

# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

## CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

### CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL CENTRO NACIONAL DE ESTIMACIÓN, PREVENCIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO (CENEPRED) Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA "EVALUACIÓN DEL RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE BREÑA

#### INFORME No. 4: PRODUCTO No.4



LIMA – Diciembre, 2012

## CONTENIDO

ANTECEDENTES .....	3
OBJETIVO DEL CONVENIO .....	3
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PRESENTE INFORME .....	3
REPORTE DE SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN .....	3
Organización del Trabajo de Campo.....	3
Preparación de Actividades, Coordinación y Personal .....	3
Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo.....	5
Procedimiento y Control de Calidad de Datos de Campo .....	7
Georreferenciación y Compatibilización de Planos.....	7
Procesamiento de la Información .....	7
Ubicación de las manzanas a evaluar .....	8
Elaboración de la base de datos geo-espacial .....	9
REPORTE DE SUSTENTO DE METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS .....	12
Conceptos Generales.....	12
Formas de Evaluación de la Respuesta Sísmica .....	12
Método Determinístico.....	12
Método por Criterio .....	12
Método adoptado para el análisis de la respuesta sísmica en el presente estudio .....	12
ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS EDIFICACIONES Y EDIFICACIONES ESENCIALES EN EL CASO DE UN EVENTO EXTREMO .....	16
DIAGNÓSTICO DEL RIESGO SÍSMICO Y MAPAS EN EL DISTRITO DE BREÑA .....	18
Definición de Riesgo Sísmico.....	18
REPORTE DE HALLAZGOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO.....	21
RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE BASES DE DATOS DE INFRAESTRUCTURA UTILIZADAS EN EL ESTUDIO CON FINES DE ANALISIS DE RIESGO .....	22
RESUMEN INTEGRAL .....	23



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



**CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL CENTRO NACIONAL DE EVALUACIÓN, ESTIMACIÓN Y REDUCCIÓN DEL RIESGO (CENEPRED) Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA “EVALUACIÓN DEL RIESGO RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE BREÑA”**

## **INFORME No. 4- ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO Y RESUMEN INTEGRAL**

### **ANTECEDENTES**

Con fecha 7 de Setiembre de 2012, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del Riesgo de Desastres (CENEPRED) y la Universidad Nacional de Ingeniería, suscribieron un Convenio Marco de Cooperación Interinstitucional con el objeto de promover acciones de mutua colaboración, en lo referido a brindarse cooperación técnica en materia de estudios, elaboración, supervisión, ejecución y evaluación de proyectos y obras de ingeniería y arquitectura, así como la prestación de servicios compatibles con la finalidad de ambas Entidades.

En fecha 18 de Setiembre de 2012, CENEPRED y la Universidad Nacional de Ingeniería, suscribieron un Convenio Específico, con la finalidad de iniciar el desarrollo del estudio que conduzca a la Evaluación del Riesgo Sísmico del Distrito de Breña. Este estudio será realizado por el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID).

El presente informe presenta el Producto 4 del estudio en mención que se centra en la presentación del Diagnóstico del Riesgo Sísmico del Distrito de Breña y un Resumen Integral de los resultados de los estudios realizados.

### **OBJETIVO DEL CONVENIO**

Realizar la Evaluación del Riesgo Sísmico del Distrito de Breña, a partir de los resultados del estudio de microzonificación y del estudio de vulnerabilidad. Asimismo, llevar a cabo un diagnóstico del estado en que estarían las tuberías de agua de ocurrir un evento sísmico severo.

### **OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PRESENTE INFORME**

1. Reporte de Sistematización de la Información.
2. Reporte sustento de la metodología de evaluación del daño.
3. Estimación el comportamiento de las edificaciones y edificaciones esenciales en el caso del evento extremo postulado.
4. Reporte de hallazgos del analisis de riesgo sísmico.
5. Elaboración del Mapa de Riesgo.
6. Elaboración de recomendaciones para la mejora de base de datos de infraestructura utilizadas en el estudio con fines de análisis del riesgo.

### **REPORTE DE SISTEMATIZACIÓN DE LA INFORMACIÓN**

#### **Organización del Trabajo de Campo**

Preparación de Actividades, Coordinación y Personal

Para el desarrollo de las actividades de toma de datos de campo, se inicia el trabajo con la selección de los ingenieros coordinadores, responsabilidad que recayó en la Ing. Patricia Gibu, Ing. Francisco Ríos, Dr. Miguel Estrada y Dr. Carlos Zavala. Se organizaron 5 grupos de trabajo seleccionándose cuatro personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo, contado con un total



de 20 personas para el levantamiento de la información. El personal seleccionado fue formado por un grupo de jóvenes Ingenieros, estudiantes de posgrado y estudiantes del último año de ingeniería que laboran como asistentes de investigación o realizan su tesis de antegrado o posgrado en nuestro Centro. Este personal recibió un entrenamiento basado en el procedimiento de evaluación. Este procedimiento ha sido diseñado para nuestra realidad a fin que sea utilizado para la evaluación de los sistemas constructivos predominantes en la zona de estudio.

**a) Metodología de toma de datos**

Este procedimiento se basa en la toma de información rápida en edificaciones de adobe, albañilería, quincha y concreto. 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 al cual se le hace una evaluación detallada, llenando una ficha o plantilla de evaluación.

**b) Plantilla para la encuesta**

Para el levantamiento de información se utiliza una ficha de evaluación, elaborada por nuestra Institución, para la evaluación rápida de estructuras, la cual se presenta en la Figura 1

La Ficha está dividida en cinco áreas:

- Área de identificación de cada estructura incluyendo su uso
- Croquis de ayuda.
- Área de identificación geométrica aproximada
- Información de las condiciones de la edificación

Esta información es complementada con la toma de una fotografía en cada esquina de la manzana y del lote representativo de la manzana, donde se pueda identificar a la estructura. Asimismo, debido a la prohibición dada por algunos vecinos no se tomaron fotos en aquellas zonas con alta seguridad, en ese caso se utiliza imágenes satelital para mostrar en el sistema de información la ubicación y algunas características de las edificaciones.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

## CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



CONVENIO CISMID/FIC/UNI - CENEPRED ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE BREÑA				
<b>INFORMACIÓN DE LA MANZANA</b> CÓDIGO DE LA MANZANA:				
<b>LEYENDA PARA LA CODIFICACIÓN DEL LOTE</b>				
No.Pisos (1)	Material (2)	Usos (3)	Sistema Estructural (4)	Conservación (5)
	Adobe (A) Mampostería (M) Concreto (C) Quincha (Q) Acero (S) Madera (W) Otro (O)	Vivienda (V) Vivienda y Comercio (Y) Comercio (C) Multifamiliar (M) Policía o Bomberos (B) Educativo (E) Hospital (H) Industrial (I) Baldío (B) Otros (O)	S Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo M Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Rígidos N Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Flexibles L Construcción Informal en Albañilería A Adobe y Quincha C Pórticos de Concreto W Estructura de Concreto Armado con Placas I Pórticos de Concreto con Varios Rigidizados con Mampostería L Estructura Celular de Concreto F Pórtico de Acero Resistentes a Momento B Pórtico de Acero Arriostrados con Diagonales U Estructura de Perfiles Livianos W Entramados de Madera T Estructuras Industriales / Comerciales	(B) Bueno (R) Regular (M) Malo
Nota: La información de la manzana irá en plano lotizado adjunto similar al ejemplo de llenado que se muestra. 1AVSR			Nota 2: No Evaluado Use (X) Caso Valido Use (V) (1) + (2) + (3) + (4) + (5) 1PISOS + ADOBE + USO VIVIENDA + MAMPOSTERÍA DE ARCILLA SIN REFUERZO + REGUL	
Foto 1 - Numero		Foto 2 - Numero		Foto 5 - Numero
Foto 3 - Numero		Foto 4 - Numero		Acharar lote representativo

**Formato de Ayuda para Codificación del Lote**

CONVENIO CISMID/FIC/UNI - CENEPRED ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE BREÑA				
CODIGO DE MANZANA		CODIGO INTERNO		
ESTRUCTURACIÓN				
Material	Estado de Conservación	Adobe	Mampostería	Concreto
		Bueno	Regular	Malo
Cimentación	Asentamiento	SI	No	
	Humedad en la Base	SI	No	
Techo				
Adobe	Mampostería	Concreto	Otros	
Madera	Losa de CA	Losa de CA		
Caña	Aligerado	Aligerado		
Torta Barro	Calamina	Placa Colaborante		
Otro	Otro	Otro		
Elementos Estructurales				
Fisuración				
Columnas	Fisuras	NOTA	Fisura Vertical (V)	
Vigas	Fisuras	Sin Fisuras (X)	Fisura Diagonal (D)	
Muros	Fisuras		Fisura Horizontal (H)	
Estado de Muros				
Unidad	Artisanal	Industrial	Sólido	Tubular/Hueco
Confinamiento	SI	No		
Fisuras	SI	No		
Tarrajeo	SI	No		
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo	
Acharar lote representativo				

**Figura 1. Formato, ficha de evaluación, para vivienda representativa de la manzana.**

### Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo

- a) Preparación de planos para la toma de datos: Basado en la información de planos georeferenciados del INEI del último censo de vivienda del año 2007, se imprimieron los planos para la elaboración de los trabajos de campo en la zona de estudio. A partir de la información suministrada por la municipalidad el distrito está dividido en 5 sectores, tal como se muestra en el mapa No. E-01.

- b) Para tener una mejor referencia de las zonas a las cuales se va a levantar la información y disponer los equipos para este fin, se obtuvo una imagen satelital de alta resolución para uso del proyecto Fortalecimiento de Tecnologías para la Mitigación de Desastres por Sismo y Tsunami en el Perú (JICA-UNI), que tomaremos como referencia en el presente estudio.
- c) Distribución de coordinadores responsables de los equipos de evaluadores: Con los ocho equipos de tres evaluadores cada uno se realizaron salidas periódicas de campo por un espacio de cuatro semanas, trabajándose inclusive días no laborales y feriados. 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. Esta información fue introducida a un sistema de información geográfica (SIG) para su georreferenciación espacial.

