



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

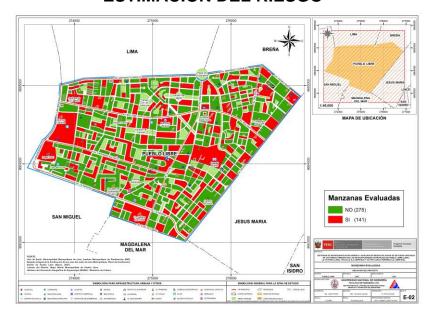


CONVENIO DE COLABORACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA PARA LA ELABORACIÓN DE LOS ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN ZONAS DE ESTUDIOS UBICADAS EN LAS AREÁS URBANAS DE LAS MUNICIPALIDADES DISTRITALES DE PUEBLO LIBRE (LIMA), LA VICTORIA (LIMA), TRUJILLO (LA LIBERTAD) Y VICTOR LARCO HERRERA (LA LIBERTAD)

#### **PRODUCTO 05**

ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN LA ZONA DE ESTUDIO UBICADA EN EL DISTRITO DE PUEBLO LIBRE

TOMO III ESTIMACIÓN DEL RIESGO





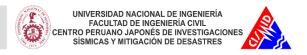


# PRODUCTO 05 - TOMO III ESTIMACIÓN DEL RIESGO

### **ÍNDICE**

ÍNDICE		1
LISTA D	DE FIGURAS	3
LISTA T	ABLAS	7
1. ANT	ECEDENTES	8
2. INT	RODUCCIÓN	8
3. MIC	ROZONIFICACIÓN SÍSMICA	10
3.1. Ma	apa de Microzonificación Sísmica	10
3.1. Ma	apa de Zonas de Aceleraciones	11
3.2. Ma	apa de Zonas de Velocidades	11
4. MAF	PAS DE VULNERABILIDAD	13
4.1. Ex	ploración de Campo de Tipo Muestral	13
4.1.1.	Preparación de Actividades, Coordinación y Personal	13
4.1.2.	Metodología de toma de datos	13
4.1.3.	Plantilla para la encuesta	13
4.1.4.	Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo	15
4.1.5.	Procedimiento y control de calidad de datos de campo	16
4.1.6.	Georeferenciación y Compatibilización de Planos	17
4.1.7.	Sistematización de la Información	17
4.1.8.	Ubicación de las manzanas a evaluar	18

4.2.	Info	rme de campo2	20
4.2	2.1.	Edificaciones 2	20
4.2	2.2.	Edificaciones esenciales	22
4.3.	Base	e de datos geo-espacial3	}5
4.3	3.1.	Mapa de Uso de Suelo	38
4.3	3.2.	Mapa de Materiales Predominantes	39
4.3	3.3.	Mapa de Alturas de Edificación	10
4.3	3.4.	Mapa de Tipologías Estructurales	11
4.3	3.5.	Mapa de Estado de Conservación	12
4.3	3.6.	Mapa de Vulnerabilidad	13
5.	MAPA	AS DE RIESGO 4	9
5.1.	Elab	ooración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico	19
5.2.	Мар	a de riesgo de las edificaciones evaluadas para un escenario sísmico5	50
5.3.	Con	clusiones de evaluación del riesgo sísmico para un escenario de sismo severo 5	52
		IDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE	
6.1.	Мар	a de tipo de tubería de agua5	59
6.2.	Мар	a de roturas para un escenario sísmico6	30
6.3.	Con	clusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua 6	<b>31</b>
7.	REFE	RENCIAS 6	3



#### **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1. Formato de ayuda para codificación del lote	14
Figura 2. Formato de evaluación para la edificación representativa de la manzana	15
Figura 3. Sectores de evaluación del distrito de Pueblo Libre	16
Figura 4. Manzanas totales (413) versus manzanas seleccionadas (141)	19
Figura 5. Hospital Santa Rosa	20
Figura 6. Universidad San Martin de Porres	20
Figura 7: Edificación multifamiliares con 20 pisos	21
Figura 8. Vivienda de albañilería confinada de 2 niveles	21
Figura 9. Municipalidad de Pueblo Libre	21
Figura 10. Museo Nacional de Arqueología, Antropología e Historia del Perú	21
Figura 11. Vivienda de albañilería confinada de 2 niveles en topografía plana	22
Figura 12. Edificaciones multifamiliares con 20 pisos en topografía plana	22
Figura 13: Universidad Antonio Ruiz de Montoya	23
Figura 14: Universidad de San Martin de Porres	23
Figura 15: Grifo Primax	23
Figura 16: Colegio Cristo Rey	23
Figura 17. I.E. N°58 Nido Arco Iris	24
Figura 18. Nido Mi Mundo de Colores	24
Figura 19. Colegio la Unión	24
Figura 20. Jardín Decroly	24
Figura 21. Universidad Inca Garcilaso de la Vega. (Av. Bolívar)	25
Figura 22. Universidad Inca Garcilaso de la Vega (Calle Alameda El Alba)	25
Figura 23. Nido Quoquitos	25
Figura 24. Parroquia Nuestra Señora de la Caridad	25
Figura 25. Los Honguitos	26
Figura 26. I.E.P. Santa María Mazzarello	26
Figura 27. CEP Pardo School	26
Figura 28. I.E.0013 "Bernardo O'Higgins"	26

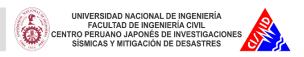
Figura 29. Instituto Naciones Unidas	27
Figura 30.Nido The Childrens Palace	27
Figura 31. Iglesia	27
Figura 32. Nido Lápiz y Colores	27
Figura 33: Grifo Primax	28
Figura 34: Centro de Salud Mental Comunitario de Pueblo Libre "Honorio Delgado"	28
Figura 35: Universidad Antonio Ruiz de Montoya	28
Figura 36: Clínica Centenario Peruano Japonés	28
Figura 37: Colegio El Carmelo	29
Figura 38: I.E. Elvida Garcia y Garcia	29
Figura 39: CAM Pueblo Libre	29
Figura 40: ACJ Asociación Cristiana de Jóvenes	29
Figura 41: Escuela Nacional de Archivistas	30
Figura 42: Nido Coloreando	30
Figura 43: I.E.I N°012 APA Augusto Perez Aranibar	30
Figura 44: UGEL 03 I.E. N°1073 Hermann Buse de la Guerra	30
Figura 45: Colegio de Jesús	31
Figura 46: Iglesia Evangélica Metodista	31
Figura 47: Seminario de Santo Toribio	31
Figura 48: Grifo Primax	31
Figura 49: Grifo Primax	32
Figura 50: Parroquia Santa María Magdalena	32
Figura 51: Asociación Peruana de Mujeres Evangelicas	32
Figura 52: Parroquia	32
Figura 53: Municipalidad de Pueblo Libre	33
Figura 54: Museo Nacional de Arqueología, Antropología e Historia del Perú	33
Figura 55: Colegio Santa María de Breña	33
Figura 56: Hospital Santa Rosa	33
Figura 57: Clínica Stella Maris	34





Figura 58:	Centro Cultura Británico	34
Figura 59.	Base de datos de los lotes representativos por manzana	35
•	Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva	
Figura 61.	Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Pueblo Libre	38
•	Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Pueblo Libre	
•	Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito Pueblo	39
•	Mapa de Distribución de los materiales de construcción predomínate del distrito Libre	
•	Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Pueblo Libro	
-	Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del distrito de Pueblo	<del>1</del> 0
Figura 67.	Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Pueblo Libre	41
Figura 68.	Mapa del uso del sistema estructural muestra del distrito de Pueblo Libre	41
•	Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Pueblo	42
•	Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de re	<del>1</del> 2
Figura 71.	Edificación representada por un sistema equivalente	14
Figura 72.	Mapa de vulnerabilidad del Distrito de Pueblo Libre	<del>1</del> 8
Figura 73.	Proceso de generación del mapa de riesgo	50
Figura 74.	Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas	51
Figura 75.	Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)	52
Figura 76.	Roturas por Km en tubos CIP y PVC.	56
Figura 77.	Roturas por Km en tubos de acero dúctil	56
Figura 78.	Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC.	57
Figura 79.	Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil	58
Figura 80.	Mapa de Tipos de Tubería en el distrito de Pueblo Libre	59
Figura 81.	Roturas por criterio de Yamazaki (2008)	30

Figura 82. Roturas por criterio de Isoyama (2000)......61



#### **LISTA TABLAS**

Tabla 1. Aceleraciones máximas probables según zonas	11
Tabla 2. Descripción de los campos de la base de datos	36
Tabla 3. Resultados del daño en el distrito de Pueblo Libre para un escenario de sismo severo	
Tabla 4. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales	53
Tabla 5. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el dist de Pueblo Libre	
Tabla 6. Tipo de tuberías de agua en el distrito de Pueblo Libre	59

## Producto 05 - Tomo III: Estimación del Riesgo

#### 1. ANTECEDENTES

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) de conformidad con la Ley Nº 30156, tiene entre sus competencias el desarrollar, contribuir, coordinar y ejecutar acciones para el proceso de gestión del riesgo de desastres, en el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). Asimismo, en concordancia con lo dispuesto en la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, ejerce competencias compartidas con los Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento. El Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID, fundado por la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, es una institución de sólido prestigio internacional, cuya misión es la difusión de conocimientos en prevención y mitigación de desastres a través de la investigación y aplicación de tecnologías propias para contribuir al desarrollo sostenible y prosperidad de los pueblos del país. Ambas instituciones unen esfuerzos a fin de lograr el conocimiento de los Estudios de Microzonificación Sísmica y Análisis de Riesgo en zonas de estudios ubicadas en las áreas urbanas de las municipalidades distritales de Pueblo Libre (Lima), La Victoria (Lima), Trujillo (Libertad) y Víctor Larco Herrera (La Libertad). Por este motivo, el MVCS y la UNI, firman el convenio específico para la ejecución de los estudios en fecha 07 de agosto de 2018.

El presente informe que constituye el Producto 5 del convenio específico en referencia, presenta el estudio de Microzonificación Sísmica y Análisis de Riesgo en zonas ubicadas en el distrito de Pueblo Libre.

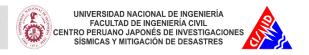
#### 2. INTRODUCCIÓN

El distrito de Pueblo Libre es uno de los 43 distritos que conforman la provincia de Lima, ubicada en el departamento Lima - Perú. Está situado al suroeste del centro histórico. Limita al norte con el distrito de Lima y distrito de Breña, al este con el distrito de Jesús María, al oeste con el distrito de San Miguel y al sur con el distrito de Magdalena del Mar y tiene una superficie de 4.38 km².

Comprende el sitio de la antigua reducción de la Magdalena Vieja, pueblo que recibió luego el apelativo de Pueblo de los Libres por José de San Martín debido a la trayectoria e historia detrás del significado del nombre.

#### Acerca de la Historia del distrito de Pueblo Libre

Magdalena Vieja (como se llamaba antes Pueblo Libre) se llamó inicialmente Santa María Magdalena de Chacalea que es el nombre de la Doctrina de la Orden Franciscana, que construyó una iglesia en terreno donado por el Cacique Gonzalo Taulichusco, hijo de



Taulichusco El Viejo, según la Confirmación Real del Sitio, de la Casa, Monasterio y Huerta de la Magdalena, suscrita el 14 de agosto de 1557 por el Cacique Gonzalo Taulichusco y el padre Fray Joan de Aguilera, Comisario General de la Orden Franciscana en el Perú, en el acto estuvo presente el Virrey Andrés Hurtado de Mendoza, Marqués de Cañete. La construcción de la iglesia comenzó al menos en 1549, y el cacique de Lima Don Gonzalo y el de Huarochirí Don Antonio fueron designados oficialmente por la Real Audiencia de Lima en 1551 para que constituyan una Reducción de indios, lo que concretaron a medias. El visitador Alonso Manuel de Anaya completó la traza de la Reducción, integrando a estos indios provenientes de Huadca, Hualá, Amancaes, Maranga y Lima.

El 8 de julio de 1821, el libertador José de San Martín la bautiza como Pueblo Libre en reconocimiento al patriotismo de sus moradores. Un decreto supremo del 10 de abril de 1822, ordenado por el general José Bernardo de Tagle y Portocarrero, hace cumplir la voluntad del libertador.

En tiempos de la Constitución liberal de 1856, una ley del 2 de enero de 1859 da existencia legal al distrito como Magdalena Vieja, siendo su primer alcalde Pedro del Solar el año de 1873.

En 1881, Pueblo Libre fue sede del Gobierno Provisorio del presidente Francisco García Calderón, durante la Guerra del Pacífico, recordándosele como "Héroe Civil", "Presidente Mártir" y "Presidente cautivo", por enfrentar las fuerzas invasores al mando del general Patricio Lynch y sufrir prisión en Santiago de Chile. Sin embargo, hasta que no ocurriera este apresamiento el General Andrés Avelino Cáceres no lo reconoce como Presidente, incluso lo tilda desdeñosamente como "magdaleno" lo que significaba para Cáceres y su gente como sinónimo de chilenófilo.

No obstante, desde esa fecha, el arraigado patriotismo de Pueblo Libre lleva con orgullo en su memoria el ejemplo de diez vecinos que resistieron a la fuerza invasora al lado del Doctor Francisco García Calderón. Sus nombres de héroes figuran en el libro de defunciones de la Iglesia Santa María Magdalena.

