

## CONTENIDO

RESUMEN EJECUTIVO DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES EN EL DISTRITO DE LA MOLINA.....	4
ANTECEDENTES .....	5
OBJETIVO.....	5
OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PRESENTE INFORME.....	5
METODOLOGÍA DEL TRABAJO .....	5
LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	7
Organización del Trabajo de Campo .....	7
Preparación de Actividades, Coordinación y Personal .....	7
Metodología de toma de datos.....	7
Plantilla para la encuesta .....	7
Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo.....	8
Procedimiento y Control de Calidad de Datos de Campo .....	9
Georeferenciación y Compatibilización de Planos .....	10
Sistematización de la Información .....	10
Ubicación de las manzanas a evaluar .....	12
Elaboración de la base de datos geo-espacial .....	13
RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PRINCIPALES SECTORES.....	15
Sector 01 .....	15
Sector 02.....	17
Sector 03.....	18
Sector 04.....	18
Sector 05.....	19
Sector 06.....	20
SECTOR 07 .....	21
SECTOR 08 .....	22
SECTOR 09 .....	23
SECTOR 10 .....	23
SECTOR 11 .....	24
SECTOR 12 .....	25
SECTOR 13 .....	26
SECTOR 14 .....	26
SECTOR 15 .....	27
SECTOR 16 .....	27
SECTOR 17 .....	28
SECTOR 18 .....	29
SECTOR 19 .....	33
SECTOR 20 .....	33
SECTOR 21 .....	35
SECTOR 22 .....	37
SECTOR 23 .....	38
SECTOR 24 .....	38



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES .....	39
Conceptos Generales .....	39
Formas de Evaluación .....	39
Método Determinístico .....	39
Método por Criterio.....	39
Método adoptado para el análisis de la muestra en el presente estudio.....	40
Edificaciones en MUSA.....	41
Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Alto:.....	41
Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Medio: .....	41
Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Bajo:.....	42
Materiales Predominantes .....	42
EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES .....	43
SECTOR 2 .....	43
SECTOR 3 .....	44
SECTOR 4 .....	44
SECTOR 6 .....	45
SECTOR 7 .....	45
SECTOR 8 .....	46
SECTOR 10 .....	47
SECTOR 11 .....	47
SECTOR 12 .....	48
SECTOR 13 .....	48
SECTOR 14 .....	49
SECTOR 15 .....	49
SECTOR 16 .....	49
SECTOR 21 .....	50
SECTOR 23 .....	51
SECTOR 24 .....	52
DIAGNÓSTICO DEL RIESGO SÍSMICO EN EL DISTRITO DE LA MOLINA .....	52
Definición de Riesgo Sísmico .....	52
Cálculo del Riesgo Sísmico .....	53
RESUMEN EJECUTIVO DEL DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA Y ALCANTARILLADO.....	57
DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA Y ALCANTARILLADO .....	58
Acerca de la Vulnerabilidad de sistemas de agua y alcantarillado.....	58
Planta de Tratamiento de la Atarjea.....	58
Sistema de Agua y Alcantarillado .....	61
Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua y alcantarillado .....	66
RESUMEN EJECUTIVO DE LAS PROPUESTA TÉCNICA DE REFORZAMIENTO DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA .....	67
PROPUESTA TÉCNICA DE REFORZAMIENTO DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA .....	68
Propuestas representativas para el reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de confinamiento.....	69



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

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

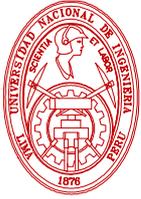


Reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de tamaño o sección .....	70
Reforzamiento de Columnas de Concreto .....	72
Reforzamiento de Zapata Existente de Columna .....	73
Inclusión de Muros de Concreto a partir de Columnas Existentes .....	74
Conclusiones y recomendaciones para el reforzamiento de edificaciones .....	75