La sectorización del distrito se muestra en la Figura 2, que se adjunta a continuación, en donde son identificados los 5 sectores en que se dividió el distrito de Breña.

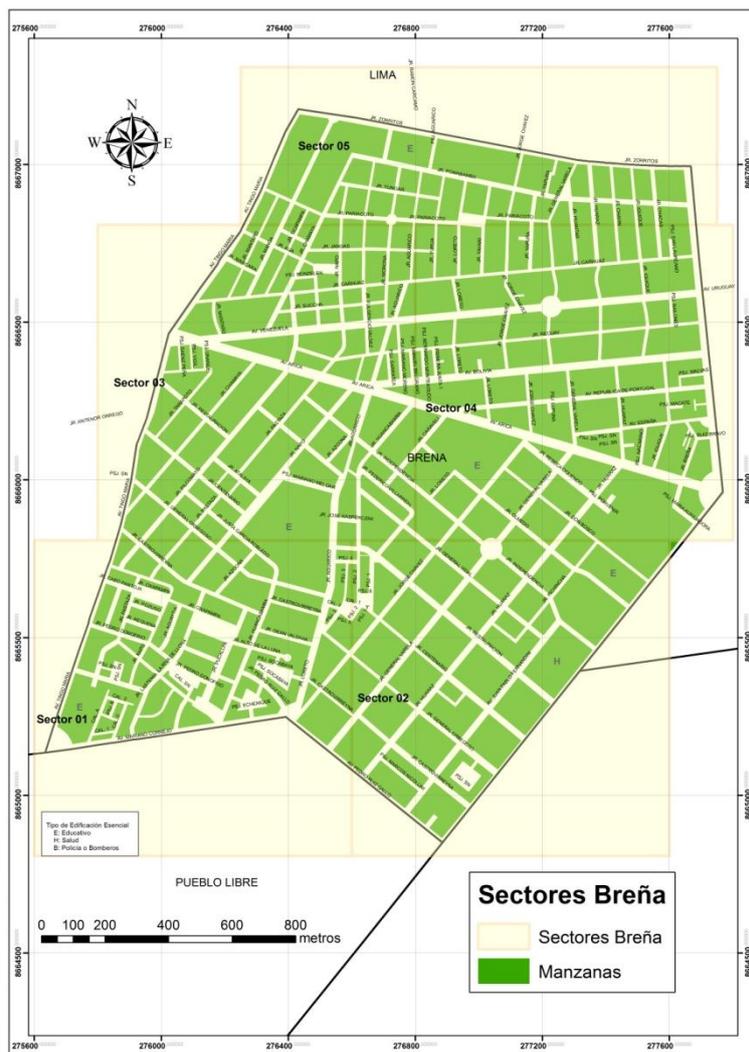


Figura 2. Sectores del distrito de Breña.



### **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 levantada 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. Se verificó en un 30% de los datos involucrados.
  - 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.

### **Georreferenciación y Compatibilización de Planos**

- a) Definición del sistema de georreferenciación  
Según normatividad actual, todos los planos producidos deben estar georreferenciados 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 y verificación en campo usando un dispositivo GPS.

### **Procesamiento de la Información**

Para el procesamiento de la información se creó una base de datos geoespacial donde se integran, 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 en la plataforma 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 25% del total de manzanas debe ser evaluado.

### 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:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{b-a} & \text{para } a \leq x \leq b \\ 0 & \text{para el resto} \end{cases}$$

Donde:  $a$  y  $b$  son los límites geográficos para el distrito de Breña 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 la selección de las manzanas. Es así que se generaron números aleatorios que siguen una distribución uniforme. En la Figura 3 se presenta el total de las 267 manzanas del distrito, y en color rojo las evaluadas y en color verde las no evaluadas. Se presentan las 126 manzanas evaluadas en color rojo y las no evaluadas en color verde. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 47%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle las manzanas que fueron evaluadas.

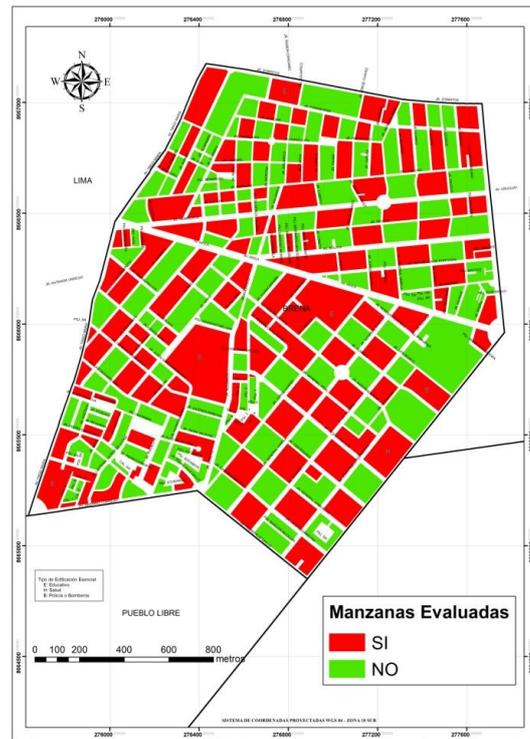
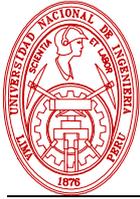


Figura 3. Manzanas totales (267) versus manzanas seleccionadas (126).



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

## CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



En el presente trabajo se optó por considerar una muestra del 47% de las manzanas considerando un nivel de confianza del 95% bajo el supuesto que exista un error del orden del 2.5% en la desviación estándar. Esto produce un tamaño de muestra 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 ( $z = 0.75$ ).

$$n = \frac{0.25N}{\left(\frac{\alpha}{z}\right)^2 (N - 1) + 0.25}$$

Esto produce un tamaño de muestra mínimo de 122 manzanas. En el presente estudio se consideró una muestra de 126 manzanas, bajo dos premisas: primero, con este número de manzanas se cubre el área de estudio y por lo tanto el análisis tiene una mayor consistencia. Segundo el error en la desviación estándar se reduce al 2.5 %.

### Elaboración de la base de datos geo-espacial

Organizada la información a recolectar y las manzanas dónde 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 manzana. 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 tiene las características físicas que se repite más veces dentro de la manzana evaluada. En la Figura 4 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

CONVENIO CISMID/JCMI - MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO - BD ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE BREÑA																
Levantamiento de Información - Distrito de Breña - Lima - Lima																
Num S1	CodMza	LoteRepre	Ind. De Cementac		Techo	Fisuras			Muros			FotoEsq1	FotoEsq2	Fotos FotoEsq3	FotoEsq4	
			Cimenta	Cimentn		FisuraCo	FisuraVig	FisuraM	FabricaAlb	TipaAlb	Confina					Tarrajeo
1	BR067	03CEIB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00428.JPG	\\Fotos_S01\DSC00429.JPG		
2	BR028	01CCIB	NO	NO	Calamina	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00430.JPG	\\Fotos_S01\DSC00431.JPG	\\Fotos_S01\DSC00432.JPG	
3	BR037	02MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00433.JPG	\\Fotos_S01\DSC00434.JPG		
4	BR034	03MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00435.JPG	\\Fotos_S01\DSC00436.JPG		
5	BR079	02MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00437.JPG	\\Fotos_S01\DSC00438.JPG	\\Fotos_S01\DSC00440.JPG	\\Fotos_S01\DSC004
6	BR027	02MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00442.JPG	\\Fotos_S01\DSC00445.JPG		
7	BR025	02MVMVB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00446.JPG	\\Fotos_S01\DSC00447.JPG	\\Fotos_S01\DSC00448.JPG	\\Fotos_S01\DSC004
8	BR024	03MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00450.JPG	\\Fotos_S01\DSC00451.JPG	\\Fotos_S01\DSC00452.JPG	
9	BR008	02MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00453.JPG	\\Fotos_S01\DSC00454.JPG		
10	BR026	02MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00455.JPG	\\Fotos_S01\DSC00456.JPG	\\Fotos_S01\DSC00457.JPG	\\Fotos_S01\DSC004
11	BR009	02MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00459.JPG	\\Fotos_S01\DSC00460.JPG	\\Fotos_S01\DSC00461.JPG	
12	BR115	03MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00462.JPG	\\Fotos_S01\DSC00463.JPG	\\Fotos_S01\DSC00464.JPG	
13	BR091	01AVAR	NO	NO	Torta de Bam	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
14	BR065	02AVAR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos_S01\DSC00468.JPG	\\Fotos_S01\DSC00469.JPG	\\Fotos_S01\DSC00470.JPG	\\Fotos_S01\DSC004
15	BR098	03MVMVB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00474.JPG	\\Fotos_S01\DSC00475.JPG	\\Fotos_S01\DSC00476.JPG	
16	BR092	02MVMVB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00478.JPG	\\Fotos_S01\DSC00479.JPG	\\Fotos_S01\DSC00482.JPG	
17	BR066	02MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00497.JPG	\\Fotos_S01\DSC00498.JPG	\\Fotos_S01\DSC00499.JPG	\\Fotos_S01\DSC005
18	BR097	03MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00503.JPG	\\Fotos_S01\DSC00504.JPG	\\Fotos_S01\DSC00505.JPG	
19	BR099	02MVMVB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00506.JPG	\\Fotos_S01\DSC00507.JPG		
20	BR017	01AVAR	NO	NO	Torta de Bam	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
21	BR036	02AVAR	NO	NO	Madera	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
22	BR096	03MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
23	BR090	03MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
24	BR136	03MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
<b>S2</b>																
1	BR019	02MEMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
2	BR018	07CHIB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
3	BR113	04MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
4	BR117	01ACAR	NO	NO	Torta de Bam	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
5	BR124	01AVAR	NO	NO	Torta de Bam	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
6	BR095	01AVAR	NO	NO	Torta de Bam	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
7	BR093	02AVAR	NO	SI	Madera	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
8	BR061	02MVMVB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	
9	BR016	04MMMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	\\Fotos_S01\DSC00465.JPG	\\Fotos_S01\DSC00466.JPG	\\Fotos_S01\DSC00467.JPG	



Figura 4. 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 análisis y 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 cartográficas, las bases de datos descriptivas y las fotografías de las manzanas. Por cada manzana se tomaron 5 fotografías, una por cada esquina y una del detalle del lote representativo.

