

7.1. Fuentes Bibliográficas

- (OPS), O. P. (1998). *Mitigación de desastres naturales en sistemas de agua potable y alcantarillado sanitario*. Washington, D.C.
- Cano Z., W. (2006). *Análisis de vulnerabilidad del sistema de agua potable de Santa Catarina Pinula, Guatemala*. Santa Catarina, Pinula, Guatemala: Universidad de San Carlos de Guatemala.
- Carrasco D., S. (2006). *Metodología de la Investigación Científica*. Lima: San Marcos.
- Didier, M., Esposito, S., Broccardo, M., & Stojadinovic, B. (2018). Seismic resilience of a water distribution network. *EARTHQUAKE ENGINEERING*. Recuperado el 24 de Julio de 2019, de https://www.researchgate.net/publication/328830216_SEISMIC_RESILIENCE_OF_A_WATER_DISTRIBUTION_NETWORK
- Encarnación V., L. (2017). *"Vulnerabilidad sísmica de los sistemas de impulsión de agua potable en el distrito de Puente Piedra en el 2017"*. Lima, Perú: Universidad César Vallejo.
- Jordán G., M. (2016). "Vulnerabilidad ante inundaciones en el municipio de Tenancingo, Estado de México". *Tesis de Maestría en Estudios de la Ciudad*. Toluca, México: Universidad Autónoma del Estado de México. Recuperado el 10 de Noviembre de 2018, de http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/58906/Jordan_Vulnerabilidad.pdf?sequence=1
- Kanta, L. (2006). *Vulnerability assessment of water supply systems for insufficient fire flows*. Texas: University of Engineering and Technology . Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <https://core.ac.uk/download/pdf/4278116.pdf>

- Klise, K., Bynum, M., Moriarty, D., & Murray, R. (2017). A software framework for assessing the resilience of drinking water systems to disasters with an example earthquake case study. *EPA*. doi:doi: 10.1016/j.envsoft.2017.06.022
- Lopez D., E., & Aguilar M., H. (2014). *Estudio de Amenaza, Vulnerabilidad y Riesgo Sanitario – Ambiental en los Servicios de Agua Potable y de la Disposición Sanitaria de Excretas y Aguas Residuales, en el Centro Poblado de Molino, Chocope*. Trujillo, La Libertad, Perú: Universidad Privada Antenor Orrego - UPAO.
- Mendoza S., M. (2017). Evaluación del riesgo por inundación en la quebrada Romero, del distrito de Cajamarca, periodo 2011- 2016. *Tesis optar el Título Profesional de Ingeniero Ambiental y Prevención de Riesgos*. Cajamarca: Universidad Privada Antonio Guillermo Urrelo. Recuperado el 4 de Noviembre de 2018, de <http://repositorio.upagu.edu.pe/bitstream/handle/UPAGU/289/Tesis%20Miguel%20Mendoza.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Naghi, M. (2005). *Metodología de la investigación*. Mexico: LIMUSA.
- Narváez L, R. (2012). Vulnerabilidad geotécnica de las quebradas Arroyo Seco y Puca Puca en la ciudad de Ayacucho. *Tesis de Grado de Maestro en Ciencias*. (Universidad Nacional de Ingeniería, Ed.) Lima. Recuperado el 4 de Noviembre de 2018, de http://cybertesis.uni.edu.pe/bitstream/uni/1157/1/narvaez_lr.pdf
- PAHO. (1998). *Natural Disaster Mitigation in Drinking Water and Sewerage Systems: Guidelines for Vulnerability Analysis*. Washington: Pan American Health Organization.
- Pineda, O., & Ordaz, M. (2002). Análisis de vulnerabilidad sísmica en la red primaria de distribución de agua potable del Distrito Federal. *XIII Congreso Nacional de Ingeniería Estructural*. Puebla.
- Rasulo, A. (2017). Análisis de confiabilidad de sistemas de agua urbana bajo acción sísmica. *Eccomas Proceedia*, 1914-1927. doi:DOI: 10.7712/120117.5537.18232