## RESUMEN EJECUTIVO DE LA EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES EN EL DISTRITO DE LA MOLINA

- El objetivo del presente trabajo es la evaluación del riesgo sísmico de las edificaciones del distrito de La Molina, 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.
- 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 La Molina, en 24 sectores según la zonificación de identificación que utiliza la Municipalidad de la Molina.
- 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 sísmica en edificaciones.
- Se encontró que básicamente el distrito de la Molina puede calificarse como un distrito residencial, donde las viviendas de albañilería representan 90% de las edificaciones del distrito. La vulnerabilidad de estas edificaciones se ven altamente influenciadas por las condiciones del suelo sobre las cuales se encuentran construidas y por el número de pisos de las mismas. Los resultados de la simulación sísmica nos indican que el 58% de las edificaciones del distrito poseen un grado de vulnerabilidad de media alta a alta, mientras que el 42 % restante posee una vulnerabilidad baja a media baja.
- Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de la Molina, 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 447 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 39% de las edificaciones tendrían daño leve o permanecerían sin daño en el evento severo. El 31 % de las edificaciones poseerían un daño moderado, mientras que el 23% de las edificaciones tendrían un daño severo, mientras que el 7% de las edificaciones colapsarían.
- En el caso especial de las edificaciones esenciales (Colegios, Establecimientos de Salud, Cuartel de Bomberos, Comisarías) que en caso de un evento sísmico severo deben de seguir funcionando luego del evento, se estima que el 36% no tendrían daño o daño muy leve, mientras que 9% tendrían daño moderado. El 36% de las edificaciones esenciales tendrían daño severo y 18% experimentaría colapso.



**CONVENIO ESPECÍFICO DE COOPERACIÓN INTERINSTITUCIONAL ENTRE EL MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO Y LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA “ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y VULNERABILIDAD EN LA CIUDAD DE LIMA”**

**INFORME No. 2- EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD, PELIGRO Y RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE LA MOLINA**

**ANTECEDENTES**

A invitación del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), a través de su Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil, en virtud del convenio marco firmado entre ambas instituciones el 23 de Febrero de 2010, se desarrolla un convenio específico con la finalidad de realizar el estudio de microzonificación sísmica y vulnerabilidad en la ciudad de Lima. Se plantean en el convenio la formulación de estrategias de estudio y desarrollo complementario para la determinación del riesgo sísmico en zonas críticas de la ciudad, además que se involucra el estudio de afectación por un posible tsunami. El presente informe presenta el resultado de los productos 1, 2, 3 y 4 especificados en los términos de referencia del convenio.

**OBJETIVO**

Realizar una evaluación de riesgos en Zonas Urbanas del distrito de La Molina en concordancia con el objetivo general del Programa “Apoyo a la Gestión Integral de Riesgo de Desastres Naturales a nivel urbano.

**OBJETIVOS ESPECÍFICOS DEL PRESENTE INFORME**

1. Elaborar el estudio de microzonificación sísmica del distrito de La Molina
2. Analizar la vulnerabilidad física frente a amenaza sísmica de las edificaciones incluyendo las esenciales en el distrito de La Molina, para generar mapas de riesgo sísmico según escenarios. Entre las edificaciones esenciales se consideran hospitales, escuelas, comisarías, iglesias, bomberos, local municipal principal, puentes.
3. Realizar el diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad de parte del sistema de agua y alcantarillado ante la presencia de sismos y según escenarios, en base a la información remitida por SEDAPAL, a fin de ubicar las zonas de mayor vulnerabilidad de los tramos de las redes, los pozos y nuevos proyectos a ser ejecutados.
4. Realizar el diseño de la propuesta técnica de reforzamiento estructural para las edificaciones de vivienda según su tipología, considerando las particularidades que puedan existir en los distritos.

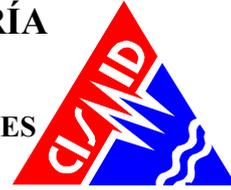
**METODOLOGÍA DEL TRABAJO**

La Universidad Nacional de Ingeniería, a través del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) de la Facultad de Ingeniería Civil, reúne un equipo multidisciplinario en las especialidades de planeamiento urbano, planeamiento contra desastres, ingeniería geotécnica, ingeniería sísmica y otras especialidades, formando un cuerpo de



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

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



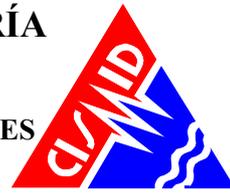
especialistas que pueden desarrollar una metodología de evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas, que pueda ser replicada a nivel nacional.