La Tabla 1 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.

Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos.

Nombre del Campo	Descripción
AcelMax	Aceleración máxima del terreno en cm/s <sup>2</sup>
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
Confin	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
FotoEsq1	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq2	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq3	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq4	Foto de una esquina de la manzana
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 tartajeo
Techo	Tipo de techo
TipoAlb	Tipo de unidad de albañilería
Uso	Tipo de uso
Verifica	Si es evaluada

La Figura 5 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 fotografía de las manzanas evaluadas por medio de hipervínculos a los archivos que contienen a estas fotos.

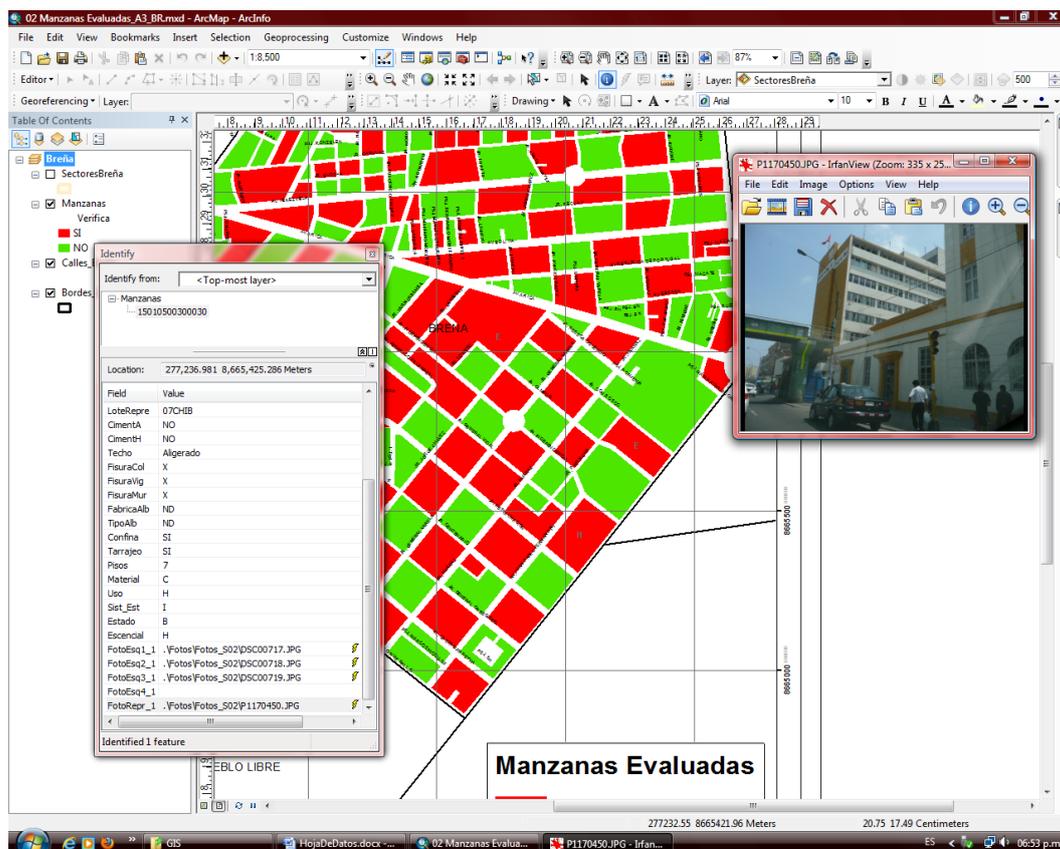


Figura 5. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento.



## **REPORTE DE SUSTENTO DE METODOLOGÍA DE EVALUACIÓN DE DAÑOS**

### **Conceptos Generales**

La determinación del daño está basada en la evaluación de la respuesta sísmica de las edificaciones ante la ocurrencia de un terremoto. La cuantificación del daño se obtiene al comparar los parámetros de serviciabilidad de una edificación, así como los parámetros máximos que dan las normas de diseño, según el tipo de material.

### **Formas de Evaluación de la Respuesta Sísmica**

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 o método empírico está basado, 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 respuesta sísmica 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.

Las edificaciones en general (viviendas, edificios y edificaciones esenciales) pueden ser idealizadas como sistemas de masa y resorte donde la masa es una función del área del lote y del número de pisos, mientras que la rigidez de las estructuras es dependiente del sistema estructural, material predominante y estado de conservación. En este estudio se han utilizado sistemas masa resorte equivalentes que son identificados por el periodo de vibración predominante en la estructura, el mismo que es una función del número de pisos y material predominante. Un esquema de esta idealización se muestra en la Figura 6.

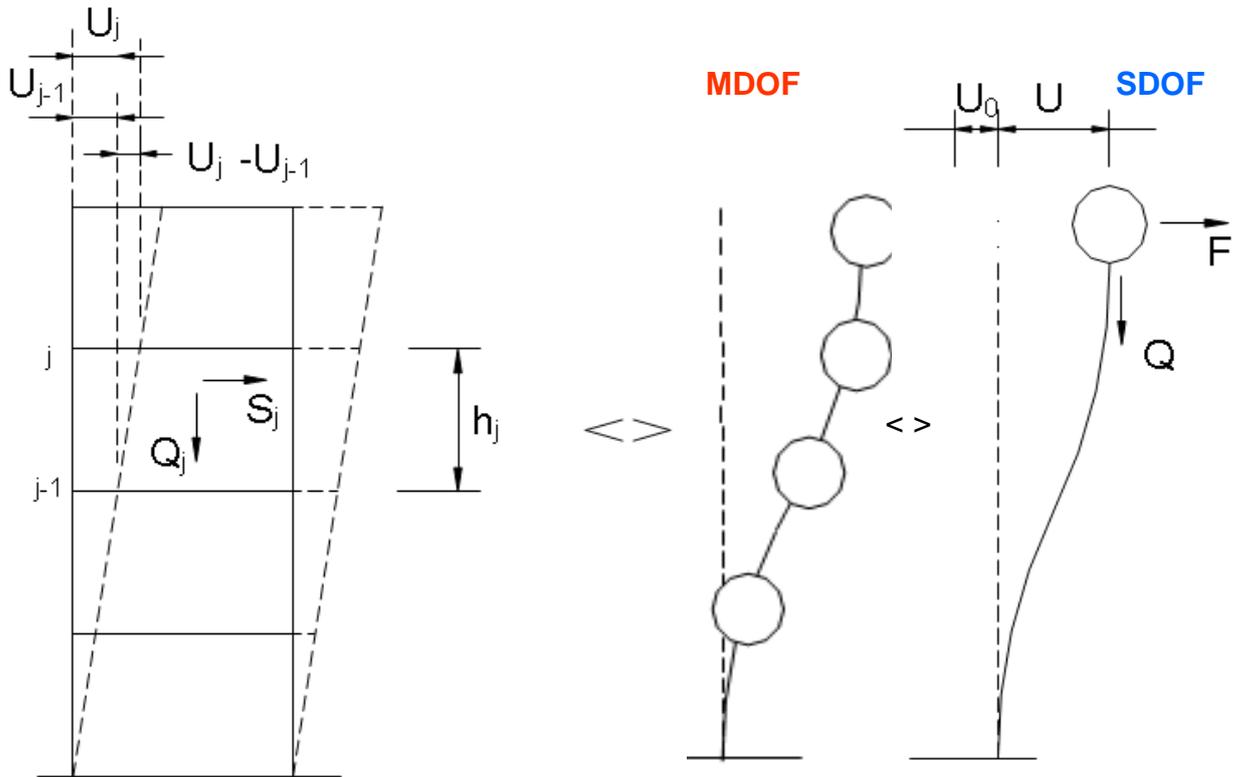


Figura 6: Sistema masa resorte equivalente

Asimismo, ya que los diversos tipos de edificación se encuentran ligados a un nivel socio económico y tomando como base el Estudio de Microzonificación y Riesgo Sísmico de Seis Distritos de Lima, desarrollado en convenio entre Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento con CISMID-FIC-UNI, se identifica en las edificaciones el nivel socio económico de sus ocupantes, basado en la información del Censo Nacional de Población y Vivienda, desarrollado por el Instituto Nacional de Estadística e Informática. De esta forma puede identificarse viviendas de diversos niveles socioeconómicos tal como se muestra en la Figura 7.