Por mandato de la Ley 4101 del 10 de mayo de 1920, San Miguel y Magdalena del Mar se independizan de la Magdalena Vieja. El 5 de septiembre de 1940, durante el gobierno de Manuel Prado y Ugarteche, por la Ley 9162, La Magdalena Vieja volvió a llamarse Pueblo Libre.

#### 3. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

#### 3.1. Mapa de Microzonificación Sísmica

La microzonificación sísmica es un estudio dirigido a identificar zonas de suelos que puedan presentar comportamiento similar durante la ocurrencia de un sismo severo; determinadas las zonas pueden darse recomendaciones precisas para el diseño y construcción de edificaciones sismo resistentes. La determinación de estas zonas se realiza teniendo en cuenta las condiciones topográficas, los depósitos geológicos y los materiales que conforman los suelos (tipos, espesores y consistencia de los suelos expresados mediante sus características mecánicas y dinámicas). La Norma Peruana de Diseño Sismorresistente E.030 define lo que es el estudio de Microzonificación Sísmica e indica que será requisito la ejecución de este estudio para la determinación de áreas de expansión de ciudades, construcción de complejos industriales o similares y reconstrucción de áreas urbanas destruidas por sismos y fenómenos asociados. Por lo tanto el Mapa de Microzonificación Sísmica es una herramienta muy útil para los planificadores urbanos ya que les proporcionará información técnica que les permitirá tomar decisiones para orientar el crecimiento y desarrollo urbano de manera sostenible en una ciudad, disminuyendo su riesgo ante la ocurrencia de un sismo severo.

Las características mecánicas y dinámicas del suelo del distrito de Pueblo Libre han sido determinadas en el presente estudio y son representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica y de Isoperiodos (Mapa II-3 y Mapa II-4 del Tomo II respectivamente). Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo obtener el Mapa de Microzonificación Sísmica (Mapa III-1 del presente Tomo III) identificándose áreas con diferente comportamiento del suelo frente a la ocurrencia de un sismo severo. A continuación se describen estas zonas:

#### Zona I

Está conformado por depósitos de gravas de compacidad media a densa; estos se encuentran cubiertos por rellenos y/o estratos superficiales limosos y/o arcillosos de poco espesor. El tipo de suelo de cimentación descrito en esta zona presenta buenas características geotécnicas para la cimentación de edificaciones convencionales.

Se estima del presente estudio, que la capacidad de carga admisible en esta zona se encuentra de 2.0 kg/cm² a 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre la grava. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos y si fuera el caso este deberá ser removido en su totalidad. Esta Zona I abarca toda el área de estudio.

En esta zona no se espera un incremento del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los valores de períodos de oscilación lateral del suelo son menores a 0.30 s

Es importante indicar que en este distrito los estudios realizados no han identificado ni han encontrado materiales correspondientes a suelos de zonas Tipo II, Tipo IV y Tipo V.

#### 3.1. Mapa de Zonas de Aceleraciones

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar la zona identificada de manera cuantitativa estimando el valor de la aceleración horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración horizontal máxima de diseño PGA (Peak Ground Acceleration) del estudio de peligro sísmico para el distrito de La Victoria (ver ítem 6.5, Tomo II) que corresponde para un suelo "Tipo C" (IBC) con un valor de 467.69 cm/s2; el valor de aceleración horizontal máxima proyectado para el suelo de la Zona I mostrado en el mapa de Microzonificación Sísmica III-1 se obtienen multiplicando el factor del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2018) por la aceleración máxima PGA de 467.69 cm/s² de la siguiente tabla:

Tabla 1. Aceleraciones máximas probables según zonas.

Zona	Factor	Aceleración máxima
I	1.00	467.69 cm/s <sup>2</sup>

Los valores obtenidos son mostrados en el mapa III-2 del presente Tomo III.

#### 3.2. Mapa de Zonas de Velocidades

Es necesario determinar los valores de velocidad máxima del suelo que pueden presentarse en la zona de estudio con la finalidad de estimar el riesgo al que se encuentra expuesto el sistema de tuberías de la red de saneamiento.

Para la elaboración del mapa de velocidades horizontales máximas se utiliza la relación matemática presentada en el artículo técnico titulado "Correlación entre la aceleración y velocidad máxima del suelo: Aplicación en el análisis del peligro sísmico", (Miguel A. Jaimes, Eduardo Reinoso, Mario Ordaz y Cesar Arredondo, 2009), publicado en la Revista de Ingeniería Sísmica No. 81, pág. 19-35 (2009), editada por la Sociedad Mexicana de Ingeniería Sísmica (SMIS). La relación es la siguiente:

$$ln(V_{max}) = -1.8349 + 1.1146 \cdot ln(A_{max}) + 0.4043 \cdot ln(T_s)$$
 Ec. 1

Donde la velocidad horizontal máxima esperada del suelo ( $V_{max}$ ) se expresa en función de la aceleración horizontal máxima esperada del suelo ( $A_{max}$ ) y del periodo de oscilación del suelo ( $T_s$ ) para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades

horizontales máximas del suelo para el distrito de Pueblo Libre, se deberá utilizar como datos de entrada la aceleración horizontal máxima del suelo y el periodo de oscilación del suelo estimados anteriormente y representados en el mapa III-2 del presente informe y el mapa II-4 del tomo II, respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Pueblo Libre se muestran en el mapa III-3 del presente Tomo III.



#### 4. MAPAS DE VULNERABILIDAD

#### 4.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral

#### 4.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal

Para el desarrollo de las actividades del levantamiento de datos de campo, se inició el trabajo con la selección de los ingenieros coordinadores, se organizaron grupos de trabajo asignando tres personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo. El personal seleccionado fue formado por un grupo de jóvenes ingenieros, estudiantes de postgrado y estudiantes del último año de ingeniería que laboran como asistentes de investigación o realizan su tesis de antegrado o post grado en nuestro Centro. Este personal recibió un entrenamiento basado en el procedimiento de evaluación. Este procedimiento ha sido diseñado para poder representar de la mejor manera las tipologías constructivas de nuestro país, resaltando el sistema estructural, los materiales utilizados y en general las condiciones físicas de la edificación.

#### 4.1.2. Metodología de toma de datos

Este procedimiento se basa en la toma de información en edificaciones de adobe, albañilería, quincha y concreto armando. La metodología consiste en una inspección visual rápida de las edificaciones identificando las debilidades aparentes en las edificaciones de una manzana. De acuerdo al porcentaje de lotes visualmente evaluados, se determina el lote representativo de la manzana del cual se toma el detalle de su información a través de una ficha de inspección estructural. El lote representativo es aquel que presenta de la mejor manera las características promedio de los lotes de la manzana evaluada.

#### 4.1.3. Plantilla para la encuesta

Para la valoración en campo de las características de las edificaciones se utiliza una ficha de evaluación elaborada por nuestra institución para la evaluación rápida de estructuras, la cual se presenta en la Figura 1 y Figura 2. La Ficha está dividida en cinco áreas:

- Número de pisos
- Material
- o Usos
- Sistema Estructural
- Conservación

Esta información es complementada con la toma de fotografía del lote representativo de la manzana, donde se pueda identificar la estructura de la edificación. Posteriormente esta

fotografía se codifica para que coincida con el identificador del lote y de esta manera poder almacenar la fotografía en la base de datos geoespacial.

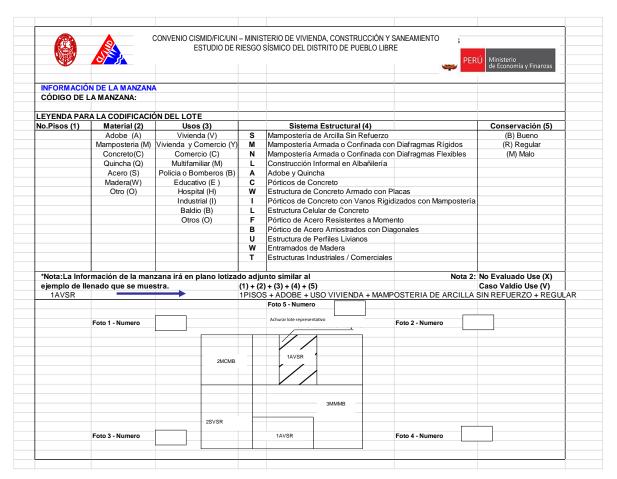


Figura 1. Formato de ayuda para codificación del lote

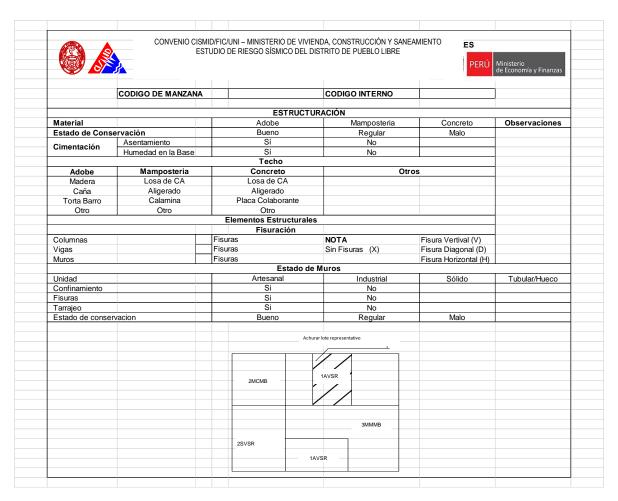


Figura 2. Formato de evaluación para la edificación representativa de la manzana

#### 4.1.4. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo

- a) Preparación de planos para la toma de datos: Basado en la información de planos georreferenciados del INEI del censo de vivienda del año 2007, se imprimieron los planos para la elaboración de los trabajos de campo en las zonas de estudio. Para facilitar el trabajo de los grupos evaluadores, el área a evaluar se dividió en 4 sectores, tal como se muestra en el mapa No. E-01.
- b) Para determinación de los límites del área a evaluar, se coordinó con funcionarios del Ministerio de Vivienda, de manera que se evaluara la totalidad del área urbana, con los diferentes niveles de ocupación y consolidación urbana. Adicionalmente, se prepararon mapas sobrepuestos en imágenes de Google Earth para la determinación exacta de estas áreas.
- c) Distribución de coordinadores responsables de los equipos de evaluadores: Con los cuatro equipos de dos evaluadores cada uno se realizaron salidas periódicas de campo por un espacio de cuatro semanas. Los coordinadores de grupo, sectorizaron el distrito, para que cada grupo de tres personas trabajase en zonas involucradas reportando la información

levantada a los coordinadores, quienes, con sus asistentes, transfirieron la información generada en las fichas a una base de datos utilizando una hoja de cálculo con campos similares al de la ficha. Posteriormente toda esta información es codificada y llevada a una base de datos en una plataforma de sistema de información geográfica (SIG) para su georreferenciación espacial.

La sectorización del distrito se muestra en la Figura 3, en donde son identificados los 2 sectores en que se dividió el distrito de Pueblo Libre.

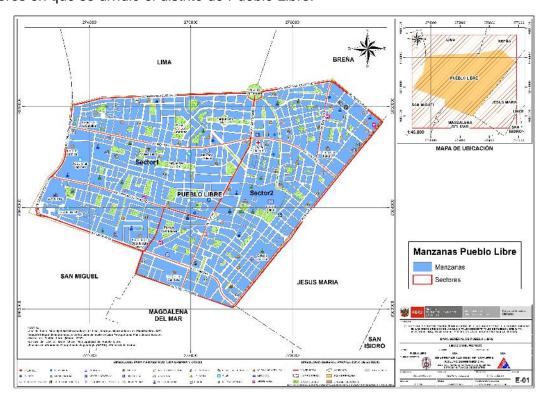


Figura 3. Sectores de evaluación del distrito de Pueblo Libre

#### 4.1.5. Procedimiento y control de calidad de datos de campo

 a) Digitalización de datos de campo en una plataforma de sistemas de información geográfica.

La información recabada en campo fue vertida en una base de datos en formato SHAPE, la cual fue procesada por el programa ArcGIS. La digitalización fue desarrollada por cuatro asistentes y un supervisor, quienes procesaron la información de campo.

#### b) Clasificación de datos

Se clasificó la base de datos según las características físicas de los predios levantados como: material predominante, número de pisos, uso y estado de conservación.

#### c) Verificación de los datos recogidos

Se llevaron a cabo dos niveles de control de calidad:

c1 - Un control de calidad en campo:

Donde los coordinadores realizaron visitas de campo para verificar la información recolectada por los diferentes equipos tomándose al azar manzanas y lotes que fueron verificadas en el campo. Se realizó el control de calidad durante la campaña de levantamiento de datos por 4 profesionales.

c2 – Un control de calidad en gabinete:

El método de verificación usado fue mediante la comparación de los formatos llenados en campo con las fotografías digitales tomadas en el lugar, la verificación se hace comparando la foto con los atributos de los lotes, por ejemplo observando el número de pisos en la foto y comparándolo con el valor almacenado en la base de datos.

#### 4.1.6. Georeferenciación y Compatibilización de Planos

a) Definición del sistema de georeferenciación.

Según normatividad actual, todos los planos producidos deben estar georefenciados usando la proyección del sistema de coordenadas planas UTM, teniendo como base el DATUM WGS84.

b) Compatibilización de planos provenientes de diferentes fuentes sobre la misma base cartográfica.

Los planos que estuvieron en otro sistema de coordenadas fueron convertidos al sistema en mención mediante los parámetros por defecto que otorga el programa ArcGIS.

#### 4.1.7. Sistematización de la Información

Para el procesamiento de la información se creó una base de datos geoespacial donde se integrarían no solo los datos cartográficos, como los límites de las manzanas, sino también los datos descriptivos de cada una de ellas. Los datos con los sectores, las manzanas y los lotes dentro los límites distritales son implementados al sistema SIG.