- Rodríguez V., H. (2012). Inundaciones en zonas urbanas, medidas preventivas y correctivas, acciones estructurales y no estructurales. *Tesis de Maestro en Ingeniería Civil-Hidráulica*. (U. N. México, Ed.) Cuernavaca. Recuperado el 6 de Noviembre de 2018, de <http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/5281/Tesis.pdf?sequence=1>
- Santillán H., M. (2011). *Conductos Enterrados: Comportamiento Sísmico y Recomendaciones de Diseño*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil.
- Solano V., S. (2012). *Análisis de vulnerabilidad sísmica del sistema de agua y alcantarillado con aplicación de sistema de información geográfica del centro poblado Medio Mundo*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería - Facultad de Ingeniería Civil. Recuperado el 10 de Mayo de 2019, de <http://cybertesis.uni.edu.pe/handle/uni/2813>
- Stone, H. (2017). Exposure and vulnerability for seismic risk evaluations. Londres: University College London. Recuperado el 27 de Julio de 2019, de <https://pdfs.semanticscholar.org/e4b0/d599f3c215724c4701f1ea31d4908fe61fde.pdf>
- SUNASS, S. N. (2004). *Análisis de la Calidad del Agua Potable en las Empresas Prestadoras del Perú: 1995 - 2003*. (C. Cuadros, Ed.) Lima, Perú.
- Tabesh, M., & Moshtaghi, M. &. (2019). Risk Analysis and Management of Water Distribution Networks Due to Probable Earthquake. *Iranian Journal of Science and Technology, Transactions of Civil Engineering*. Recuperado el 26 de Julio de 2019, de <https://link.springer.com/article/10.1007/s40996-019-00262-2>
- UNI, & CENEPRED. (2012). *Informe N°3 - Estudio de microzonificación sísmica, estudio de vulnerabilidad estructural y diagnóstico del sistema de agua del distrito de Breña*.

Universidad Nacional de Ingeniería - UNI y Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo - CENEPRED, Lima.