Nivel - A



Nivel - B



Nivel - C



Nivel - D



Nivel - E

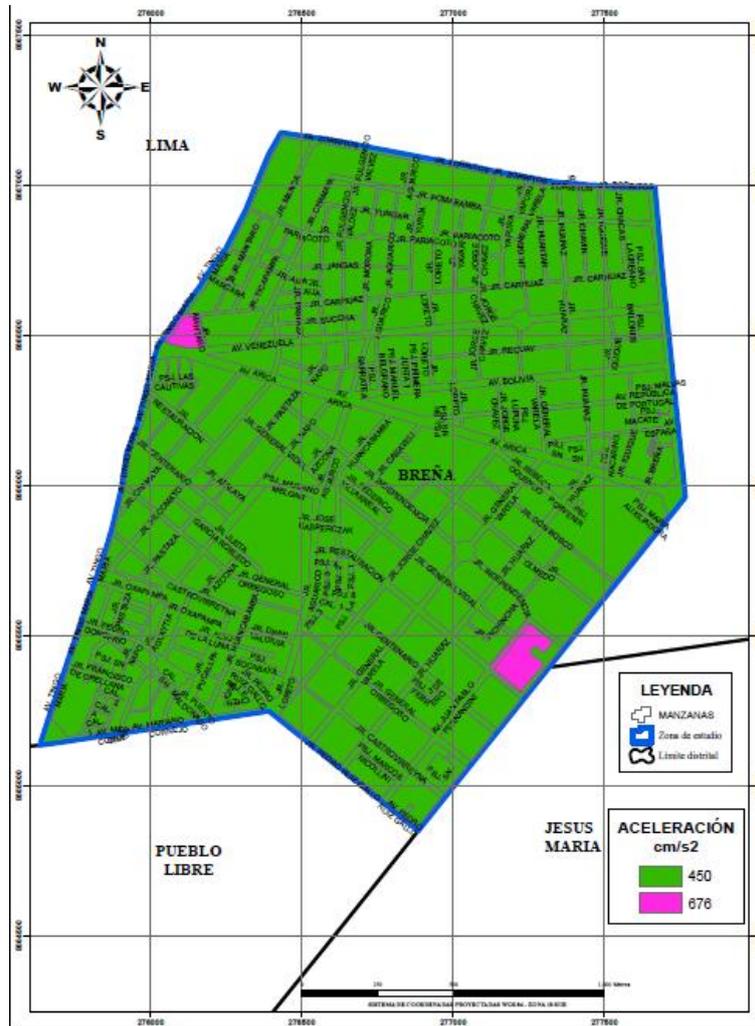
**Figura 7:** Viviendas de diversos niveles socioeconómicos.

Adicionalmente para este análisis es necesario el conocimiento de los costos de reparación que se involucran en el sistema estructural predominante de la edificación, por ejemplo mampostería confinada, donde el costo de reparación involucra reparación de daños en muros, refuerzos en elementos de confinamiento, tarrajeo y pintura entre otros. Del Estudio de Microzonificación y Riesgo Sísmico de Seis Distritos de Lima, desarrollado en convenio entre Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento con CISMID-FIC-UNI, se pudo identificar los costos de reparación de las edificaciones dañadas por un sismo severo basados en un área de lote promedio, tal como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2:** Costo de Reparación unitario por nivel socioeconómico

<b>Distrito</b>	<b>Nivel SE</b>	<b>Área Promedio (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Costo de Reparación (US\$/m<sup>2</sup>)</b>
San Juan de Lurigancho	C, D, E	130	275
Comas	C, D, E	160	300
Puente Piedra	D, E	160	235
Villa El Salvador	D, E	130	400
Chorrillos	C, D	160	950
La Molina	A, B	250	1300

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 la evaluación de la Microzonificación Sísmica presentada en el Informe No. 3 y el catálogo de tipologías de edificaciones representativas del distrito, levantadas en campo, que fue presentado en dicho informe. 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 del lote representativo de las manzanas que conforman la muestra. Para el distrito de Breña se calculó las aceleraciones presentadas en la Figura 8.



**Figura 8:** Aceleraciones máximas en sismo severo.

En una edificación el periodo predominante ( $T$ ) se determina como una función del número de pisos ( $N_p$ ):

$$T = 0.07 N_p$$

Considerando la aceleración máxima que se produce en la microzona ( $S_a$ ), que es mostrada en la Figura 8, puede expresarse la frecuencia circular de la estructura ( $w$ ), como una función del periodo ( $T$ ):

$$w = 2\pi/T$$

Finalmente el desplazamiento espectral ( $S_d$ ) del sistema estructural puede expresarse como una función de la pseudo aceleración y del cuadrado de la frecuencia circular:

$$S_d = S_a / w^2$$

El desplazamiento producirá daño en caso que sea un valor que exceda los parámetros que la normatividad muestra en cada material y asimismo considerando la experiencia de ensayos de laboratorio que tiene CISMID en sus 25 años de acumulación de conocimiento e información. Así, se plantean matrices de daño como la presentada en la Tabla 3, para el caso de edificaciones de albañilería.



**Tabla 3:** Matriz de daño en edificaciones de mampostería.

Distorsión ( $\Delta_j/h_j$ )	Nivel de Daño	Ocurrencia
1/2000 - 1/1000	Sin daño	Ninguna
1/800	Daños menores	Agrietamiento inicial
1/350	Daño severo	Apertura de diagonal total
> 1/200	Colapso	No reparable

**ESTIMACIÓN DEL COMPORTAMIENTO DE LAS EDIFICACIONES Y EDIFICACIONES ESENCIALES EN EL CASO DE UN EVENTO EXTREMO**

Como se mostró en la metodología presentada en el ítem precedente, la estimación del comportamiento de las edificaciones se realiza a partir del diagnóstico de la distorsión de entrepiso. Esta distorsión en un sistema de un grado de libertad (SDOF) ha sido presentado como  $S_d/h_j = \delta_j / h_j$ , sin embargo para una edificación de varios pisos, representada por un sistema de múltiples grados de libertad (MDOF) es necesario relacionar la respuesta utilizando coeficientes  $\beta_i$ .

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 desplazamiento espectral ( $S_d$ ) para el periodo predominante de la estructura entre la altura del edificio (H), dando una aproximación de la distorsión del entrepiso:

$$\left( \frac{\Delta \delta_j}{h_j} \right) = \frac{\beta_1 \beta_2 \cdot \beta_3 \beta_4}{H} S_d$$

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

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

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

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

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

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



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:

$$\beta_4 = \frac{\varphi_{inelastico}}{\varphi_{elastico}}$$

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 a los datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 25 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.



## DIAGNÓSTICO DEL RIESGO SÍSMICO Y MAPAS EN EL DISTRITO DE BREÑA

### Definición de Riesgo 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 las edificaciones.

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 evaluado 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.

Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de Breña, 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 ( $Cr$ ) 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.

$$Cr = \left( \frac{\Delta\delta_j}{h_j} \right) / \lambda)^\varepsilon / 100$$

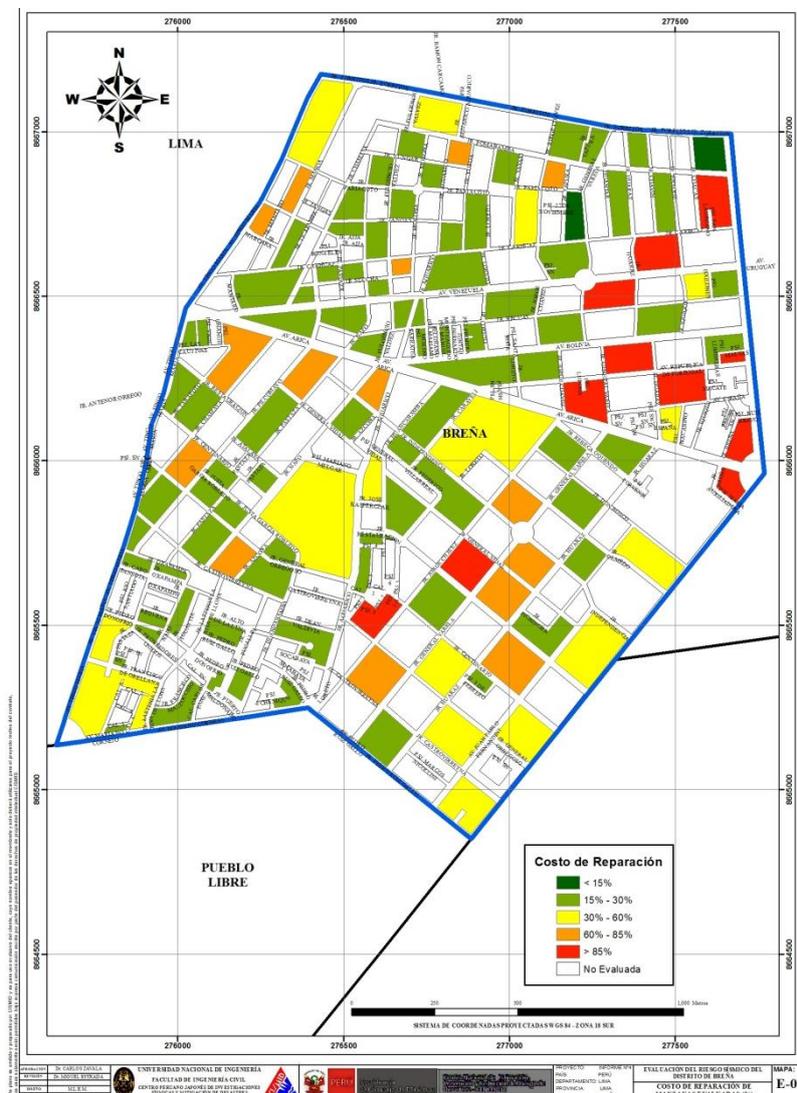
Para el diagnóstico del riesgo se consideró cada registro de la base de datos produciendo el diagnóstico de la distorsión y en base a esta se encontró el Mapa que representa el costo de reparación representativo para la manzana, considerando los resultados del lote representativo.

El desarrollo de este diagnóstico se realizó mediante el proceso que se presenta en la Figura 9.



**Figura 9.** Proceso de generación del mapa de riesgo.

El distrito de Breña cuenta con 267 manzanas, tal que basados en la información de campo se evaluaron 126 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 10.