La evaluación de las edificaciones, si bien es cierto que se identificó una evaluación genérica a nivel de lote, la presentación de los resultados se basa en la identificación del lote representativo de la manzana. Para realizar la evaluación y trabajo de campo se seleccionó una muestra estadística distribuida espacialmente entre todas las manzanas del distrito. Para la selección de manzanas se definió que por lo menos el 32.6% del total de manzanas debe ser evaluado.

#### 4.1.8. Ubicación de las manzanas a evaluar

Para la selección de la ubicación de las manzanas a evaluar se utilizó una función estadística de distribución continua. La distribución que se utilizó fue la distribución uniforme. En estadística la distribución uniforme es una distribución de probabilidad cuyos valores tienen la misma probabilidad. Se define la función de probabilidad uniforme como:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & para \ x \ a \le x \le b \\ 0 & para \ el \ resto \end{cases}$$
 Ec. 2

Donde, a y b son los límites geográficos para el distrito de Pueblo Libre, y x toma los valores para las coordenadas norte y este. Esta función tiene como característica que su media es (a + b)/2.

Es decir, si bien la ubicación de la distribución sigue un valor aleatorio tanto para las coordenadas norte como este, en un sistema de referencia UTM, esta ubicación tiene límites de borde, los cuales son los límites del distrito que son respetados al momento de generar las coordenadas de las selecciones de las manzanas. Es así que se generaron número aleatorios que siguen una distribución uniforme. En la Figura 4 se presenta el total de las 413 manzanas del área estudiada del distrito, en color rojo las evaluadas y en color verde las no evaluadas. Se presentan las 139 manzanas evaluadas en color rojo y las no evaluadas en color verde. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 34%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle las manzanas que fueron evaluadas.

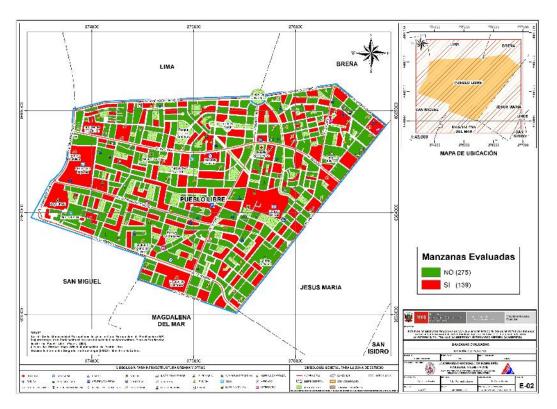


Figura 4. Manzanas totales (413) versus manzanas seleccionadas (141)

En el presente trabajo se optó por considerar un nivel de confianza del 96.1% bajo el supuesto que exista un error del orden del 1.10% en la desviación estándar, dando como resultado que el tamaño de la muestra es del 32.6% de población total de las manzanas. Esto produce un tamaño muestral calculado en función del tamaño de la población (N), el error en la desviación estándar ( $\alpha$ ) y el número de unidades de desviación estándar para alcanzar el nivel de confianza deseado (z).

$$n = \frac{0.25N}{\left(\frac{\alpha}{Z}\right)^2 (N-1) + 0.25}$$
 Ec. 3

Esto produce un tamaño muestral mínimo de 134 manzanas. En el presente estudio se mejoró este valor al considerar una muestra de 139 manzanas, bajo la premisa, con este mayor número de manzanas se cubre mayor área y por lo tanto el análisis tiene una mayor consistencia.



#### 4.2. Informe de campo

#### 4.2.1. Edificaciones

Las edificaciones de vivienda representan la mayor parte del distrito de Pueblo Libre. Existen edificaciones de varios materiales, combinaciones de material, entre otros. De acuerdo a la sectorización presentada en ítems anteriores se describe a continuación las edificaciones que se consideran como representativas y las características encontradas en cada sector:

#### **SECTOR 01**

El Sector 01 limita por el norte con el distrito del Cercado de Lima, por el este con la Av. Antonio José de Sucre, que también hace límite con el Sector 02, por el sur y oeste con el distrito de San Miguel. En este sector se encuentran algunas clínicas privadas, hospital, varios bancos, tiendas importantes, universidades, colegios nacionales y privados, nidos, clubes y museos. (Ver Figura 5 y Figura 6) Se han visto en este sector varias calles cerradas con rejas los cuales dificultaron el trabajo de levantamiento de información.



Figura 5. Hospital Santa Rosa



Figura 6. Universidad San Martin de Porres

En este sector se tomaron en cuenta 70 manzanas evaluadas, donde la tipología predominante son viviendas unifamiliares de 2 pisos, con un sistema estructural de albañilería confinada y losa aligerada, pero también se han observado edificaciones multifamiliares de hasta 20 pisos, como se muestra en la Figura 7. En este sector es encuentran residencias, viviendas-comercio y comercios. Los ladrillos observados fueron artesanales sólidos e industriales tubulares. En su mayoría presentan techo aligerado, muros con confinamiento y tarrajeo. (Figura 8). En general las viviendas no presentan problemas de humedad en los muros y se encuentra en buen estado de conservación. La topografía en su mayoría es plana, pero presenta un relieve ligeramente inclinado en algunas calles.



Figura 7: Edificación multifamiliares con 20 pisos



Figura 8. Vivienda de albañilería confinada de 2 niveles

#### **SECTOR 02**

El Sector 02 limita por el norte con el distrito de Breña, por el este con el distrito de Jesús María, sur con el distrito de Magdalena del Mar.

Entre las principales edificaciones encontradas en el sector 02 se encuentran la Municipalidad de Pueblo Libre, el Museo Nacional de Arqueología, Antropología e Historia del Perú, y el Cuartel Bolívar-Independencia ( ver Figura 9 y Figura 10).



Figura 9. Municipalidad de Pueblo Libre



Figura 10. Museo Nacional de Arqueología, Antropología e Historia del Perú

En este sector se evaluaron 69 manzanas, en su mayoría las viviendas son de 2 y 3 pisos con sistema estructural de albañilería confinada, sin presencia de humedad en la base de los muros, como se puede observar en la Figura 11. Los ladrillos observados fueron artesanales sólidos e industriales tubulares. En su mayoría presentan techo aligerado, muros con confinamiento y tarrajeo. Así mismo se han observado algunas edificaciones de adobe en este sector. También se han observado edificaciones multifamiliares de hasta 20 pisos como se muestra en la Figura 12. Respecto a la topografía del terreno se observó que en el sector presenta en su mayoría terreno plano.



Figura 11. Vivienda de albañilería confinada de 2 niveles en topografía plana



Figura 12. Edificaciones multifamiliares con 20 pisos en topografía plana

#### 4.2.2. Edificaciones esenciales

Para la evaluación de las edificaciones esenciales se consideró la edificación típica que formaba parte del complejo sea Colegio, Hospital, posta médica, comisaría, etc., los que podrían ser utilizados como refugio temporal de las personas damnificadas si la autoridad lo cree conveniente, de manera que fue tratada como una edificación sobre la cual deseamos conocer aproximadamente su respuesta sísmica. Bajo esta premisa, se encontró su demanda para las condiciones del estudio, de acuerdo a la demanda dada en el estudio de microzonificación geotécnica sísmica del distrito. A continuación, se presentan las edificaciones esenciales que se encuentran dentro de la muestra estudiada en los sectores del distrito:

#### Sector 01

En el sector 01 se encuentra la Universidad Antonio Ruiz de Montoya, que está ubicada en la Av. Paseo de los Andes N°970. Consta de edificaciones de 3 pisos de albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se observa en la Figura 13. La Universidad de San Martin de Porres, está ubicada en la manzana 124, en la Av. Bolívar N°937, presenta 5 pisos, es una estructura de pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería, losa aligerada, en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 14.





Figura 13: Universidad Antonio Ruiz de Montoya

Figura 14: Universidad de San Martin de

El grifo Primax ubicado en la manzana 103, en la Av. Bolívar, está construido con un sistema estructural de pórticos de acero de perfiles livianos en base a 2 columnas y una plataforma en voladizo. Así mismo presenta una edificación de 2 pisos de albañilería confinada. Las estructuras presentan buen estado de conservación como se observa en la Figura 15. Con respecto a instituciones educativas, se observó el Colegio Cristo Rey, está ubicado en la manzana 122, en la Calle Abraham Lincoln N°235, es una edificación de 2 pisos, presenta pórticos de concreto armado rigidizados con mampostería, losa aligerada, en buen estado de conservación. Ver Figura 16.





Figura 15: Grifo Primax

Figura 16: Colegio Cristo Rey

La I.E.I. N°58, Arco Iris se encuentra en la manzana 48, en el Pasaje Velarde N°101. Es una edificación de 2 pisos de albañilería confinada y techo de losa aligerada, se encuentra en buen estado de conservación, como se aprecia en la Figura 17. En la Figura 18 se observa el Nido Mi Mundo de Colores, se encuentra en la manzana 402, en el Jr. Marcos Palomino N°198, es una edificación de 3 pisos, de albañilería confinada y techo de losa aligerada, en el último piso presenta cobertura ligera, presenta un buen estado de conservación.







Figura 18. Nido Mi Mundo de Colores

Otra institución educativa es el Colegio La Unión, está ubicado en la Av. Manuel Cipriano Dulanto N°1950. Es una edificación de 3 piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería, losa aligerada, en buen estado de conservación, ver Figura 19.

La institución educativa Jardín Decroly, está ubicada en la manzana 17, en el Jr. Valencia N° 410, es una edificación de 3 piso con mampostería confinada, techo de losa aligerada y en el último techo se ha observado cobertura ligera, se encuentra en buen estado de conservación, ver Figura 20.



Figura 19. Colegio la Unión



Figura 20. Jardín Decroly

La Universidad Inca Garcilaso de la Vega está ubicada en la manzana 69, tiene 2 ingresos. Por la Av. Bolívar N°165 y por la Jr. Alameda El Alba. Las edificaciones presentan pórticos y placas de concreto armado y techo de losa aligerada, en buen estado de conservación, con ingreso por la Av. Bolívar presenta 8 pisos y con ingreso a al Jr. Alameda El Alba presenta 5 pisos, como se aprecia en la Figura 21 y en la Figura 22.



Figura 21. Universidad Inca Garcilaso de la Vega. (Av. Bolívar)



Figura 22. Universidad Inca Garcilaso de la Vega (Calle Alameda El Alba)

El Nido Quoquitos se encuentra en la manzana 151, se encuentra en la Av. Leguia Melendez N°1894, la edificación es de 2 pisos de albañilería confinada y losa aligerada, en buen estado de conservación, como se aprecia en la Figura 23.

En la Figura 24 se observa la Parroquia Nuestra Señora de la Caridad, se encuentra en la manzana 288, en el Jr. Juan Roberto Acevedo N°881, muestra un buen estado de conservación con una estructura de concreto armado rigidizado con muros de albañilería y losa aligerada, presenta 3 pisos.



Figura 23. Nido Quoquitos



Figura 24. Parroquia Nuestra Señora de la Caridad

El nido Los Honguitos está ubicado en la manzana 200, en la Calle Los Bambúes N°170; esta edificación de 3 pisos de albañilería confinada y techo de losa aligerada se encuentra en buen estado de conservación, como se aprecia en la Figura 25.

En la Figura 26 se observa el I.E.P. Santa María Mazzarello, está ubicado en la manzana 16, en el Jr. Valencia, que muestra un regular estado de conservación, presenta una estructura de albañilería confinada y losa aligerada de 3 niveles, ladrillo artesanal macizo.







Figura 26. I.E.P. Santa María Mazzarello

El CEP Pardo School se encuentra ubicado en la manzana 216, en la Calle Ciro Alegria N°436, edificación de 4 pisos con sistema estructural de pórticos de concreto rigidizados con muros de albañilería y techo aligerado, en buen estado de conservación como se observa en la Figura 27.

Se observó la I.E. 0013 Bernardo O'Higgins, se encuentra en la manzana 321, en la Calle San Marco N°380, edificación de 2 pisos de material de pórticos de concreto rigidizados con muros de albañilería y losa aligerada; en regular estado de conservación. Ver Figura 28.



Figura 27. CEP Pardo School



Figura 28. I.E.0013 "Bernardo O'Higgins"

El Instituto Naciones Unidas se encuentra ubicado en la manzana 288 en la Av. De la Marina N°1190, edificación de tres pisos con sistema estructural de pórticos de concreto armado rigidizados por muros de albañilería y techo aligerado, en regular estado de conservación como se observa en la Figura 29.

El Nido The Children's Palace está ubicada en la manzana 103, en la Calle Abraham Valdelomar N°524, es una edificación de 2 piso de albañilería confinada y losa aligerada en regular estado de conservación. Ver Figura 30.



Figura 29. Instituto Naciones Unidas



Figura 30. Nido The Childrens Palace

La Parroquia San Juan Apóstol se encuentra en la manzana 72, en el Jr. Aragón N°280, presenta 1 piso de albañilería confinada en buen estado de conservación, como se aprecia en la Figura 31.

En la Figura 32 se observa el Nido Lápiz y Colores, se ubica en la manzana 84, en el Jr. Sevilla N°530, que muestra un buen estado de conservación con una estructura de albañilería confinada y losa aligerada de dos niveles.