ANEXOS

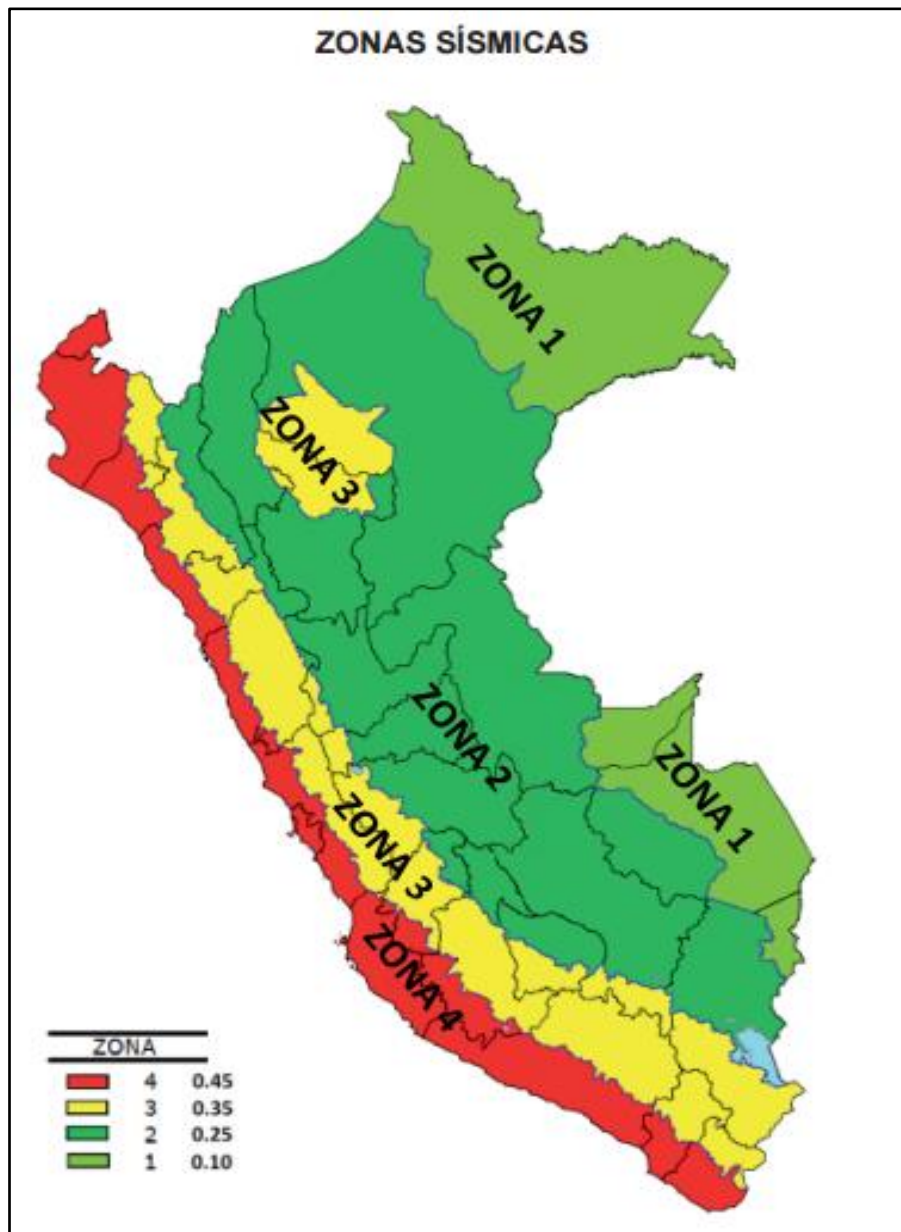
A - 1: Matriz Consistencia General

Titulo	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Dimensiones
<p style="text-align: center;">“ ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA PREVENIR EL DESABASTECIMIENTO DEL SECTOR VI DEL DISTRITO DE</p>	<i>P. Generales</i>	<i>O. General</i>	<i>H. General</i>	<i>V. Independiente</i>	
	<p>- ¿Cuál será la magnitud del análisis de vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho - 2018?</p>	<p>- Analizar la vulnerabilidad sísmica de redes de distribución de agua potable para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho - 2018.</p>	<p>- Con el análisis de vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable se logra establecer medidas para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho - 2018.</p>	<p>- Análisis de vulnerabilidad sísmica.</p>	<p>- Factor de amenaza por tipo de perfil de suelo (FSPT)</p> <p>- Factor de amenaza por licuefacción potencial del suelo (FLPS)</p> <p>- Factor de amenaza por deformación permanente del suelo (FDPS)</p>

A - 2: Matriz Consistencia Especifico

Titulo	Problema	Objetivos	Hipótesis	Variable	Indicadores
<p style="text-align: center;">“ ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA POTABLE PARA PREVENIR EL DESABASTECIMIENTO DEL SECTOR VI DEL DISTRITO DE HUACHO – 2018”</p>	<i>Específicos</i>	<i>Específicos</i>	<i>Específicos</i>	<i>Dependiente</i>	
	<ul style="list-style-type: none"> - ¿Cómo se puede cuantificar la vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable del sector VI del distrito de Huacho – 2018? - De acuerdo al análisis de vulnerabilidad sísmica en las redes de distribución de agua potable ¿Qué medidas se pueden adoptar para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018? 	<ul style="list-style-type: none"> - Cuantificar la vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable para la identificación de los puntos críticos de del sector VI del distrito de Huacho – 2018. - Proponer medidas para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018. 	<ul style="list-style-type: none"> - Se logra cuantificar la vulnerabilidad sísmica de las redes de distribución de agua potable del sector VI del distrito de Huacho – 2018. - Las medidas propuestas para prevenir el desabastecimiento del sector VI del distrito de Huacho – 2018 reducen la vulnerabilidad. 	<ul style="list-style-type: none"> - Prevención del desabastecimiento. 	<ul style="list-style-type: none"> - Estudio de zona - Actividades preventivas

A - 3: Mapa de Zonificación Sísmica - Norma E.030 Diseño Sismorresistente



A - 4: Inventario de tuberías.