El equipo multidisciplinario de la UNI, levantará en campo la información requerida para cumplir los objetivos presentados del proyecto. Asimismo la UNI coordinará, a través del Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, con las entidades cuyas competencias se vean involucradas en el estudio, dentro de las que tenemos:

- SEDAPAL;
- Oficina Nacional de Gestión Electrónica e Informática [ONGEI-PCM];
- Instituto Geográfico Nacional [IGN];
- Municipalidades Distritales involucradas;
- Municipalidad Metropolitana de Lima;
- Asociación Peruana de Empresas de Seguros [APESEG];
- El Instituto Nacional de Defensa Civil [INDECI];
- El Instituto Nacional de Estadística e Informática [INEI];
- Las empresas públicas y privadas prestadoras de servicios públicos (luz eléctrica, telefonía, agua y desagüe, gas natural, etc.);
- Las oficinas registrales;
- Los colegios profesionales de arquitectos y de ingenieros.

Estas entidades proporcionarán toda información relevante que pudiera contribuir al desarrollo del estudio.

Posteriormente, con la información de campo, se desarrollarán los trabajos de gabinete, procesando la información recabada y realizando las tareas de simulación, análisis y generación de mapas con la información que sirvan como base para elaboración de la microzonificación sísmica y determinación del riesgo.



## LEVANTAMIENTO 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 inició el trabajo a con la selección de los ingenieros coordinadores, responsabilidad que recayó en el Ing. Patricia Gibu, Ing. Francisco Ríos, Dr. Miguel Estrada y el Dr. Carlos Zavala. Se organizaron 8 grupos de trabajo seleccionándose tres personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo, contado con un total de 24 personas para el levantamiento de la información. El personal seleccionado fue formado por un grupo de jóvenes Ingenieros, Estudiantes de Post grado 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 nuestra realidad a fin que sea utilizado en los sistemas constructivos predominantes en la zona de estudio.

#### ***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 el estado de conservación del sistema representativo.

#### ***Plantilla para la encuesta***

Para tal efecto se utiliza una ficha de evaluación de daños utilizada por nuestra Institución en la evaluación rápida de estructuras, la cual presentamos en la Figura 1.

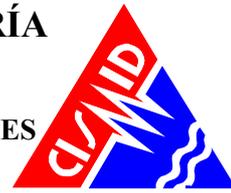
La Ficha está dividida en cinco áreas:

- Área de identificación de cada estructura incluyendo su uso
- Croquis de ayuda.
- Área de identificación geométrica aproximada
- Información del daño por material.

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, se utilizara la imagen satelital para mostrar en el sistema de información la ubicación y estado de la estructura.



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



CONVENIO CISMID/FIC/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO  
 ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE LA MOLINA



INFORMACIÓN DE LA MANZANA  
 CÓDIGO DE LA MANZANA:

LEYENDA PARA LA CODIFICACIÓN DEL LOTE				
(1) N. Pisos	(2) Material	(3) Usos	(4) Sistema Estructural	(5) Conservación
(A) Adobe	(V) Vivienda	(S) Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo	(B) Bueno	
(M) Mampostería	(Y) Vivienda y Comercio	(M) Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Rígidos	(R) Regular	
(C) Concreto	(C) Comercio	(N) Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Flexibles	(M) Malo	
(Q) Quincha	(M) Multifamiliar	(L) Construcción Informal en Albañilería		
(S) Acero	(B) Policía o Bomberos	(A) Adobe y Quincha		
(W) Madera	(E) Educativo	(C) Pórticos de Concreto		
(O) Otros	(H) Hospital	(P) Estructura de Concreto Armado con Placas		
	(I) Industrial	(I) Pórticos de Concreto con Vanos Rigidizados con Mampostería		
	(N) Baldío	(Z) Estructura Celular de Concreto		
	(O) Otros	(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		

**Formato de Ayuda para Codificación del Lote**



CONVENIO CISMID/FIC/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO  
 ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE LA MOLINA



CÓDIGO DE LA MANZANA:	ESTRUCTURACIÓN			CÓDIGO INTERNO:	Observaciones
Material	Adobe	Mampostería	Concreto		
Estado de Conservación	Bueno	Regular	Malo		
Cimentación	Asestamiento	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		

02MCMB	1AVMSR	01AVSR
02SVSR	1AVMSR	01AVSR
03MMMB	2AVMR	01AVSR

Nota 1: La información de la manzana debe estar en plano lotizado adjunto, similar al ejemplo de llenado que se muestra.