Figura 31. Iglesia



Figura 32. Nido Lápiz y Colores

#### Sector 02

Dentro del sector se encuentra el grifo Primax, en la Av. Bolivar. Está construido con un sistema estructural de pórticos de acero de perfiles livianos en base a 2 columnas y una plataforma en voladizo. Así mismo presenta una edificación de 1 piso de albañilería confinada, en buen estado de conservación (ver Figura 33). El Centro de Salud Mental Comunitario de Pueblo Libre "Honorio Delgado", está ubicado en la manzana 42, en el Jr. Julio Pasos N°394, consta de una edificación de 2 pisos en albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación en la Figura 34.



Figura 33: Grifo Primax

Figura 34: Centro de Salud Mental Comunitario de Pueblo Libre "Honorio Delgado"

La Universidad Antonio Ruiz de Montoya, está ubicada en la manzana 66, en la Av. Paso de Los Andes N°970, es de 3 pisos, de pórticos de concreto rigidizadas con muros de albañilería y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 35). La Clínica Centenario Peruano Japonés está ubicada en la manzana 123, en la Av. Paso de Los Andes N°675, es de pórticos de concreto y placas, como se puede apreciar en la Figura 36.



Figura 35: Universidad Antonio Ruiz de Montoya



Figura 36: Clínica Centenario Peruano Japonés

El C.E.P. El Carmelo, se ubica en la manzana 1192, en el Jr. Daniel Robles, consta de dos pisos, de pórticos de concreto rigidizados con muros de albañilería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se puede observar en la Figura 37.

La I.E. Elvira García y García se ubica en la manzana 28, en la Av. Del Rio N°155, presenta 2 pisos, con techo de losa aligerada, es de pórticos de concreto armado, rigidizados con muros de albañilería se encuentra en buen estado de conservación, como se puede apreciar en la Figura 38.





Figura 37: Colegio El Carmelo

Figura 38: I.E. Elvida Garcia y Garcia

El Centro del Adulto Mayor de Pueblo Libre se ubica en la manzana 50, en el Jr. Teruel N°195, consta de una edificación de 2 pisos de albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación como se observa en la Figura 39.

La Asociación Cristiana de Jóvenes del Perú YMCA es una edificación de pórticos de concreto rigidizados con muros de albañilería, como se puede apreciar en la Figura 40.





Figura 39: CAM Pueblo Libre

Figura 40: ACJ Asociación Cristiana de Jóvenes

La Escuela Nacional de Archivistas se ubica en la manzana 152, en la Calle Rodríguez de Mendoza, consta de 1 piso de albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 41).

El Nido Coloreando se encuentra en la manzana 205, en el Jr. Islas Canarias N°151, presenta 3 pisos, de albañilería confinada y losa aligerada en buen estado de conservación, como se puede apreciar en la Figura 42.



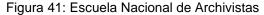




Figura 42: Nido Coloreando

La I.E.I N°012 APA Augusto Perez Aranibar se ubica en la manzana 205, consta de 2 pisos en albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 43). La UGEL 03, I.E. N°1073, Hermann Buse de la Guerra se encuentra en la manzana 272, en la Av. Gral. Manuel L. Vivanco, es una edificación de 2 pisos, son pórticos de concreto, rigidizados con muros de albañilería, con techo de losa aligerada como se puede apreciar en la Figura 44.



Figura 43: I.E.I N°012 APA Augusto Perez Aranibar



Figura 44: UGEL 03 I.E. N°1073 Hermann Buse de la Guerra

Dentro del sector se encuentra el Colegio de Jesús, en la manzana 346, en la Av. Brasil N°2470, consta de edificaciones de 2 pisos de pórticos de concreto rigidizados con muros de albañilería y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 45).

La Iglesia Evangélica Metodista se ubica en la manzana 382, en la Av. La Marina N°265, es una edificación de 2 pisos de pórticos de concreto armado rigidizados con muros de albañilería, como se puede apreciar en la Figura 46.







Figura 45: Colegio de Jesús

Figura 46: Iglesia Evangélica Metodista

Dentro del sector se encuentra el Seminario de Santo Toribio, se ubica en la manzana 365, en la Av. Sucre N°1200, es una edificación de 3 pisos, en albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 47).

Grifo Primax, está construido con un sistema estructural de pórticos de acero de perfiles livianos en base a 2 columnas y una plataforma en voladizo. Así mismo presenta una edificación de 2 pisos de albañilería confinada, en buen estado de conservación como se puede apreciar en la Figura 48.



Figura 47: Seminario de Santo Toribio



Figura 48: Grifo Primax

El grifo Primax se ubica en la manzana 352, en la Av. Sucre, está construido con un sistema estructural de pórticos de acero de perfiles livianos en base a 8 columnas y una plataforma en voladizo, en buen estado de conservación (ver Figura 49).

La Parroquia Santa María Magdalena es una edificación de un piso con techo cóncavo (parabólico) de quincha, con muros de adobe, en buen estado de conservación, como se puede apreciar en la Figura 50.





Figura 49: Grifo Primax

Figura 50: Parroquia Santa María Magdalena

En la manzana 320, en el Jr. Zoila Amoretti, se encuentra la Asociación Peruana de Mujeres Evangelicas "Hogar Betania", de 3 pisos en albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 51). El bloque principal es de un piso con techo cóncavo (parabólico) y corresponde a la nave de la parroquia. El segundo bloque de dos pisos corresponde a oficinas de la parroquia como se puede apreciar en la Figura 52.



Figura 51: Asociación Peruana de Mujeres Evangelicas



Figura 52: Parroquia

En este sector se encuentra la Municipalidad de Pueblo Libre, en la manzana 281, en la Av. General Manuel Vivanco N°859, consta de una construcción de 2 pisos, en albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 53). El Museo Nacional de Arqueología, Antropología e Historia del Perú es de un piso con paredes de adobe y techo de madera, se encuentra en buen estado de conservación, como se puede apreciar en la Figura 54.





Figura 53: Municipalidad de Pueblo Libre

Figura 54: Museo Nacional de Arqueología, Antropología e Historia del Perú

En este sector se encuentra el Colegio Santa María de Breña, en la manzana 56, en la Av. Brasil N°1090, consta de una construcción de 4 pisos, en pórtico de concreto armado con muros rigidizados con albañilería y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 55). El Hospital Santa Rosa, se ubica en la manzana 115, en la Av. Bolívar N°8, es una edificación con 6 pisos, con estructura de pórticos de concreto armado rigidizados con muros de albañilería, se encuentra en regular estado de conservación, como se puede apreciar en la Figura 56.





Figura 55: Colegio Santa María de Breña

Figura 56: Hospital Santa Rosa

La Clínica Stella Maris se ubica en la manzana 74, en la Av. Paseo de los Andes N°923, consta de una construcción de 3 pisos, en pórtico de concreto armado con muros rigidizados con albañilería y techo aligerado en buen estado de conservación (ver Figura 57). El Centro Cultura Británico, se ubica en la manzana 91, en la Av. Bolívar N°598, es una edificación con 5 pisos, con estructura apórticada, se encuentra en regular estado de conservación, como se puede apreciar en la Figura 58.







Figura 58: Centro Cultura Británico

#### 4.3. Base de datos geo-espacial

Organizada la información a recolectar y las manzanas donde se evaluarán los lotes se procedió al trabajo de campo para luego pasar al trabajo de gabinete donde se procesó la información adquirida.

En cada manzana seleccionada se levantó los datos de todos los lotes que se encuentran en esa manzana, indicándose las características de la edificación, así como el código de la manaza. De todos estos lotes se seleccionó uno representativo el cual es llevado a una base de datos separada para luego ser incorporada a la plataforma SIG. En la selección del lote representativo, se considera aquel que representa las características más frecuentes, es decir, aquella edificación que se repite más veces, dentro de la manzana evaluada- En la Figura 59 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

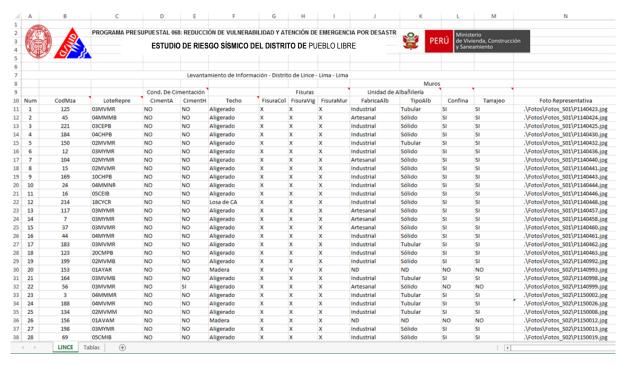


Figura 59. Base de datos de los lotes representativos por manzana

Esta base de datos elaborada en hoja de cálculo se transfiere a la plataforma SIG y se integra a la base de datos de las manzanas, de manera de cada una de las manzanas tenga los datos necesarios para su evaluación mediante el programa de cálculo de nivel de daño o reparación.

En la plataforma SIG se genera la base de datos geo-espacial la cual permite una rápida observación de las condiciones de las edificaciones de las manzanas, no sólo desde el punto de vista descriptivo, sino también gráfico, ya que se integran a la base de datos las fotografías de las manzanas. Por cada manzana se tomó una fotografía del lote representativo.

Tabla 2. Descripción de los campos de la base de datos

Nombre del Campo	Descripción				
AcelMax	Aceleración máxima del terreno en cm/s2				
Avg_GRID_C	Promedio del porcentaje del costo de reparación				
CimentA	Asentamiento en la cimentación				
CimentH	Humedad en la cimentación				
Codaza	Código de la manzana				
Confina	Confinamiento en muros				
CostRep3	Porcentaje del costo de reparación calculado				
Esen_Dano	Uso de suelo y nivel de daño				
Estado	Estado de la edificación				
FabricaAlb	Tipo de unidad de albañilería				
FID	Identificador de elemento				
FisuraCol	Fisuras en las columnas				
FisuraMur	Fisuras en muros				
FisuraVig	Fisuras en vigas				
FotoRepres	Foto del lote representativo				
LoteRepre	Característica del lote representativo				
Material	Tipo de material construcción				
MatNivDan	Tipo de material y nivel de daño				
Max_GRID_C	Valor máximo del porcentaje del costo de reparación interpolado				
Min_GRID_C	Valor mínimo del porcentaje del costo de reparación interpolado				
Num	Número de manzana interpolada				
NumMza	Número de sector y manzana				
Pisos	Número de pisos promedio en la manzana				
Rango_Dano	Nivel de daño final				
SD_GRID_CO	Desviación estándar de los valores del porcentaje de reparación interpolados				
Shape	Tipo de entidad geométrica				
Sist Est	Sistema estructural				
Tarrajeo	Existencia de tarrajeo				
Techo	Tipo de techo				
TipoAlb	Tipo de unidad de albañilería				
Uso	Tipo de uso				
Verifica	Se evalúa				

La Tabla 2 presenta la base de datos descriptiva. En esta tabla se muestran todos los campos ordenados alfabéticamente. Esta base de datos contiene la integración de todos los datos, es decir de los datos levantados en campo, así como los valores obtenidos del procesamiento de la información, para finalizar con el valor del costo de reparación, que es explicado más adelante.

La Figura 60 muestra el detalle de los datos de una manzana evaluada. Como se puede apreciar en esta base de datos geo-espacial se ha integrado una imagen de satélite, obtenida

desde Google Earth, la información cartográfica de los bordes de las manzanas y dentro de la base de datos descriptiva además de la información levantada en campo se encuentra la información procesada. Adicionalmente, se han integrado fotografías de las manzanas evaluadas por medio de hipervínculos a los archivos que contienen a estas fotos.

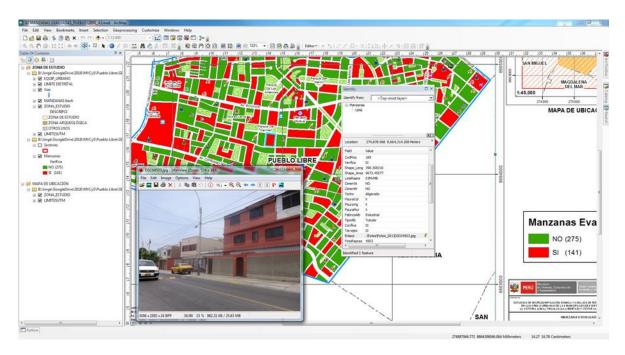


Figura 60. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento

Como resumen de los datos adquiridos en campo se presenta en el mapa No. E-03 el número de pisos, en el mapa No. E-04 el material predominante de la edificación, en el mapa No. E-05 el uso de suelo, en el mapa E-06 el sistema estructural y en el mapa No. E-07 se muestra el estado de conservación.

## 4.3.1. Mapa de Uso de Suelo

En el mapa E-05 (Figura 62) se presenta las manzanas evaluadas y clasificadas de acuerdo al uso del suelo de las edificaciones. En la Figura 61 se presenta el análisis estadístico de la muestra en lo referente al uso del suelo o uso de la edificación de la muestra estudiada. Puede leerse que es predominante el uso en viviendas que ocupan un 70.2% de la muestra, seguido de los edificios multifamiliares que representan el 6.4% de la muestra, los edificios vivienda/comercio un 6.4%, los edificios dedicados a comercio con un 2.8% y las de educación con un 0.7%.