**Figura 10.** 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



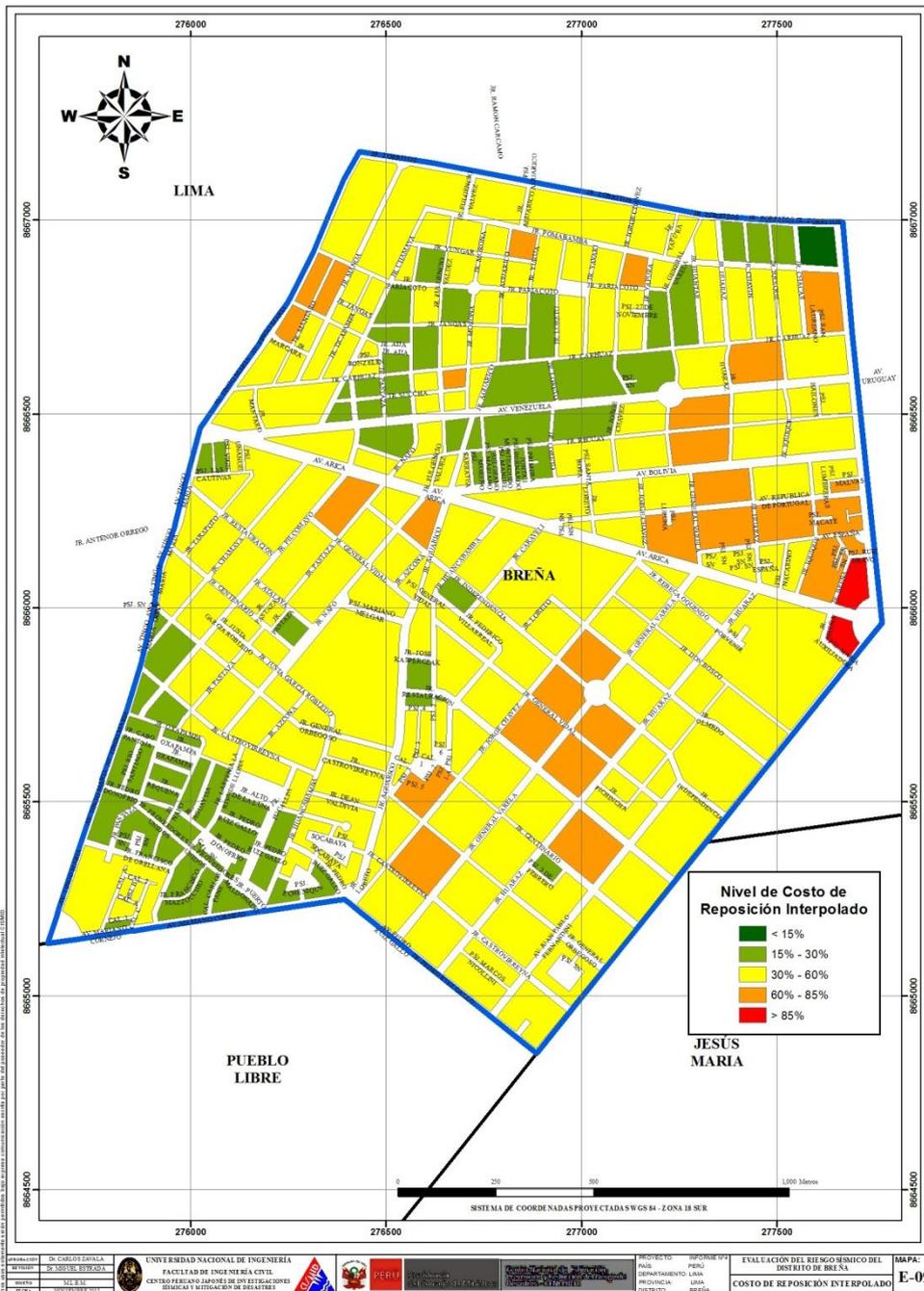
**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



espacial de este archivo es de 5 metros, es decir que cada pixel cubre un área de 25 metros cuadrados de terreno.

La Figura 11 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el distrito de Breña.



**Figura 11. Mapa del costo de reposición interpolado (método IDW)**



**REPORTE DE HALLAZGOS DEL ANÁLISIS DE RIESGO SÍSMICO**

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 4, presenta los resultados de la simulación de riesgo sísmico para el distrito de Breña de las edificaciones destinadas a vivienda (vivienda, multifamiliares y vivienda/comercio).

**Tabla 4: Resultados del daño en el distrito de Breña para un escenario de sismo severo**

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	2	2%	75%	Daño Leve o sin daño
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	74	73%		
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	7	7%	7%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	14	14%	14%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	5	5%	5%	Colapso
				<b>102</b>	<b>100%</b>		

En el Anexo I en el mapa No. E-09, que presenta el riesgo interpolado expresado como porcentaje del costo de la edificación para el distrito de Breña bajo un escenario del sismo de Lima 1966. 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~ 20% del valor de la edificación. Los sectores en amarillo poseerían porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30~60%. Las zonas en color naranja, tendrían porcentaje de costo de reparación entre 60 ~ 85%, mientras que las zonas en rojo tendrían viviendas con costos de reparación entre 85% y 100%. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de viviendas en riesgo de colapso que corresponden al 14% de las viviendas con daño severo y 5% con riesgo a colapso, para el escenario propuesto. Las aceleraciones asumidas para el diagnóstico son las presentadas en el informe de la Microzonificación geotécnica.

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 siguiente.

**Tabla 5: Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales del Distrito de Breña**

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	0			
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	1	14%	14%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	6	86%	86%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	0	0%	0%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	0	0%	0%	Colapso
				<b>7</b>	<b>100%</b>		

Los resultados para las edificaciones esenciales son presentados en el mapa E-09A en donde puede apreciarse los resultados que se presentan en la Tabla 5, que muestra que el 86% de las edificaciones esenciales experimentarían daño moderado, debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales y los suelos donde se ubican.



## **RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE BASES DE DATOS DE INFRAESTRUCTURA UTILIZADAS EN EL ESTUDIO CON FINES DE ANALISIS DE RIESGO**

El análisis de riesgo que se ha realizado se basa en la evaluación del probable daño que sufría una edificación representativa de la manzana evaluada. El método analítico de evaluación se basa en la respuesta estructural de las edificaciones ante las sollicitaciones de las fuerzas sísmicas y los niveles de daño se basan en curvas desarrolladas por tipología estructural y de material obtenidas en ensayos de laboratorio. Este método permite una gran exactitud para el cálculo de los diferentes niveles de daño en las edificaciones que se encuentran en zonas sísmicas.

El grado de detalle de una evaluación de riesgo sísmico se basa en la calidad y cantidad de datos de entrada con se cuenta para realizar dicho análisis. El método propuesto y expuesto en los acápites anteriores puede ser implementado para elaborar mapas de riesgo a diferentes niveles geográficos, es decir, se pueden mostrar mapas de riesgo a nivel de lote, manzana, sector, zona, distrito o región, todo depende de los datos cartográficos con los cuales se cuente y/o el nivel de detalle del levantamiento de datos de campo. Es decir si se tienen mapas a nivel de manzanas el mayor detalle de levantamiento de datos sería este nivel, pero si se tiene la cartografía a nivel de lote, se puede hacer levantamiento de datos de campo tanto a nivel de manzana como a nivel de lote. La restricción en este último caso sería el tiempo o las limitaciones de tipo económico.

Para el desarrollo de un mapa de riesgo de alto detalle, se debería contar con un plano catastral, a nivel de lote, que esté sistematizado en una plataforma SIG. En este plano catastral, el cual estaría conectado a una base de datos descriptiva, donde se presenten todas las características físicas y estructurales de las edificaciones sería una de las fuentes de datos de ingreso o de inicio para este tipo de evaluación. Adicionalmente a estos mapas catastrales se pueden añadir los datos geotécnicos. Los planos de distribución de tipos de suelos acompañados de un estudio de amenaza o peligro sísmico dan como resultado el mapa de microzonificación geotécnica sísmica, el cual sería el otro componente base para realizar el estudio de riesgo.

Finalmente, se recomienda la actualización sistemática de la información catastral, para tener actualizada la base de datos del stock de edificaciones de manera que los estudios de riesgo y los mapas generados, sean actualizados de manera periódica, con la finalidad de proyectar o planificar el desarrollo sostenible de las zonas urbanizadas.



RESUMEN INTEGRAL

ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA, ESTUDIO DE VULNERABILIDAD ESTRUCTURAL Y
DIAGNOSTICO DEL SISTEMA DE AGUA DEL DISTRITO DE BREÑA

Con fecha 7 de Setiembre de 2012, el Centro Nacional de Estimación, Prevención y Reducción del
Riesgo de Desastres (CENEPRED) y la Universidad Nacional de Ingeniería, suscribieron un Convenio
Marco de Cooperación Interinstitucional con el objeto de promover acciones de mutua colaboración. En
fecha 18 de Setiembre de 2012, CENEPRED y la Universidad Nacional de Ingeniería, suscribieron un
Convenio Específico, con la finalidad de iniciar el desarrollo del estudio que conduzca a la Evaluación del
Riesgo Sísmico del Distrito de Breña. Este estudio será realizado por el Centro Peruano Japonés de
Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID).

MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

El estudio fue dividido en cuatro informes cuyos informes No.1 y No.2 presentaban informes parciales del
estudio. En el Informe N° 3 del estudio, se presentó el estudio de Microzonificación Sísmica para el
distrito de Breña.

Este trabajo se ha desarrollado mediante la determinación del peligro sísmico probabilístico (Apéndice A y
Figura R1), las características geotécnicas, y dinámicas del suelo; las cuales son plasmadas en los
mapas de Microzonificación Geotécnica (Apéndice B) e Isoperiodos (Apéndice C) respectivamente y
como resultado final el Mapa de Microzonificación Sísmica presentado en este informe.