TRAMO	CALLE	MATERIAL	DIÁMETRO	LONGITUD (m)
Tramo 1	Av. San Martin hasta Castilla	Asbesto Cemento	160 mm (6")	854.60
Tramo 2	Av. San Martin entre castilla y B. Leguia lado 1	Asbesto Cemento	200 mm (8")	259.01
Tramo 3	Av. San Martin entre castilla y B. Leguia lado 2	Asbesto Cemento	110 mm (4")	322.91
Tramo 4	Av. San Martin entre B. Leguia y Urb. Lever Pacocha lado 1	Asbesto Cemento	110 mm (4")	495.39
Tramo 5	Av. San Martin entre B. Leguia y Urb. Lever Pacocha lado 3	Asbesto Cemento	160 mm (6")	485.02
Tramo 6	Av. San Martin entre B. Leguia y Av. Panamericana lado 2	Asbesto Cemento	315 mm (12")	736.91
Tramo 7	Av. San Martin entre Urb. Lever Pacocha y Panamericana	Asbesto Cemento	110 mm (4")	160.64
Tramo 8	Prolong. Santa Rosa entre Cincuentenario y Av. Hualmay lado 1	PVC (mm)	160 mm (6")	430.85
Tramo 9	Prolong. Santa Rosa entre Cincuentenario y Av. Hualmay lado 2	Asbesto Cemento	250 mm (10")	422.81
Tramo 10	Prolong. Santa Rosa entre Av. Hualmay y Francisco rosas lado 1	PVC (mm)	160 mm (6")	146.67
Tramo 11	Prolong. Santa Rosa entre Francisco Rosas y Castilla lado 1	Asbesto Cemento	160 mm (6")	326.51
Tramo 12	Prolong. Santa Rosa entre Cincuentenario y Castilla lado 2	Asbesto Cemento	250 mm (10")	475.22
Tramo 13	Prolong. Santa Rosa entre Castilla y B. Leguia lado 1	PVC (mm)	250 mm (10")	312.75
Tramo 14	Prolong. Santa Rosa entre Castilla y B. Leguia lado 2	Asbesto Cemento	160 mm (6")	292.70
Tramo 15	Av. Cruz de Cano entre B. Leguia y Psje. Señor de los Milagros lado 1	PVC (mm)	250 mm (10")	446.20
Tramo 16	Av. Cruz de Cano entre B. Leguia y Psje. Señor de los Milagros lado 2	PVC (mm)	160 mm (6")	425.68
Tramo 17	Av. Puquio Cano entre Psje. Señor de los Milagros y Ca. Irene Salvador lado 1	PVC (mm)	160 mm (6")	241.11
Tramo 18	Av. Puquio Cano entre Psje. Señor de los Milagros y Ca. Irene Salvador lado 2	PVC (mm)	250 mm (10")	253.36
Tramo 19	B. Leguia entre Av. San Martin y Av. Cruz de Cano	PVC	160 mm (6")	281.27
Tramo 20	Castilla entre Av. San Martin y Prolong. Santa Rosa lado izq	PVC	160 mm (6")	390.29
Tramo 21	Castilla entre Av. San Martin y Prolong. Santa Rosa lado dere	Asbesto Cemento	16 "	377.27
Tramo 22	Jr. La Merced antes de la plazuela san martin	PVC	250 mm (10")	226.65
Tramo 23	Jr. La Merced entre la plazuela san martin y Prol. Santa Rosa	PVC	200 mm (8")	228.28
Tramo 24	Panamericana Norte entre la Av. San Martin y la Calle Irene Salvador lado izquierdo	Asbesto Cemento	14 "	652.30
Tramo 25	Panamericana Norte entre la Av. San Martin y la Calle Irene Salvador lado derecho	Asbesto Cemento	200 mm (8")	626.69
Tramo 26	Panamericana Norte entre la Calle Irene Salvador y Av. San Martin lado izquierdo 1	Asbesto Cemento	160 mm (6")	664.21
Tramo 27	Panamericana Norte entre la Calle Irene Salvador y Av. San Martin lado izquierdo 2	Asbesto Cemento	16"	672.72
Tramo 28	Panamericana Norte entre la Calle Irene Salvador y Av. San Martin lado derecho 1	PVC	200 mm (8")	658.83
Tramo 29	Panamericana Norte entre la Calle Irene Salvador y Av. San Martin lado derecho 2	Asbesto Cemento	160 mm (6")	651.88