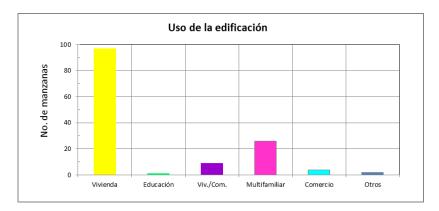


Figura 61. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Pueblo Libre

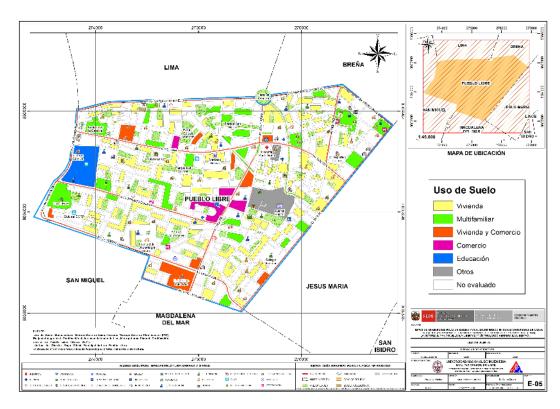


Figura 62. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Pueblo Libre



## 4.3.2. Mapa de Materiales Predominantes

En el mapa No. E-04 (Figura 64), referente a los materiales existentes en las edificaciones del distrito de Pueblo Libre, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 63, donde es notorio que el material predominante es la mampostería de ladrillo que representa el 77% de la muestra, seguido de las edificaciones de concreto con un 19.9%. Asimismo, existen edificaciones de adobe con 2% y acero que representan un 1% de la muestra.

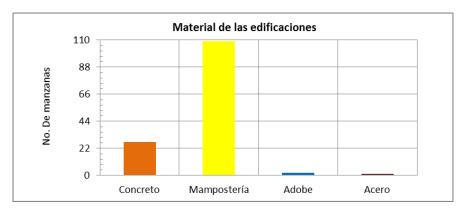


Figura 63. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito Pueblo Libre

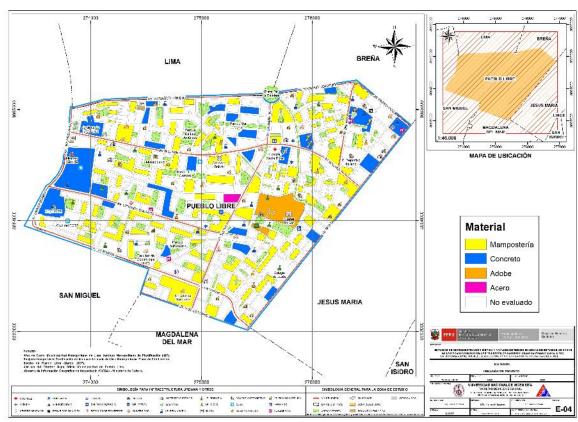


Figura 64. Mapa de Distribución de los materiales de construcción predomínate del distrito de Pueblo Libre

## 4.3.3. Mapa de Alturas de Edificación

En el mapa E-03 (Figura 66) se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el número de pisos de las edificaciones representativas de las manzanas. Esta distribución de alturas se resume en la Figura 65, donde se puede apreciar que, en el Distrito de Pueblo Libre, predominan las edificaciones de 2 pisos que corresponde al 46.1% del total de las edificaciones evaluadas y es la tendencia general en el distrito. En segundo lugar, de niveles de altura son las edificaciones de 3 piso y que corresponde al 29.1% del total de las edificaciones evaluadas. Este distrito también cuenta con edificaciones de 4 pisos, pero en un porcentaje menor, equivalente al 10.6% del total de las edificaciones evaluadas. También existen edificios de 5 pisos (5.7%), 1 piso (3.5%) y más de 10 pisos (2.8%), y 6, 8 y 9 pisos (0.7%) en la muestra evaluada.



Figura 65. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Pueblo Libre

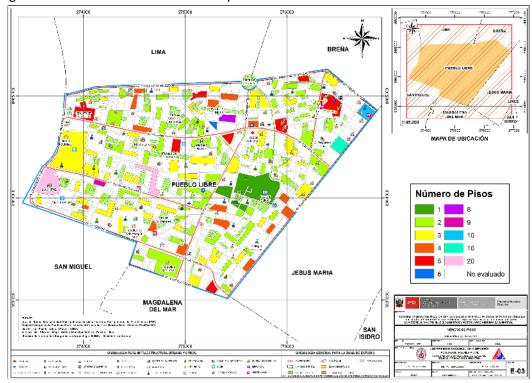


Figura 66. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del distrito de Pueblo Libre

## 4.3.4. Mapa de Tipologías Estructurales

En el mapa E06 (Figura 68) se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La Figura 67 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que se obtuvo de la estadística de la muestra usada en el distrito de Pueblo Libre. En el gráfico se entiende que el sistema estructural más utilizado es la mampostería de ladrillos de arcilla con diafragmas o techos rígidos que ocupa el 74.5% de la muestra. Le siguen las estructuras pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería que representa un 13.5%. También se estructuras de concreto armado con placas que representa el 6.4%. Por otro lado las edificaciones de mampostería armada o confinada con diafragma flexible que representan un 2.8%, mientras que las edificaciones de adobe representan un 2.1% y las de pórticos de aceros arriostrados con diagonales representan un 0.7%.

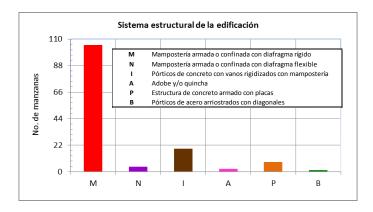


Figura 67. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Pueblo Libre

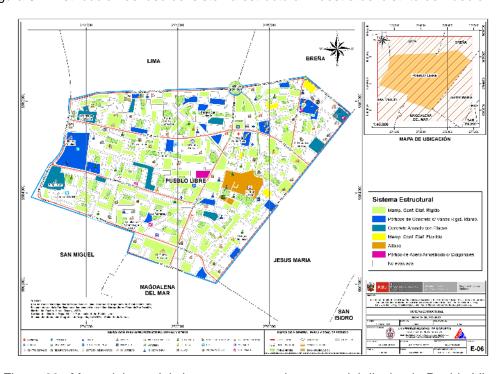


Figura 68. Mapa del uso del sistema estructural muestra del distrito de Pueblo Libre

## 4.3.5. Mapa de Estado de Conservación

El mapa temático E-07 (Figura 70) presenta el estado de conservación de las viviendas del distrito de Pueblo Libre. La Figura 69 presenta los resultados estadísticos de la muestra analizada. El 66.0% de las edificaciones se encuentra en buen estado de conservación, mientras que el 33.3% de la muestra presenta un regular estado de conservación. Finalmente se encuentran en mal estado de conservación el 0.7% de la muestra.



Figura 69. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Pueblo Libre

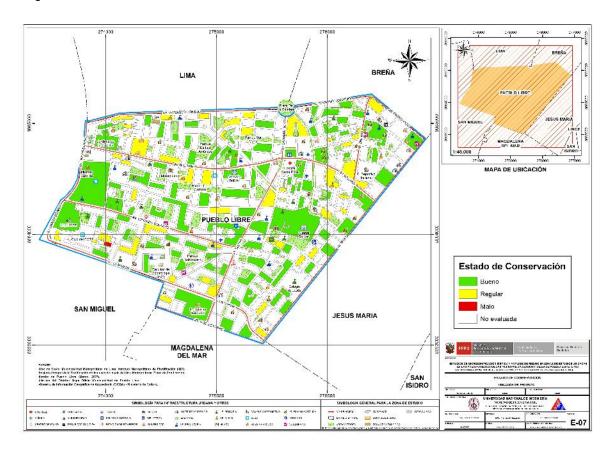


Figura 70. Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Pueblo Libre

## 4.3.6. Mapa de Vulnerabilidad

### **Conceptos Generales**

La determinación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación es el grado susceptibilidad de daño ante la ocurrencia de un terremoto. Conociendo este grado, que generalmente es expresado como edificación en buen estado, edificación regular, edificación en mal estado y edificación colapsada, es cuantificar el daño.

#### Formas de Evaluación

Su evaluación puede realizarse básicamente usando dos criterios: método determinístico y método por criterio.

### Método Determinístico

El método determinístico se basa en un estudio detallado de la estructura. Este estudio se basa en la evaluación mediante una inspección, toma de muestra de materiales, medición de la vibración en la estructura, auscultación de la cimentación, verificación de profundidad del cimiento y la modelación matemática de la estructura a través de programas especializados competentes, para producir un diagnóstico de la respuesta sísmica y encontrar si la edificación resistirá las fuerzas y desplazamientos inducidos por el terremoto.

### Método por Criterio

El método por criterio se basa o método empírico están basados, en simplificaciones dadas por la experiencia y desarrolladas por expertos con la finalidad de a través de un cuestionario y una lista de verificación de parámetros que son usados como entradas a curvas, funciones, o simuladores de la respuesta sísmica, con el fin de dar un diagnóstico de su estado luego del evento.

### Método adoptado para el análisis de la muestra en el presente estudio

Considerando la muestra de manzanas y lotes representativos se implementó una base de datos con la finalidad de determinar mediante el uso del método de estimación rápida de la respuesta sísmica de edificaciones [3] y [4], basado en la metodología propuesta por Miranda [2] para la estimación rápida de desplazamientos máximos y distorsiones de entrepiso, que ha sido adaptado en el CISMID para estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones con tipologías propias del Perú.

Considerando las bases de datos desarrolladas, las tipologías constructivas existentes y el estudio de microzonificación sísmica, se utilizará la herramienta SRSND (Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño, C. Zavala, CISMID-2004), con la finalidad de encontrar la respuesta sísmica de las edificaciones consideradas típicas de cada manzana bajo el escenario de sismo de la norma de diseño sismorresistente, que corresponde a un sismo severo de periodo de retorno de 475 años y probabilidad de excedencia del 10%. La respuesta sísmica producida en las edificaciones, nos darán el indicativo de su vulnerabilidad y la presencia de daño. Los resultados de esta simulación serán incorporados a la base de datos para producir el mapa de vulnerabilidad sísmica.

## Metodología sustento de SRSND

Este método se basa en el diagnóstico de la respuesta sísmica de las edificaciones, considerando las aceleraciones máximas del terreno según los resultados del estudio del peligro sísmico que se incluirá en la microzonificación sísmica y el catálogo de tipologías de edificaciones representativas del distrito.

El método considera que la estructura de la edificación está representada por un sistema de masas y resortes, representadas como una función del periodo de la edificación. Este periodo es aproximado a partir de la tipología estructural, del número de pisos, las irregularidades y el estado de conservación entre otros. Este periodo representa al primer modo del sistema estructural, lo que el método considera como representativo para el sistema reducido de un grado de libertad, como el mostrado en la Figura 71. Con este sistema equivalente se realiza la estimación explicado en el siguiente párrafo.

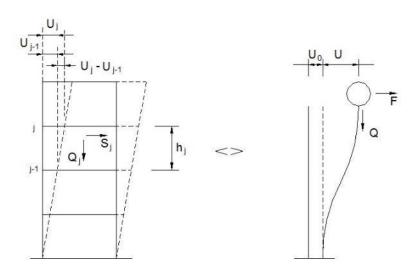
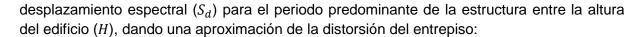


Figura 71. Edificación representada por un sistema equivalente

Con este propósito se consideran variables claves como aceleración de demanda sísmica, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros datos recabados en el levantamiento de campo lote a lote en la zona de estudio.

Este método se basa en el diagnóstico de la respuesta sísmica de las edificaciones, considerando las aceleraciones máximas del terreno según los resultados del estudio del peligro sísmico presentado en el Anexo adjunto a este informe y el catálogo de tipologías de edificaciones representativas del distrito. Con este propósito se consideran variables claves como aceleración de demanda sísmica, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros datos recabados en el levantamiento de campo lote a lote en la ciudad. Seguidamente se utiliza la metodología de índices  $\beta_i$ , que considera que la respuesta sísmica de una estructura se encuentra en base al producto de los índices  $\beta_i$  por el



$$\left(\frac{\Delta \delta_j}{h_i}\right) = \frac{\beta_1 \cdot \beta_2 \cdot \beta_3 \cdot \beta_4}{H} S_d$$
 Ec. 4

El índice  $\beta_1$ , es una aproximación al factor de participación dado como una función del número de pisos:

$$\beta_1 = \frac{3N}{2N+1}$$
 Ec. 5

El índice  $\beta_2$ , relaciona la aproximación de la distorsión máxima en la aproximación contra la distorsión en un sistema real:

$$\beta_2 = \frac{max\left(\frac{\Delta \delta_j}{h_j}\right)}{\frac{U_r}{H}}$$
 Ec. 6

El índice  $\beta_3$ , relaciona la fuerza de respuesta con la sobre resistencia como función de la ductilidad asignada a cada tipología estructural:

$$\beta_3 = \frac{U^x + \Delta U^x}{U} = \frac{F^x \cdot \mu}{F}$$
 Ec. 7

El índice  $\beta_4$ , produce una aproximación de la relación existente entre la distorsión inelástica y la distorsión elástica, que expresan una medida de ductilidad:

$$\beta_4 = \frac{\varphi_{inelastico}}{\varphi_{elastico}}$$
Ec. 8

El periodo que sirve de base en el diagnóstico, es dependiente de la tipología estructural y del número de pisos, que produce una diagnosis del desplazamiento y distorsiones de cada piso. De esta manera se estiman las distorsiones de entrepiso que diagnostican el estado de la edificación basado en los límites de distorsión máxima de la norma de diseño sismorresistente NTE-030-RNE y ajustada en base la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 29 años de experiencia de laboratorio.