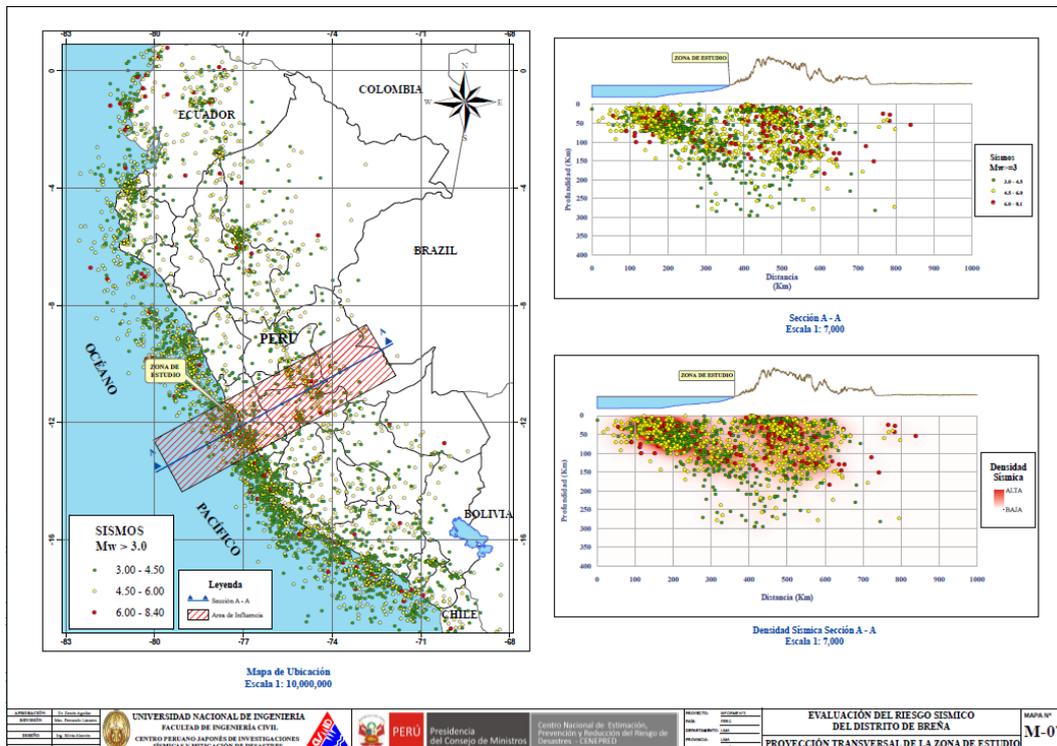
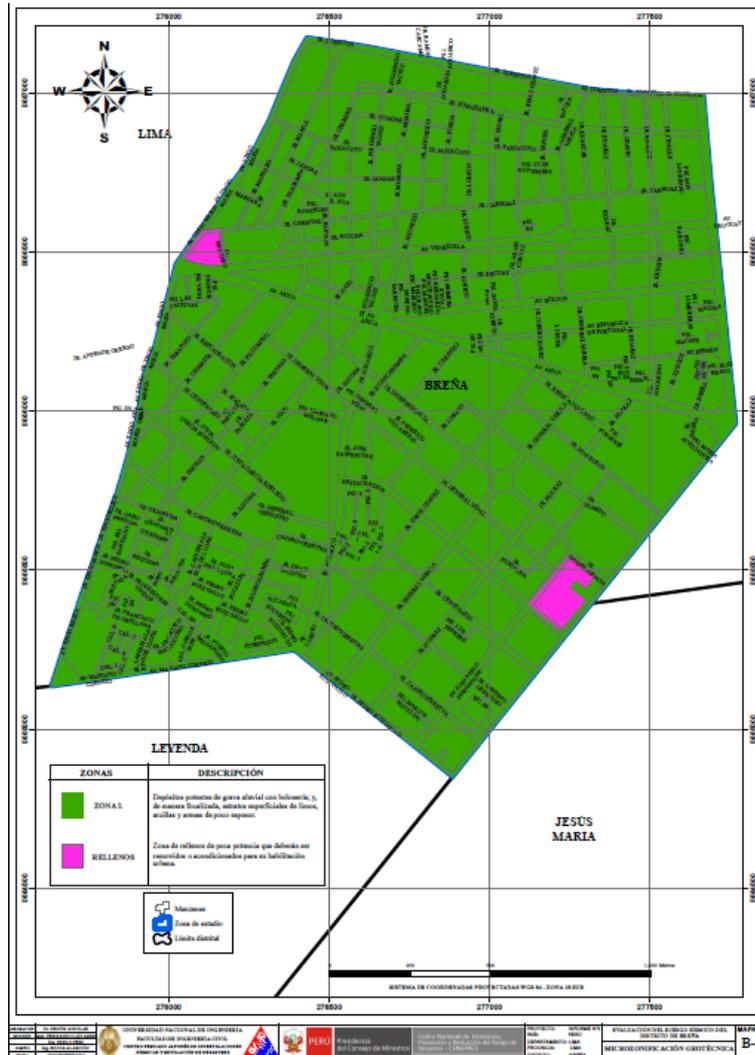


Figura R1: Sísmos en la zona de estudio para una fuente de subducción.

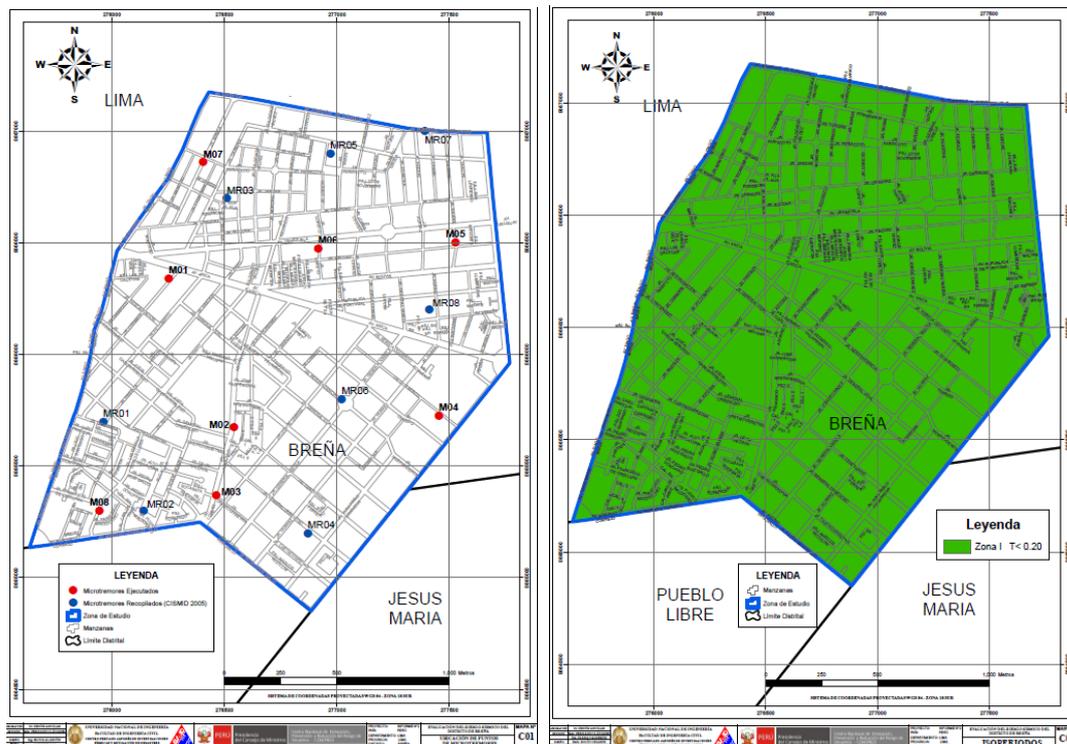
Las características geotécnicas fueron determinadas mediante exploraciones de campo y ensayos de
laboratorio, los cuales permitieron identificar los diferentes tipos de suelo presentes en el área de estudio,
así como también sus propiedades mecánicas, los cuales son presentados en detalle en el Apéndice B,
mostrando en el mapa de microzonificación geotécnica en le Figura R2.



**Figura R2:** Mapa de Microzonificación Geotécnica.

Por otro lado, las características dinámicas, fueron determinadas a partir de mediciones de la vibración del suelo y su posterior análisis mediante métodos descritos en el Apéndice C.

En función de los mapas de microzonificación geotécnica (Apéndice B) y de Isoperiodos (Apéndice C) se ha identificado dos áreas en el Mapa de Microzonificación Sísmica. La Zona I que refleja el comportamiento sísmico del suelo que predomina en el área de estudio y que corresponde a un suelo rígido y la Zona II en donde se ubican material de relleno.