TRAMO	CALLE	MATERIAL	DIÁMETRO	LONGITUD (m)
Tramo 30	Av. Domingo Mandamiento entre la Panamericana Norte y Prolg. Santa Rosa lado izquierdo	Asbesto Cemento	16"	1241.07
Tramo 31	Av. Domingo Mandamiento entre la Panamericana Norte y Prolg. Santa Rosa lado derecho	PVC	160 mm (6")	1143.37
Tramo 32	Antonio Raymondi entre Av. Domingo Mandamiento y Av. Mateo Pumacahua	PVC	160 mm (6")	514.20
Tramo 33	Av. Mateo Pumacahua entre Av. Antonio Raymondi y Av. Domingo Mandamiento	PVC	160 mm (6")	241.72
Tramo 34	Panamericana Norte entre Av. San Martin y Av. Hipólito Unanue lado izquierdo	Asbesto Cemento	160 mm (6")	394.52
Tramo 35	Panamericana Norte entre Av. San Martin y Av. Hipólito Unanue lado derecho	Asbesto Cemento	160 mm (6")	390.60
Tramo 36	Av. San Martin de Porres entre la Panamericana Norte y el Pozo 8 lado 1	PVC	160 mm (6")	288.39
Tramo 37	Av. San Martin de Porres entre la Panamericana Norte y el Pozo 8 lado 2	PVC	160 mm (6")	236.92
Tramo 38	Av. San Martin de Porres entre el Pozo 8 y la Av. Juan José Crespo lado 1	PVC	160 mm (6")	595.21
Tramo 39	Av. San Martin de Porres entre el Pozo 8 y la Av. Juan José Crespo lado 2	PVC	160 mm (6")	633.36
Tramo 40	Av. Juan José Crespo entre Av. San Martin de Porres y el Pozo 11 lado izquierdo	PVC	160 mm (6")	162.06
Tramo 41	Av. Juan José Crespo entre Av. San Martin de Porres y el Pozo 11 lado derecho	PVC	160 mm (6")	169.88
Tramo 42	Av. Mateo Pumacahua entre Av. San Martin de Porres y Av. Hipólito Unanue	PVC	160 mm (6")	271.30
Tramo 43	Ca. Mariano Melgar entre Av. San Martin de Porres y Av. Hipólito Unanue	PVC	160 mm (6")	313.59
Tramo 44	Av. Hipólito Unanue entre Ca. Mariano Melgar y Av. Cincuentenario	PVC	160 mm (6")	826.38
Tramo 45	Ca. José Santos Chocano	PVC	160 mm (6")	129.78
Tramo 46	Ca. César Vallejo entre Av. Hipólito Unanue y Ca. Ramón Castilla	PVC	160 mm (6")	139.73
Tramo 47	Ca. Ramón Castilla entre Ca. César Vallejo y Ca. Gonzales Prada	PVC	160 mm (6")	308.63
Tramo 48	Ca. Gonzales Prada	PVC	160 mm (6")	125.73
Tramo 49	Av. Pedro P. Herrera entre Ca. Gonzales Prada y Ca. J. B. Rosadio	PVC	160 mm (6")	365.34
Tramo 50	Av. Cincuentenario entre Av. Hipólito Unanue y Ca. Francisco de Zela	PVC	160 mm (6")	108.88
Tramo 51	Ca. Francisco de Zela entre Av. Cincuentenario y Av. Hualmay	PVC	160 mm (6")	277.64
Tramo 52	Av. Hualmay entre Ca. Francisco de Zela y Av. Cincuentenario	PVC	160 mm (6")	217.54
Tramo 53	Jr. San Isidro desde Av. Hualmay	PVC	160 mm (6")	386.65
Tramo 54	Jr. G. de la Vega desde Av. Hualmay	PVC	160 mm (6")	382.02
Tramo 55	Av. Cincuentenario entre Av. E. Pichilingue y Prolg. Santa Rosa lado izquierdo	PVC	200 mm (8")	944.09
Tramo 56	Av. Cincuentenario desde Prolg. Santa Rosa lado derecho	PVC	200 mm (8")	82.33