Este procedimiento fue automatizado utilizando el programa SRSND presentado en [5] y utilizado en [6], el mismo que produjo tanto la respuesta sísmica de la edificación representativa de la manzana de la muestra, así como el nivel de daño esperado para el escenario sísmico de demanda propuesto. Los resultados fueron implementados en una plataforma SIG para producir los resultados esperados en los productos mediante los mapas de vulnerabilidad.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados, dando un énfasis en la zona con mayor vulnerabilidad.



#### **Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Alto:**

Son edificaciones con gran probabilidad de falla total o de daños muy graves que hagan difícil su reparación (con un daño severo probable donde su costo de reparación sea superior o igual 85% de su valor), además de implicar peligro de muerte o heridos graves para sus ocupantes. Por ejemplo:

- Edificaciones de adobe antiguas debilitadas por la humedad, erosión, o sismos anteriores; y ubicados sobre suelos flexibles.
- Edificaciones de ladrillo sin refuerzo ni confinamiento, con poca densidad de muros;
   ubicados sobre suelos blandos.
- Muros altos de ladrillo o adobe, de poco espesor y sin ningún arriostre.
- Edificaciones construidas con materiales inestables y provisionales, sin ningún tipo de arriostramiento o refuerzo vertical u horizontal.
- Edificaciones con configuración en planta irregular.
- Techos o coberturas en mal estado de conservación.
- Edificaciones en laderas de los cerros, donde su cimentación generalmente se apoya en muros de contención de piedra (pircas secas) no recomendables para tomar las fuerzas producidas por el sismo.

#### Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Medio:

Son edificaciones donde se pueden producir daños importantes, que aunque no colapsen las estructuras, es difícil su utilización sin ser reparadas, estimándose su costo de reparación entre el 30 y 60% de su valor. Pueden producirse accidentes por caídas de bloques de albañilería o concreto, rotura, etc. Por ejemplo:

- Edificaciones de ladrillo con defectos de estructuración, que provoque concentración de esfuerzos en algunos puntos.
- Construcciones de adobe bien estructurado, de un solo piso y construido en terreno flexible.
- Construcciones con muros de ladrillo bien estructurado pero con coberturas en mal estado, que signifique algún riesgo.
- Construcciones con ladrillo tubular y confinamientos.

### Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Bajo:

Son edificaciones donde se estiman se producirán daños menores o leves. El sistema estructural conserva sin mayor peligro, gran parte de su resistencia y puede aún seguir siendo utilizado. Por ejemplo:





- Edificaciones de ladrillo con columnas de concreto armado, o acero, diseñadas de acuerdo a normas de diseño sísmico, con materiales de buena calidad, buena mano de obra, e inspección rigurosa.
- Edificaciones regulares de concreto con muros de corte o edificaciones regulares con pórticos de concreto con cajas de escalera y ascensor de concreto con existencia de muros de concreto y/o albañilería.

## Evaluación y análisis estadístico de las edificaciones evaluadas

- a) Manzanas: Se evaluaron la totalidad de las manzanas de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 74.5% de los lotes, seguido por un 19.4% de edificaciones de concreto y un 1% de edificaciones de adobe/acero.
- b) **Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 74.5% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de un piso (3.5%), dos pisos (46.1%), tres pisos (29.1%), cuatro pisos (10.6%), cinco pisos (5.7%), seis, ocho, nueve pisos (0.7%) y 10 pisos + (2.8%). Aproximadamente el 78% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes.
- c) Coberturas y Sistema de techos: Del total de lotes inspeccionados, el 75.5% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 2.8%, poseen coberturas de calamina, esteras o madera. Estas coberturas se concentran en los sectores emergentes.
- d) Estado de Conservación: El estado de conservación de las construcciones en un 66.0% de las viviendas muestran un estado de conservación bueno y el 33.3% de las viviendas presentan un regular estado de conservación. Finalmente, las edificaciones en mal estado de conservación representan un 0.7% de la muestra.

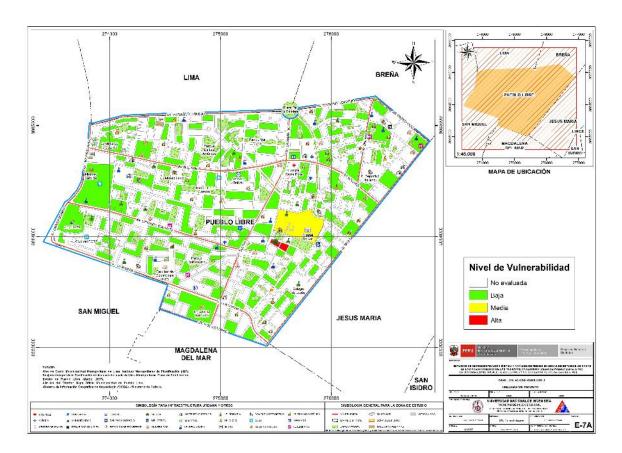


Figura 72. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de Pueblo Libre

Con respecto a los resultados del estudio en el distrito de Pueblo Libre, se tienen edificaciones con vulnerabilidades relativamente bajas que representan el 97.9% de la muestra concentrada en todo el distrito, así como vulnerabilidades medias, que representan el 0.7% de la muestra en zona central del distrito. Existe un 1.4% de edificaciones con vulnerabilidad alta en la zona cercana al centro del distrito. Los resultados son presentados en la Figura 72.

#### 5. MAPAS DE RIESGO

### 5.1. Elaboración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico

Se define el riesgo sísmico como la pérdida material o humana, debido a la acción de un evento sísmico severo tomando en cuenta la magnitud de este y la vulnerabilidad de la edificación.

Para este propósito es necesario conocer el peligro sísmico del área de estudio y asimismo la vulnerabilidad de las edificaciones en el área.

El peligro sísmico, para este análisis se basa en las aceleraciones máximas por el tipo de suelo que han sido calculadas a partir de una microzonificación geotécnica sísmica de la zona, luego de haber caracterizado el comportamiento dinámico de los suelos en función de su sismicidad.

Por otro lado se puede identificar el tipo de sistema estructural y diagnosticar la respuesta sísmica de éste, producto de la aceleración máxima inducida por el sismo evaluada en el estudio de vulnerabilidad de las edificaciones. De esta manera puede estimarse el nivel de daño, ya que la respuesta sísmica de una edificación es dependiente de la caracterización dinámica del suelo.

Existen métodos de simulación del riesgo basados en la superposición de la estadística del daño sobre edificaciones durante los sismos, a través del levantamiento de información post evento, que al sobreponerse con las aceleraciones máximas producidas, generan curvas de aceleración versus nivel de daño esperado para un determinado sismo. Estas curvas reciben el nombre de Curvas de Fragilidad, ya que muestra lo frágil que un determinado material y/o sistema estructural puede ser frente a determinado nivel de aceleraciones inducidas sobre el sistema.

Asimismo, existen métodos basados en la evaluación de la respuesta sísmica de los sistemas estructurales bajo cierto nivel de aceleración inducida y la estimación de su nivel de daño. Este tipo de metodología ha sido adoptada en el presente estudio. La estimación de la respuesta sísmica ha sido desarrollada utilizando el programa SRSND (Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño, C. Zavala, CISMID-2004), como fue descrito en la evaluación de la vulnerabilidad. En el caso del riesgo se debe de considerar un escenario sísmico para un sismo severo, que usualmente es un escenario cuyas aceleraciones son superiores a la aceleración máxima del suelo que propone la norma sísmica NTE-E-030 del Reglamento Nacional de Edificaciones, que considera un sismo con periodo de retorno de 475 años con la probabilidad de ser excedida en 10%. El sismo de la norma considera una aceleración máxima en el suelo de 450 gals.

### 5.2. Mapa de riesgo de las edificaciones evaluadas para un escenario sísmico

Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de Santa María, se ha utilizado el método de aproximación al valor de reparación de una vivienda, expresado como porcentaje del costo de la edificación. Conocida la respuesta sísmica de las edificaciones, utilizando la metodología presentada en [3] y [4], donde se estima el nivel de distorsión máxima, considerando el escenario sísmico propuesto en el estudio de peligro. Conocido el nivel de distorsión es posible estimar el nivel de daño por tipo de sistema estructural, para el lote representativo de la manzana en estudiada.

Un proceso de regresión de los diversos tipos de daño y la cuantificación del costo relacionan el valor de la reparación con la distorsión de la respuesta sísmica  $(\Delta \delta_j/h_j)$  en cada lote. Este costo de reparación  $(\mathcal{C}_r)$  se expresa como el porcentaje del costo de la estructura, considerando  $\lambda$  y  $\varepsilon$  parámetros de vulnerabilidad estructural, correspondientes al sistema estructural y al tipo de reparación involucrada para los materiales involucrados.

$$C_r = \left[ \left( \frac{\Delta \delta_j}{h_i} \right) / \lambda \right]^{\varepsilon} / 100$$
 Ec. 9

Para el diagnóstico del riesgo se consideró cada registro de la base de datos produciendo el diagnóstico de la distorsión y en base a esta se encontró el mapa que representa el costo de reparación representativo para la manzana, considerando los resultados del lote representativo. El desarrollo de este diagnóstico se realizó mediante el proceso que se presenta en la Figura 73.

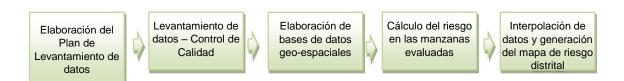


Figura 73. Proceso de generación del mapa de riesgo

Basados en la información de campo se evaluaron 141 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 74.

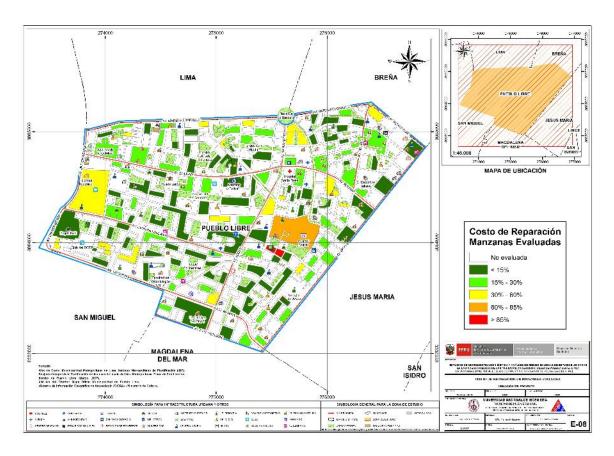


Figura 74. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas

Una vez calculado el costo de reparación para las manzanas evaluadas se genera, a través del método de interpolación IDW (Inverse Distance Weighted) un archivo de imagen (raster) donde el valor de cada pixel es el valor del costo de reparación para una edificación construida sobre ese terreno. La resolución espacial de este archivo es de 5 metros, es decir que cada pixel cubre un área de 25 metros cuadrados de terreno.

La Figura 75 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el distrito de Pueblo Libre.

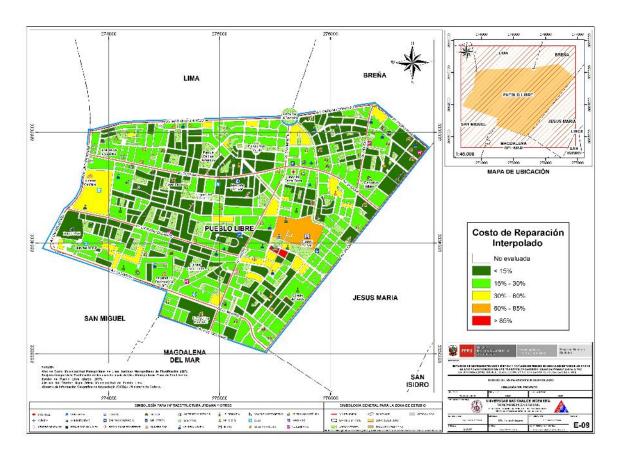


Figura 75. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)

### 5.3. Conclusiones de evaluación del riesgo sísmico para un escenario de sismo severo

Una vez realizada la interpolación, este archivo de imagen se convierte en un archivo de puntos equidistantes a 5 metros, donde el valor contenido en este punto es valor del costo de reparación. Finalmente para cada manzana se procede a promediar los valores de todos los puntos que caen dentro del polígono que representa a la manzana obteniendo finalmente el costo de reparación interpolado para todas las manzanas del distrito. La Tabla 2, presenta los resultados de la simulación de riesgo sísmico para las viviendas del distrito de Santa María.

Tabla 3. Resultados del daño en el distrito de Pueblo Libre para un escenario de sismo severo

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño	
Verde	< 15%	Nivel I	74	52.5%			
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	46	32.6%	85.1%	Daño Leve o sin daño	
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	18	12.8%	12.8%	Daño Moderado	
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	1	0.7%	0.7%	Daño Severo	
Rojo	85%-100%	Nivel V	2	1.4%	1.4%	Colapso	

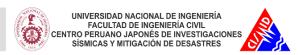
En el Anexo I, en el mapa No. E-09, que presenta el riesgo expresado como porcentaje del costo de la edificación para el distrito de Pueblo Libre bajo un escenario del sismo. En el mapa se puede apreciar que los sectores en verde tendrían un costo de reparación entre 0~15%. Aquellos sectores en verde agua poseen un costo de reparación entre 15~30% del valor de la edificación, agrupando ambos verdes se obtiene que en este grupo de daño leve se encuentra el 85.1% de las manzanas evaluadas. Los sectores en amarillo tendrían un porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30~60%, en donde se encontró que el 12.8% de la muestra tendrían daño moderado. Las zonas en color naranja, tendrían porcentaje de costo de reparación entre 60~85%, mientras que las zonas en rojo tendrían edificaciones con costos de reparación entre 85% a más. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de edificaciones en riesgo de colapso y daño severo que corresponden al 0.7% y 1.4%, respectivamente, de las edificaciones evaluadas para el escenario sísmico propuesto. La aceleración considerada para el diagnóstico es la presentada en el informe del Microzonificación Sísmica que corresponde a 450.86 gals.