Mapa R3: Microtrepidaciones y Mapa de Isoperiodos

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito de Breña y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Mapa B-4, Apéndice B) y de Isoperiodos (Mapa C-03, Apéndice C) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar dos áreas en el Mapa de Microzonificación Sísmica (I-02). A continuación se describen estas zonas:

### Zona I

Esta zona incluye a los depósitos de gravas emplazadas en la mayor parte del distrito de Breña y a los estratos superficiales, de poco espesor, de limos, arcillas y arenas. Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

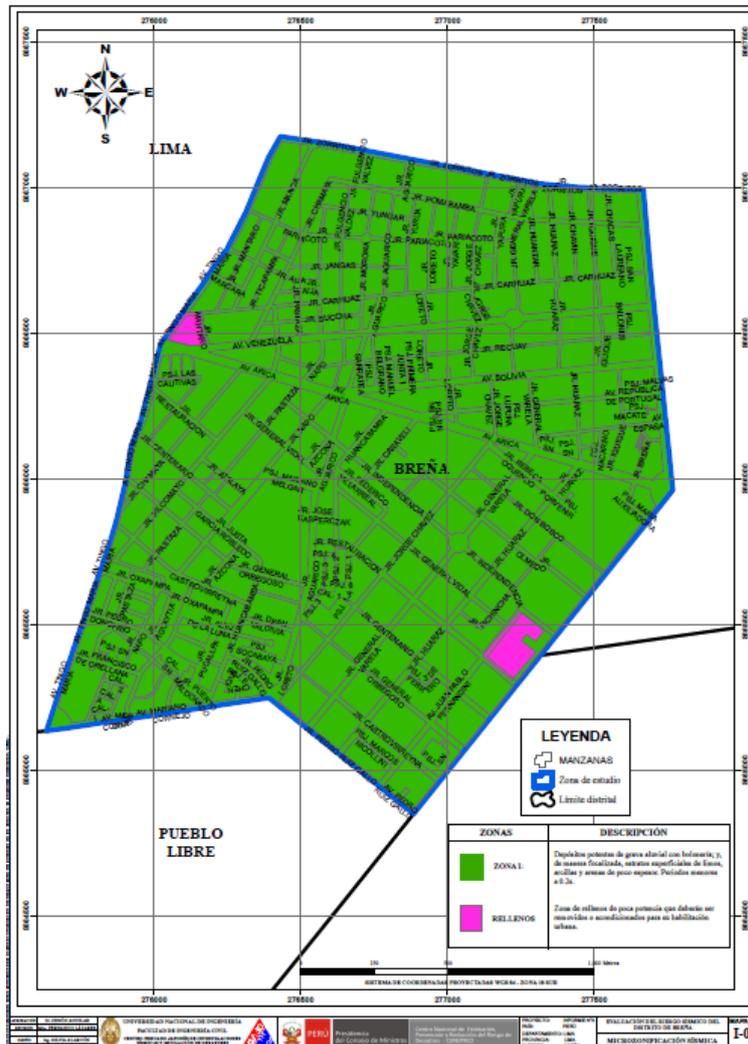
En el caso de que la cimentación se desplante sobre los depósitos de grava, la capacidad de carga admisible resulta ser un valor mínimo de 3.0 kg/cm<sup>2</sup>; y, en el caso que se desplante sobre los estratos superficiales, de poco espesor, de limos, arcillas o arenas, la capacidad admisible varía entre 0.5 y 1.0 kg/cm<sup>2</sup>; para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y desplantada a 1.0 m mínimo de profundidad. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre los depósitos naturales y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos. El periodo de oscilación del suelo es menor a 0.20 s

### Zona II: Zona de rellenos

Esta zona incluye a los rellenos antrópicos de poca potencia, identificados en sectores específicos del área urbana. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos, se considera que estas zonas, actualmente, no son aptas para la construcción de edificaciones.

De acuerdo a la Norma E-050 de Suelos y Cimentaciones (1997), no está permitido cimentar sobre un relleno heterogéneo, por lo cual en lugares como este no es posible estimar la capacidad de carga para cimentaciones. Así mismo estos materiales presentan una mala respuesta frente a un evento sísmico. Por lo cual se ha demostrado en la experiencia que edificaciones cimentadas sobre este tipo de suelo sufren grandes asentamientos y daño severo.

Los rellenos podrían ser reemplazados por material competente, esto podrá ser posible siempre y cuando se ejecuten estudios específicos de mecánica de suelos, que respalden técnicamente esta decisión.



**Figura R4: Mapa de Microzonificación Sísmica**

En los Apéndices A, B y C se presentan a detalle los resultados obtenidos en los diferentes estudios realizados, utilizando tanto la información recopilada como la generada en este trabajo. Adicionalmente en base a los resultados obtenidos en la Microzonificación Sísmica (Figura R4) se generan mapas de velocidad máxima y aceleración máxima para el suelo del distrito de Breña, información necesaria para la estimación del riesgo.



**Figura R5: Aceleraciones y Velocidades en sismo severo del distrito de Breña**

### **EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE LAS EDIFICACIONES**

En el Informe No.3 se realizó la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones, basados en sus características físicas de las estructuras y una evaluación del estado de las mismas. Para la evaluación se prepararon planos para la toma de datos de campo. La toma de información se realizó en edificaciones de albañilería, concreto, acero y sistemas mixtos. Consiste en el llenado de una ficha de evaluación a través de una inspección visual de las edificaciones identificando las debilidades en una manzana, tomándose en detalle los datos de aquella edificación representativa. Antes del inicio de la toma de datos se realizó una capacitación y trabajos de campo previos para uniformizar los criterios de evaluación. Posteriormente los encuestadores recaban la información y alimentan un sistema de información geográfica, que servirá para la evaluación de la vulnerabilidad de edificaciones del distrito de Breña.

Considerando la muestra de manzanas y lotes representativos se implementó una base de datos con la finalidad de estimar la respuesta sísmica de edificaciones a través de la estimación rápida de desplazamientos máximos y distorsiones de entrepiso, método implementado en CISMID para estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico en edificaciones.

A través del cálculo del valor de reparación de una edificación expresado como porcentaje de su costo, a través de la integración de la información geotécnica sísmica, la evaluación de la vulnerabilidad de las edificaciones y la sistematización y procesamiento de toda esta información en una base de datos geoespacial.

Considerando la muestra de manzanas y lotes representativos se implementó una base de datos con la finalidad de estimar la respuesta sísmica de edificaciones a través de la estimación rápida de



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



desplazamientos máximos y distorsiones de entrepiso, método implementado en CISMID para estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones.

Se evaluó el 47% de las manzanas del distrito 267 edificaciones representativas, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 68% de las manzanas. En las viviendas de mampostería, sean éstas de 1 piso (14%), 2 pisos (51%), 3 pisos (27%) y 4 pisos (5%). De acuerdo a lo observado en algunos casos, las construcciones son realizadas con intervención de maestros de obra y personal obrero, sin tener la asesoría técnica de un profesional de la especialidad. Asimismo, existe un 17% de albañilería informal, donde la deficiencia se acentúa con el uso de ladrillo pandereta como portante. Del total de lotes inspeccionados, el 54% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado.

El estado de conservación de las construcciones en un 42.1% es aceptable y bueno. Un 57.1% de las viviendas muestran un estado de conservación regular y otro 0.8% de las viviendas presentan un mal estado de conservación. Finalmente se obtiene el mapa de vulnerabilidad de edificaciones evaluadas, tal como se muestra en la Figura R6.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

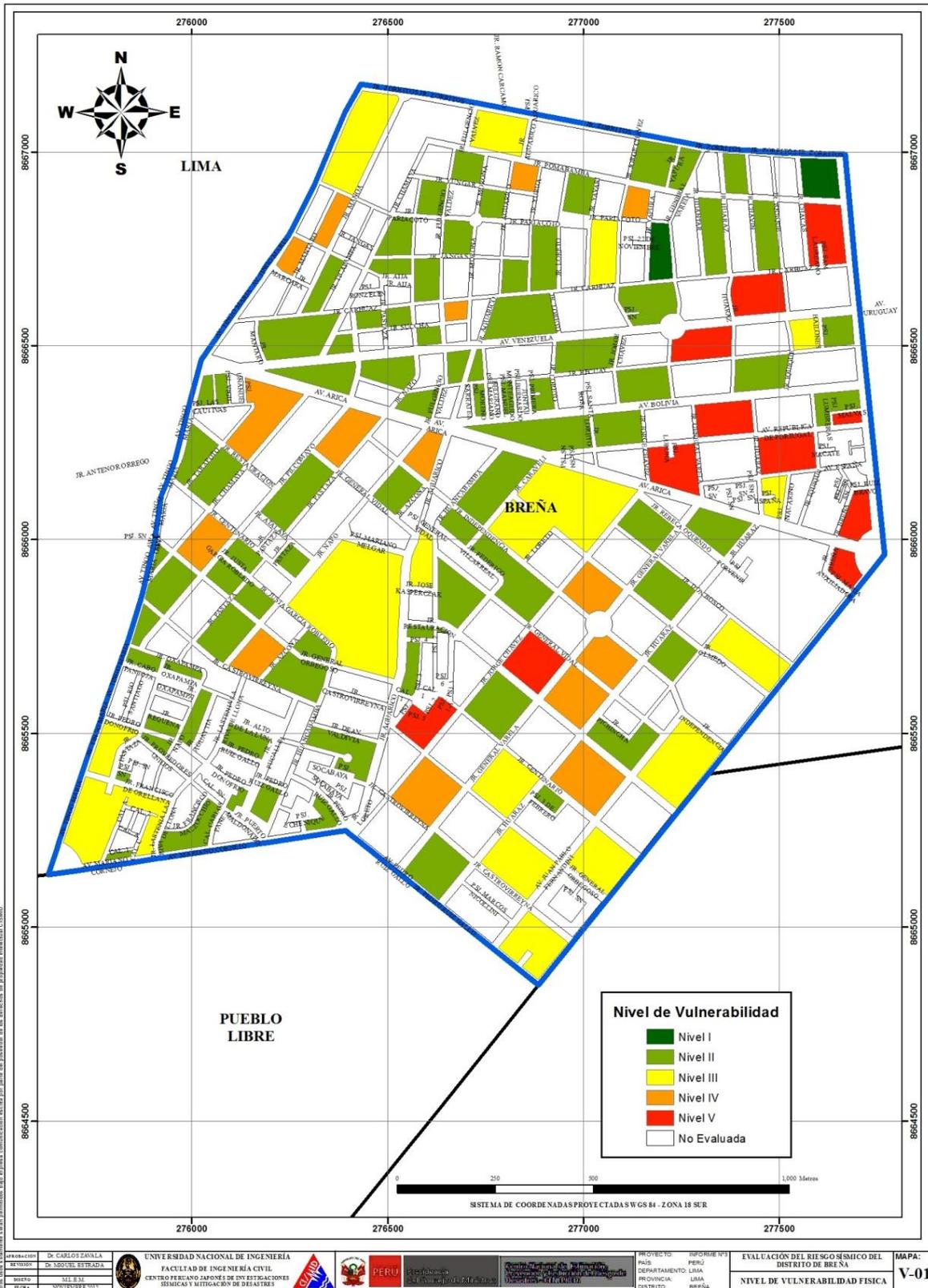
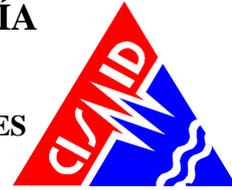
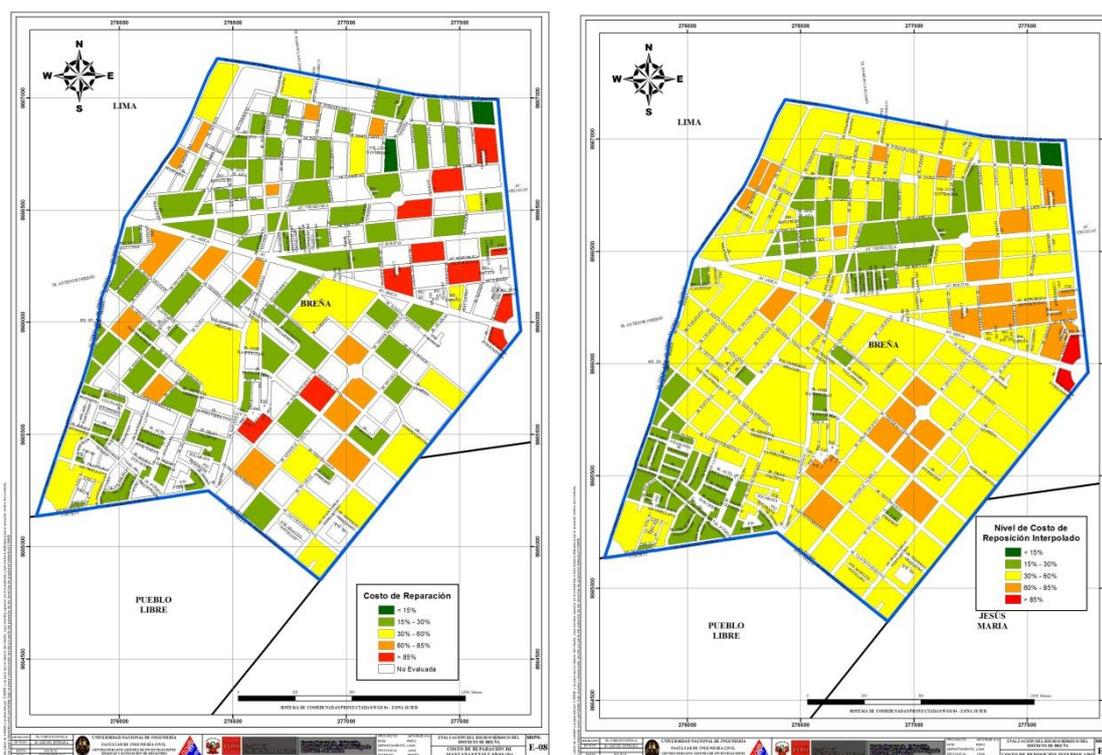