Caso especial es el representado por las edificaciones esenciales que en caso de un evento sísmico severo deben de seguir funcionando luego del evento. Bajo esta premisa se tomaron aquellas edificaciones esenciales que formaron parte de la muestra, encontrándose el resumen de los resultados en la tabla siguientes.

% Color **Nivel Daño** Número de Mzas Nivel de Daño Rango Verde < 15% Nivel I 0 0.0% Verde agua 15% - 30% Nivel II 0 0.0% 0% Daño Leve o sin daño Amarillo 30% - 60% Nivel III 1 100.0% 100% Daño Moderado 0 0% Naranja 60% - 85% Nivel IV 0.0% Daño Severo 85%-100% Nivel V 0 0.0% 0% Colapso Rojo

Tabla 4. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales

Los resultados para las edificaciones esenciales son presentados en el mapa E-09A, donde puede apreciarse los resultados que se presentan en la Tabla 3, que muestra que el 0% de las edificaciones esenciales podrían experimentar daño leve, mientras que el 100% experimentarían un daño moderado debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales. Este estado de riesgo medio se debe a la presencia de edificaciones que se han adecuado al uso nidos, centros educativos, academias entre otros, como también la antigüedad y falta de mantenimiento de las edificaciones.



## 6. ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

Para la determinación de riesgo del sistema de distribución de agua es necesario realizar una revisión de las bases de datos de la infraestructura involucrada en el desarrollo del sistema de agua. Para esto es necesario contar con planos de las redes de distribución de agua y acompañados de las características de materiales y geométricas de estas redes.

En el presente estudio, se hace un diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad del sistema de agua. Se desarrolla un diagnóstico para el sistema de distribución de agua basado en las curvas de fragilidad desarrolladas por investigadores japoneses. Estas curvas de fragilidad consideran que el daño probable en las redes de agua, está basado en las velocidades máximas probables que ocurrirían en el terreno donde se ubican estas redes, durante un evento sísmico y las características de material y diámetro de las tuberías de las redes instaladas. Ya que las tuberías de las redes de agua trabajan a presión durante eventos severos son muy susceptibles a sufrir daños en suelos poco competentes y por lo tanto el análisis de daño se representaría como el número de roturas que se producirían en la red por unidad de longitud.

En este estudio se presenta el diagnóstico de las líneas de conducción de agua, basado en la aplicación de las curvas de fragilidad considerando los materiales y diámetros que se encuentran disponibles en las bases de datos que fueron proporcionadas por el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

La información recopilada fue adquirida desde el SEDAPAL, es un archivo en plataforma de Sistema de Información Geográfica (SIG) donde se presentan los ejes de las líneas de conducción primaria y secundaria de agua y alcantarillado, así como datos de tipo de material, diámetro, longitud, entre otra información.

### Sistema de Agua

Para el estudio de los sistemas de agua es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y sería adecuado tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos históricos. La estadística de estas roturas, debe ser registrada por la entidad competente, en este caso SEDAPAL, a fin de poder realizar un análisis con mayores precisiones.

El daño que afecta a las tuberías puede producirse por la propagación de ondas, la deformación permanente del suelo y la ruptura de fallas originadas por la evolución del evento sísmico. Las tasas de falla de las tuberías en áreas donde no se produce licuefacción pero sí se producen fallas del terreno (MM de VIII o menos, lugares donde se generen pequeños deslizamientos, grietas y terreno húmedo) equivalen aproximadamente a ocho veces las fallas debido a la propagación de ondas. Las tasas de falla de las tuberías en áreas donde sí ocurre la licuefacción son de aproximadamente 12 veces las tasas de falla por propagación de ondas y es debido a las grandes deformaciones que se producen.

Para la evaluación de los daños se necesita conocer las características físicas de las tuberías del sistema de distribución de agua, esta información se encuentra en la plataforma SIG de SEDAPAL que han sido procesadas para obtener los datos necesarios para el estudio de las redes de agua. La información utilizada es mostrada en la Tabla 5.

El mapa E-11 muestra el material de las tuberías de la red agua y un cuadro con la longitud total por cada material.

Tabla 5. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de Pueblo Libre.

Campo	Descripción						
DIAMETER	Diámetro de tubería en milímetros						
MATERIAL	Material de tubería de agua						
REALLENGTH	Longitud de tubería en metros						
SHAPE_Length	Longitud de tubería en metros						
Velocidad	Velocidad de partículas del suelo						
Yamazaki	Número de roturas por kilómetro de tubería según Yamazaki (2008)						
Isoyama	Número de roturas por kilómetro de tubería según Isoyama (2000)						
Mat_Diam	Material concatenado con el Diámetro						

La estimación de la tasa de daño de tuberías de distribución de agua (el número de daños o incidentes (roturas) por kilómetro de longitud de tubería) será estimada en este estudio utilizando el método propuesto en la Universidad de Chiba Japón por los profesores Dr. Yoshihisa Maruyama y Fumio Yamazaki. De acuerdo a esta metodología la fórmula para la estimación de la tasa de daño fue propuesta por Isoyama el año 2000, luego del sismo de Kobe.

$$Rm(v) = C_p \cdot C_d \cdot C_q \cdot CI \cdot R(v)$$
 Ec. 10

Donde Rm es la tasa de daño por kilómetro de tubería, Cp, Cd, Cg, y Cl son coeficientes de corrección para el material de la tubería, diámetro, condición geológica y ocurrencia de licuefacción respectivamente, siendo v la velocidad máxima en el sector (PGV). En el estudio mencionado, el valor de R(v) se estima para una tasa de daño en tuberías de hierro fundido (CIP) con rango de diámetros entre 100-150 mm en base a una regresión de valores de la base de datos de los tubos dañados por sismo en el sistema:

$$R(v) = c \cdot (v - A)^b$$
 Ec. 11

Donde b, c, y A son los coeficientes de regresión. Considerando la base de datos del sismo de Kobe de 1995, Isoyama obtuvo el siguiente resultado para R(v):

$$R(v) = 3.11 \times 10^{-3} \cdot (v - 15)^{1.30}$$
 Ec. 12

Yamazaki y Maruyama asumieron que el valor de A se encuentra entre 0 y 30 cm/s y experimentaron análisis de regresión con cambios de A en intervalos de 5 cm/s. Según los

autores consideran que el valor de A debe ser 15 cm/s, pues con este valor la correlación entre PGV y la tasa de daño atenuada produce un valor máximo. Así, la constante A produce el mínimo PGV que causa daños en un sistema de distribución de agua. Los resultados presentados por Isoyama indican que los sistemas de distribución de agua fallarían con PGV mayores a 15 cm/s. Diversos autores proponen factores de b, c y A que originan diferencia mínima en el diagnóstico. La Figura 76 y la Figura 77, muestran el número de roturas en las tuberías de distribución de agua, según varios investigadores y por tipo de material y diámetro.

Por ejemplo en el caso de la ciudad de Tokio los valores particulares de los factores producen la siguiente fórmula:

$$R(v) = 2.24 \times 10^{-3} \cdot (v - 20)^{1.51}$$
 Ec. 13

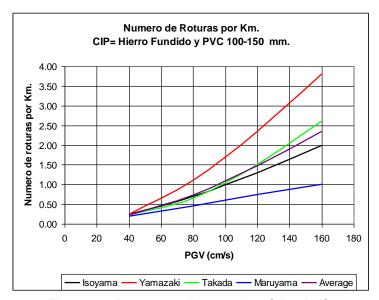


Figura 76. Roturas por Km en tubos CIP y PVC.

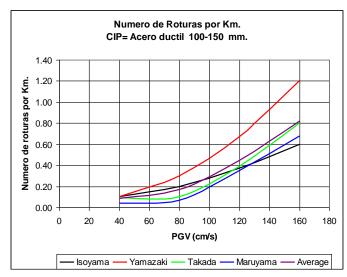


Figura 77. Roturas por Km en tubos de acero dúctil.

La Figura 76 muestra las relaciones presentadas por diversos autores para determinar el número de roturas por kilómetro de tubería de hierro fundido y PVC en función de la velocidad máxima del suelo (PGV) alcanzada durante el sismo de diseño en la zona donde se encuentran. Utilizando los datos de estos autores es posible elaborar una curva promedio, la cual se indica con la leyenda "Average" en el gráfico. Para llevar a cabo el cálculo del número de roturas en las tuberías, se ha considerado la curva de Isoyama, ya que esta curva se encuentra cercana a la curva promedio, adicionalmente se ha considerado la curva de valores máximos (Yamazaki), que se presenta en la Figura 78, para mostrar un escenario más desfavorable.

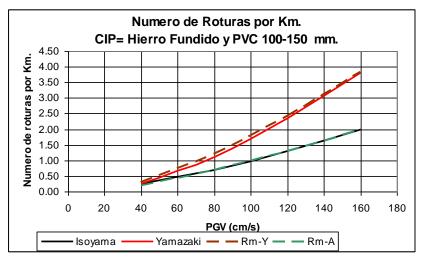


Figura 78. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC.

En el presente estudio se ha utilizado una regresión de los valores de la curva de Isoyama que aproxima el número de roturas por Km. Con la siguiente expresión:

$$R(v) = 3.00 \times 10^{-3} \cdot (v - 15)^{1.305}$$
 Ec. 14

En forma similar, a los materiales presentados anteriormente, la Figura 77 presenta las relaciones desarrolladas por diversos autores para la estimación de la tasa de daño por kilómetro en tuberías de hierro dúctil. Utilizando estos datos se construye una curva promedio ("Average") la que es presentada en este gráfico.

Usando un procedimiento similar al presentado anteriormente, en la Figura 79 se muestra las curvas de máximo valor y valor más cercano al promedio en el caso de tubería de acero dúctil. Considerando la curva de Isoyama y la curva de Yamazaki, es posible expresar mediante un análisis de regresión de los datos, el número de roturas de tuberías de acero dúctil por Kilómetro que serían afectadas por un sismo severo mediante la siguiente expresión que presenta la regresión en datos de Isoyama:

$$R(v) = 2.00 \times 10^{-4} \cdot (v - 9)^{1.6}$$
 Ec. 15

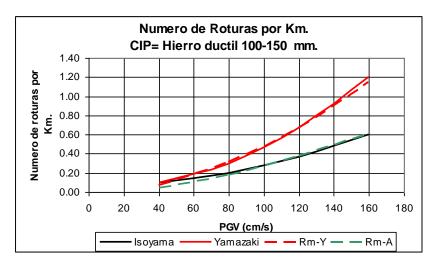


Figura 79. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil.

Considerando las funciones presentadas en las ecuaciones (5) y (6) se determina el número de roturas en las tuberías, según el tipo de material y diámetro. Estas funciones son implementadas dentro de la plataforma SIG para la presentación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción.

# 6.1. Mapa de tipo de tubería de agua

La Tabla 6 presenta los tipos de tubería por material que existen en el distrito de Pueblo Libre. Esta información se ha preparado en base de la información proporcionada por SEDAPAL. La información no presenta tipos de tubería, por lo mismo se ha asumido como material para efectos de resultado para generar el mapa de N° de roturas por km el Asbesto Cemento (AC), tampoco el rango de diámetros utilizados, se ha considerado la existencia de un diámetro más frecuente utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. En la columna de porcentaje se muestra la longitud porcentual de tuberías.

Tabla 6. Tipo de tuberías de agua en el distrito de Pueblo Libre.

	•					
Material	N° tuberías	φ más usado	Longitud total (m)	% long	Yamazaki	Isoyama
Asbesto cemento	1327	100	65806.85	52.60%	0.504	0.514
Fierro fundido	596	100	32286.8	25.81%	0.203	0.157
PVC	242	110	12448.95	9.95%	0.504	0.514
Hierro dúctil	59	700	6801.25	5.44%	0.203	0.157
Acero revestido	55	300	6992.52	5.59%	0.203	0.157
MAG	12	100	542.35	0.43%	0.203	0.157
Concreto pretensado	5	250	190.4	0.15%	0.203	0.157
Concreto reforzado	1	250	29.32	0.02%	0.203	0.157

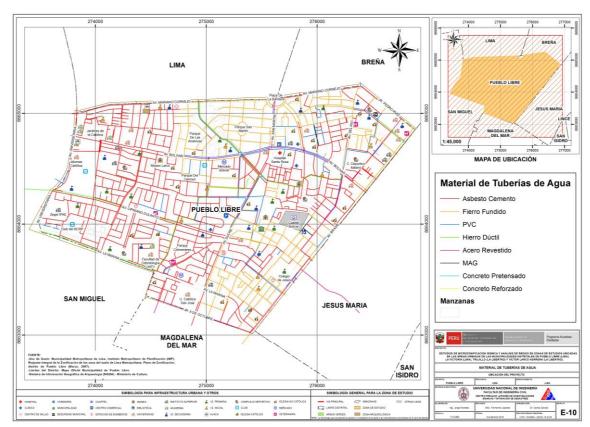


Figura 80. Mapa de Tipos de Tubería en el distrito de Pueblo Libre

# 6.2. Mapa de roturas para un escenario sísmico

Considerando los criterios de evaluación de Yamazaki e Isoyama, se evaluó el número de roturas por kilómetro de tubería para el material asumido (asbesto cemento). Basado en esta aproximación es posible conocer el número de roturas total sobre las líneas de conducción de agua, para ambos criterios. Debido a que se ha asumido un material, se ha observado un resultado similar para el criterio de Yamazaki y de Isoyama. En el mapa E-11 (Figura 81) y el mapa E-12 (Figura 82) se presentan los daños probables según la metodología de Yamazaki e Isoyama, respectivamente.

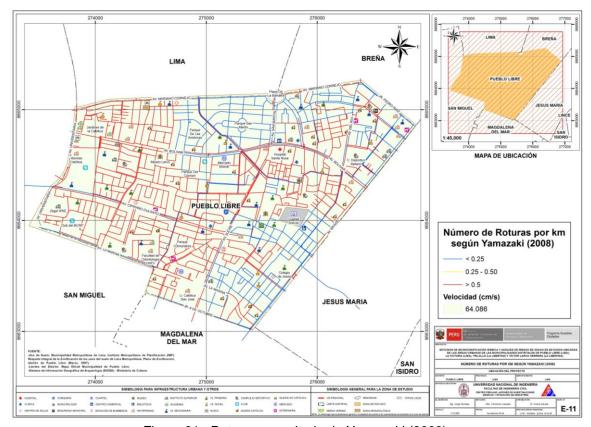


Figura 81. Roturas por criterio de Yamazaki (2008).

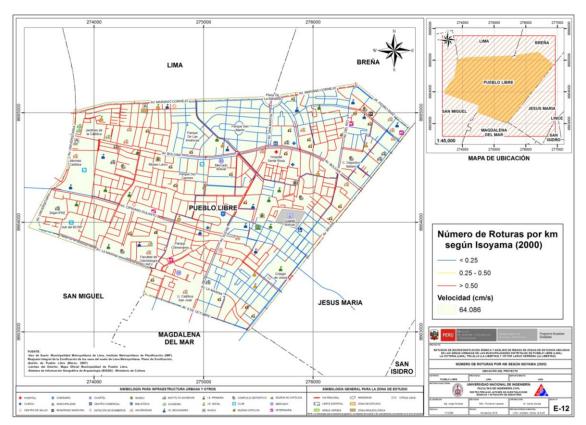


Figura 82. Roturas por criterio de Isoyama (2000).

#### 6.3. Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua

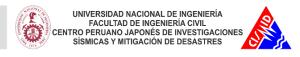
- Para la evaluación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción de agua del distrito de Pueblo Libre, se procesó la información proporcionada por SEDAPAL, la cual no ha presentado tipo de tubería por material, ni diámetro, solamente presentó la ubicación de las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. Se ha asumido, por ser el material más desfavorable, el asbesto cemento para el cálculo de N° de roturas por km.
- Considerando la metodología planteada por investigadores japoneses, se tomaron las curvas de Yamazaki e Isoyama para diagnosticar el número de roturas por kilómetro de longitud en las líneas de conducción de agua del distrito de Pueblo Libre, en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo con 467.69 cm/s2 de PGA, existirían 34 locaciones con tuberías de asbesto cemento que sufrirían roturas. Debe notarse que las condiciones del suelo influyen en los movimientos sísmicos, manifestándose con velocidades de partícula significativas.
- Es recomendable que SEDAPAL implemente una base de datos de las roturas en tuberías de agua, tomando en cuenta la variable tiempo, ya que para el estudio de los sistemas de agua es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos en el tiempo y cambios de tuberías en el tiempo. Con una base de datos en estos términos sería posible realizar diagnósticos de las roturas con mayor precisión.

- Es recomendable que SEDAPAL desarrolle un programa de estudios de vulnerabilidad que consideren la infraestructura de captación de agua, los canales de conducción, decantadores, filtros, tanques de almacenamiento y asimismo válvulas de paso, que adicionalmente al estudio preliminar presentado, proporcionarán un mejor diagnóstico para evitar la interrupción del servicio en caso de sismo severo.



#### 7. REFERENCIAS

- [1] Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness Eduardo Miranda and Carlos J. Reyes Journal of Structural Engineering ASCE / July 2002.
- [2] Approximate lateral deformation demands in multistory buildings Miranda, E. (1999). Journal of Structural Engineering ASCE. /1999.
- [3] Estimación rápida de la Respuesta Sísmica en base a sistemas de un grado de libertad para el cálculo de vulnerabilidad sísmica Carlos Zavala y Ricardo Proaño XIV Congreso de Ingeniería Civil Iquitos Perú / Octubre 2003.
- [4] Estimación Rápida de Desplazamientos Laterales Producidos por Sismo -Hugo Scaletti Farina FIC UNI /2003.
- [5] Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño –SRSND Carlos Zavala CISMID/FIC/UNI/ Noviembre 2007.
- [6] Efectos del Terremoto de Managua en los efectos de agua y alcantarillado Ing. E. Pallawlecial IX Seminario Centroamericano de Ingenieros Sanitarios Panamá /Septiembre 1973.
- [7] Reducción del Daño Sísmico Guía para empresas de agua Organización Panamericana de la Salud (OPS) y American Water Works Association (AWWA)/ 2003.
- [8] Damage Estimation of Water Distribution Pipes following recent earthquakes in Japan Y. Maruyama and F. Yamazaki Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) /March 2010.
- [9] Post Quake Microzoning Study On Pisco and Tambo De Mora Due To August 15th 2007 Pisco Quake C. Zavala, Z. Aguilar, and M. Estrada– Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE) /March 2010.
- [10] AASHTO LRFD 2012 Bridge Design Specifications 6th Edition (US) Customary U.S. Units 2012 Publication code: LRFDUS-6.
- [11] Alva Hurtado J. E. (2004), "Banco de Datos de Mapas de Isosistas en el Perú", Página web del CISMID FIC UNI (http://www.cismid-uni.org/component/k2/item/68-banco-de-datos-de-isosistas-del-peru).
- [12] Alva Hurtado J. E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- [13] American Society of Civil Engineers Structural Engineering Institute (2010), "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures".
- [14] Bernal, I. (2000), "Características de la Sismicidad en la Región Sur del Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 69 80. Lima, Perú.
- [15] Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.



- [16] Bolaños A. y Monroy O. (2004), "Espectros de Peligro Sísmico Uniforme", Tesis para Optar el Grado de Magíster en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [17] Bommer, J. J., (2002), "Deterministic vs. Probabilistic Seismic Hazard Assessment: An Exaggerated and Obstructive Dichotomy", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 6, Special Issue 1, pp. 43 73, Imperial College Press.
- [18] Bommer, J. J., (2012), "Chalenges of Building Logic Trees for Probabilistic Seismic Hazard Analysis" Earthquake Spectra, Volume 28, N°. 4, pages 1723-1735, November 2012. Earthquake Engineering Research Institute.
- [19] Boore, D. (1983), "Stochastic simulation of high frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 73, No 6, pp. 1865-1894.
- [20] Boore, D.; Joyner, W. (1982), "The empirical prediction of ground motion", Seismological Society of America, Vol. 72, No 6, pp. S43-S60.
- [21] Cahill, T.; Isacks, B. (1992), "Seismicity and shape of the subducted Nazca plate". Journal of Geophysical Research, Vol. 97, No.B12, p. 17503-17529.
- [22] Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- [23] Castillo, J; Alva, J. (1998), "Peligro sísmico en el Perú", Memorias del VIII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, SPMSIF, Lima, Perú.
- [24] Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N°5 págs.1538-1606.
- [25] Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.
- [26] Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- [27] Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990) "Assessment of the Size of large and Great Historical Earthquakes in Peru". BSSA, 80, pg 551-576.
- [28] Esteva, L. (1970), "Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño", Publicación Nº 19 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [29] Gamarra, C. A. (2010), "Nuevas Fuentes Sismogénicas para la Evaluación del Peligro Sísmico y Generación de Espectros de Peligro Uniforme en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- [30] Giovanni M. K., Beck S. L. & Wagner L. (2002), "The June 23, 2001 Peru Earthquake and the Southern Peru Subduction Zone". Geophysical Research Letters, Vol 29, N° 21, 2018.
- [31] Grange, F. et al (1984), "Tectonics implications of the micro earthquake seismicity and fault plane Solutions in the Southern Peru", Journal of Geophysical Research, Vol. 89, Pp 6139-6152.



- [32] Gutenberg, B. (1945), "Magnitude determination for deep-focus earthquakes", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 35, pp. 117-130.
- [33] Gutenberg, B.; Richter, C. (1956), "Earthquake magnitude: intensity, energy, and acceleration", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 46, pp. 104-145.
- [34] Hanks, T.; Kanamori, H. (1979), "A moment magnitude scale", Journal of Geophysical Research, Vol. 84, pp. 2348-2350.
- [35] Hynes-Griffin, M.E., and Franklin, A.G., (1984), "Rationalizing the Seismic Coefficient Method", Miscellaneous Paper GL-84,-13, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- [36] Instituto Geofísico del Perú. (2001), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- [37] International Building Code (2012), "2012 International Building Code", International Code Council, INC (ICC) USA.
- [38] Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R., (1968), "Seismology and Global Tectonics", Journal of Geophysical Research, Vol 73, N°18, páginas: 5855-5899.
- [39] Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [40] Macharé, J., Benavente, C., Laurence, A. (2009), "Síntesis Descriptiva del Mapa Neotectónico 2008", Boletín Nº 40 Serie C Geodinámica e Ingeniería Geológica, INGEMMET
- [41] Macharé, J., Fenton, C., Machette, M., Lavenu, A., Costa, C. and Dart, R., (2003), "Database and Map of Cuaternary Faults and Folds of Peru and its Offshore Regions", Open-File Report 03-451, US Geological Survey, U.S.A.
- [42] Macharé, J., Laurence, A., Romero, J., Costa, C., Ramírez, V., Lara, L., et al. (2009), "Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes", Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Publicación Geológica Multinacional Nº 7.
- [43] McGuire R.K. (1974), "Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance", MIT Report R74-51 Cambridge MA, USA.
- [44] Ministerio de Energía y Minas (1995), "Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros"
- [45] Ordaz, M., Aguilar A., Arboleda J: (1999), "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1", Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [46] Patwardhan, K.; Sadigh, I. M.; Idriss and Youngs, R. (1978). "Attenuation of Strong Motion Effect of Site Conditions. Transmission Path Characteristics and Focal Depths", submitted to the Bull Seismological Society of America.
- [47] Pomachagua, O. (2000), "Características Generales de la Tectónica y Sismicidad de Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 93 104. Lima, Perú.
- [48] Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- [49] S. Rodríguez, H. Tavera, (1991), Determinación con Alta Resolución de la zona Wadati-Benioff en la Región del Perú Central, Revista Geofísica Vol. 9, Nº2, 141-159.



- [50] Sadigh K. Chang C., Egan J., Makdisi F., Youngs R. R., (1997), "Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, January/February.
- [51] Scordilis E 2006: Empirical global relations converting Ms and mb to moment magnitude, Journal of Seismology 10: pp. 225-236.
- [52] Sébrier M., Huamán D., Blanc J. L., Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- [53] Silgado E., (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp. 33-44.
- [54] Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1955-1970", Geofísica Panamericana, Vol 2 pp. 179-243.
- [55] Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.
- [56] Silgado E. (1992), "Investigación de Sismicidad Histórica en la América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", CONCYTEC, Lima, Perú.
- [57] SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
- [58] Slemmons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.
- [59] Tavera H. y Buforn E (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 219. España.
- [60] Tavera H., (1998), "Mecanismo Focal de Terremotos en Perú y Sismotectónica", Tesis para Optar el Grado de Doctor en Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.
- [61] Tavera H., Buforn E., Bernal I., Antayhua Y. &Vilcapoma L. (2002), "The Arequipa (Peru) Eartquake of June 23, 2001", Journal of Seismology, Vol. 6, pp. 279 283.
- [62] Tavera H., Vilca R. y Marín G. (2006), "Inferences on the Geometry of the Nazca Plate in Northwetern Peru Based on Data Collected by a Local Seismograph Network", Earth Science Research Journal, Vol. 10, N° 1, pp. 15 24.
- [63] Weichert, Dieter H. (1980), "Estimation of the Earthqueake Recurrence Parameters for Unequal Observation Periods for Different Magnitudes", Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 70, N°. 4, pp. 1337-1346, August, 1980.
- [64] Youngs, R. R., Chiou. S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, Vol. 68, Numb. 1, Pp. 58 73, USA.
- [65] Zhao, J., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., et al (2006), "Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 96, No. 3, pp. 898 913, June 2006, doi: 10.1785/0120050122.

- [66] Silgado F., E., (1992). Investigaciones de sismicidad histórica en la America del Sur en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX, Consejo Nacional de Ciencia y Technología, Lima, Perú.
- [67] Dorbath L., Cisternas A., y Dorbath C., 1990, Assessment of the Size of Large and Great Historical Earthquakes in Peru, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 80, No. 3, pp. 551-576.
- [68] N. Pulido, H. Tavera, H. Perfettini, M. Chlieh, Z. Aguilar, S. Aoi, S. Nakai, and F. Yamazaki, "Estimation of Slip Scenarios for Megathrust Earthquakes: A Case Study for Peru," in Effects of Surface Geology on Seismic Motion, pp. 1-6, 2011.
- [69] Kuroiwa J., Reducción de Desastres, Viviendo en Armonía con la Naturaleza, 2002.