Figura R6: Vulnerabilidad de Viviendas

## DIAGNÓSTICO DEL RIESGO SÍSMICO

Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de Breña, 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, se estimó el nivel de distorsión máxima considerando el escenario sísmico propuesto en el estudio de peligro sísmico, que induce una aceleración máxima en el suelo de 675.6 cm/seg<sup>2</sup>. 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. Se encontró que el 75% de las edificaciones tendrían daño leve o permanecerían sin daño en el evento severo. El 7 % de las edificaciones poseerían un daño moderado, mientras que el 14% de las edificaciones tendrían un daño severo, mientras que el 5% de las edificaciones colapsarían.

En el caso especial de las edificaciones esenciales (Colegios, Establecimientos de Salud, Cuartel de Bomberos, Comisarias) que en caso de un evento sísmico severo deben de seguir funcionando luego del evento, se estima que el 14% no tendrían daño o daño muy leve, 86% tendrían un daño moderado, como se muestra en la Figura R7.



**Figura R7: Riesgo Evaluado y Riesgo interpolado**

El objetivo de este diagnóstico es la evaluación preliminar de la vulnerabilidad del sistema de agua y alcantarillado del distrito de Breña frente a un sismo severo. Para esta evaluación se revisó la información proporcionada por SEDAPAL y asimismo se utilizó información existente en CISMID de estudios en la planta de tratamiento de la Atarjea. Basados en el levantamiento de daños del estudio realizado por CISMID el año 2005, y en el desarrollo del modelo matemático de las estructuras de la planta de tratamiento de la Atarjea donde se utilizó como sismo de diagnóstico los sismos de Lima 9/10/1974 y 17/10/1966, se determinó la respuesta sísmica para las condiciones de los decantadores, encontrándose que 5 de los decantadores son vulnerables, ya que los esfuerzos sobre sus muros no podrían soportar una demanda de sismo severo.

Para la evaluación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción de agua del distrito de Breña, fue necesario preparar la información proporcionada por SEDAPAL, para establecer el tipo de tubería por material y diámetro más utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. Se encontró que el 39.3% de las tuberías son de Fierro Fundido, siendo las más usadas en la línea de conducción, seguidas por las tuberías de Asbesto Cemento que representan un 23.1. Asimismo las líneas de conducción de PVC representan el 22.5% de la red en el distrito.

Considerando la metodología planteada por investigadores japoneses, se tomaron las curvas de Yamazaki e Isoyama para diagnosticar el número de roturas en la línea de conducción de agua del distrito de Breña en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo 12 locaciones con tuberías de asbesto cemento sufrirían roturas, mientras que existirían 12 locaciones en tuberías de PVC con roturas y 8 locaciones con roturas en tubos de fierro fundido. Debe notarse que las condiciones del suelo con altas velocidades producen movimientos sumamente severos en el escenario de sismo severo propuesto.

En cuanto a zonas de mayor concentración de daño por roturas de los sistemas de agua y alcantarillado del distrito de Breña, podemos afirmar que los sectores ubicados en la parte sur del distrito experimentarían una concentración de daño con roturas promedio de 0.57 por kilómetro, tal como se muestra en la Figura R8.

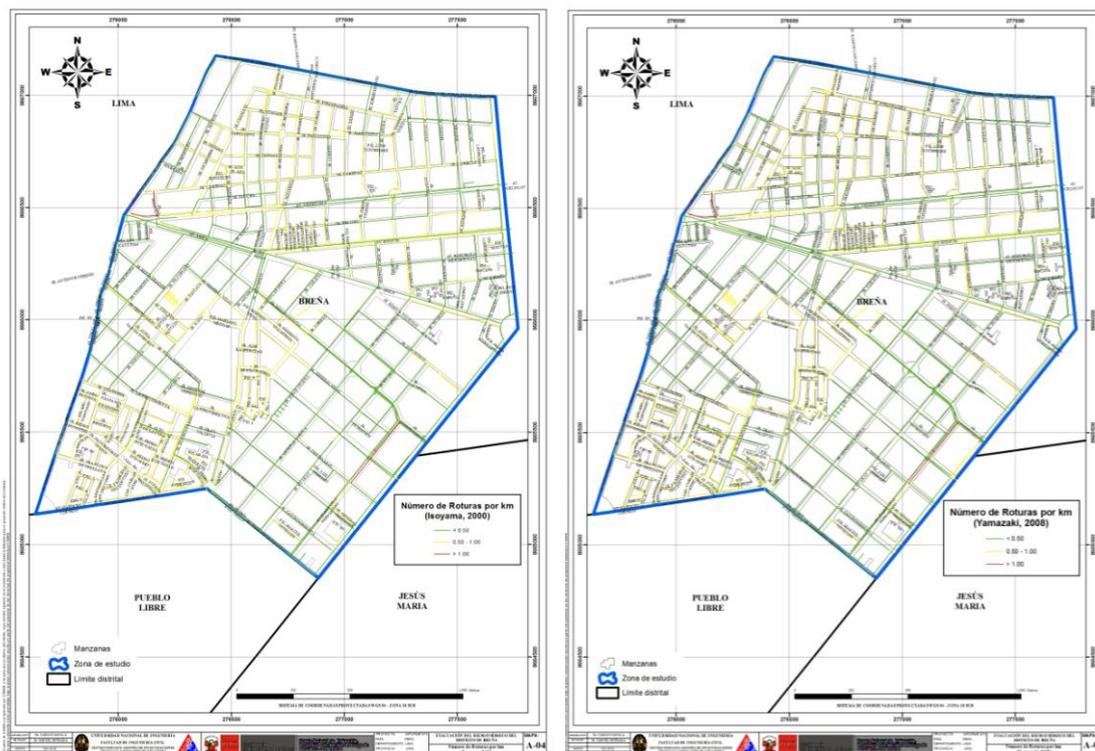


Figura R8: Vulnerabilidad de Sistemas de Agua, método de Yamazaki y método de Isoyama

## RECOMENDACIONES PARA LA MEJORA DE BASES DE DATOS

- Implementar la actualización y sistematización del catastro del distrito.
- Mantener un sistema de información catastral en una plataforma SIG.



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

## CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



- Es recomendable que SEDAPAL implemente una base de datos de las roturas en tuberías de agua y alcantarillado, tomando en cuenta la variable tiempo, ya que para el estudio de los sistemas de agua y alcantarillado 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, proporcionaran un mejor diagnóstico para evitar la interrupción del servicio en caso de sismo severo.



## 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 calculo 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.