LEYENDA PARA LA CODIFICACIÓN DEL LOTE

(1) 1	01	} 01AVSR
(2) Adobe	A	
(3) Vivienda	V	
(4) Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo	S	
(5) Regular	R	

Nota 2: No Evaluado Use (X)

**Figura 1. Formato para vivienda representativa de la manzana**

**Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo**

- Preparación de planos para la toma de datos: Basado en la información de planos georeferenciados, producto del estudio de CISMID/FIC/UNI de año 2003 en el distrito de la Molina y el cruce de información con planos georeferenciados proveídos por COFOPRI y la Municipalidad de la Molina, se imprimieron los planos para la elaboración de los trabajos de campo en las zonas de estudio. A partir de la información suministrada por la municipalidad el distrito está dividido en 24 sectores, tal como se muestra en el mapa No. E-01.
- 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 generó un mosaico de imágenes, obtenidas a partir de aquellas provistas por servidor gratuito de imágenes <http://maps.google.es>.

- 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 calculo con campos similares al de la ficha. Esta información fue introducida a un sistema de información geográfica (SIG) para su georeferenciación espacial.

La sectorización del distrito se muestra en la Figura 2, que se adjunta a continuación, en donde son identificados los 24 sectores en que se dividió el distrito de La Molina.

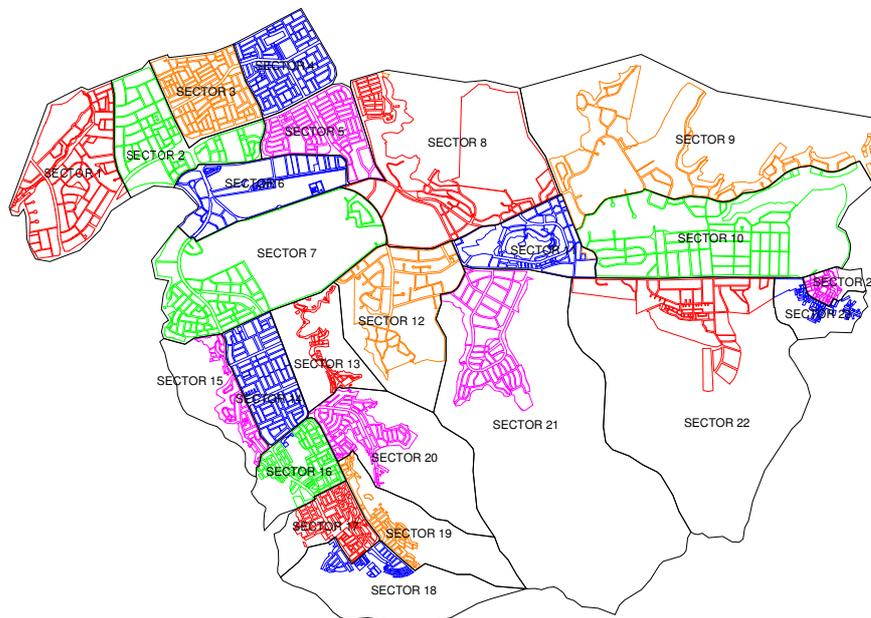


Figura 2. Sectores del distrito de La Molina

#### 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 versión 9.2. 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 25% 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 además de una comparación multitemporal de las imágenes de satélite. La imagen de satélite pre y post evento, sumado al reconocimiento de campo, dan como resultado la verificación del levantamiento de información de campo.

### **Georeferenciación y Compatibilización de Planos**

a) Definición del sistema de georeferenciación

Según normatividad actual, todos los planos producidos deben estar georeferenciados 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.

### **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 inicialmente obtenidos de la municipalidad de La Molina estaban en formato CAD donde se pueden apreciar los sectores, las manzanas y los lotes dentro los límites distritales. El formato CAD, si bien es cierto, es muy utilizado para elaborar planos o mapas de toda índole, no permitía la integración de información de diferentes fuentes y formatos, como son los datos descriptivos y/o integración con información multimedia, como fotografías u otro tipo de información digital. Los datos en formato CAD se trasladaron a una base de datos geo-espacial en formato SIG donde se realizó la integración de los mapas y las bases de datos descriptivas.

Para la transformación de sistemas, de CAD a SIG, se definió que el sistema de coordenadas utilizado sea la proyección Universal Transversal de Mercator, sobre el Datum WGS 84, la zona correspondiente a la Ciudad de Lima es la 18 Sur, tal como se aprecia en la Figura 3. Esta proyección será utilizada para todos los distritos que se van a evaluar dentro del proyecto.

## Zonas UTM

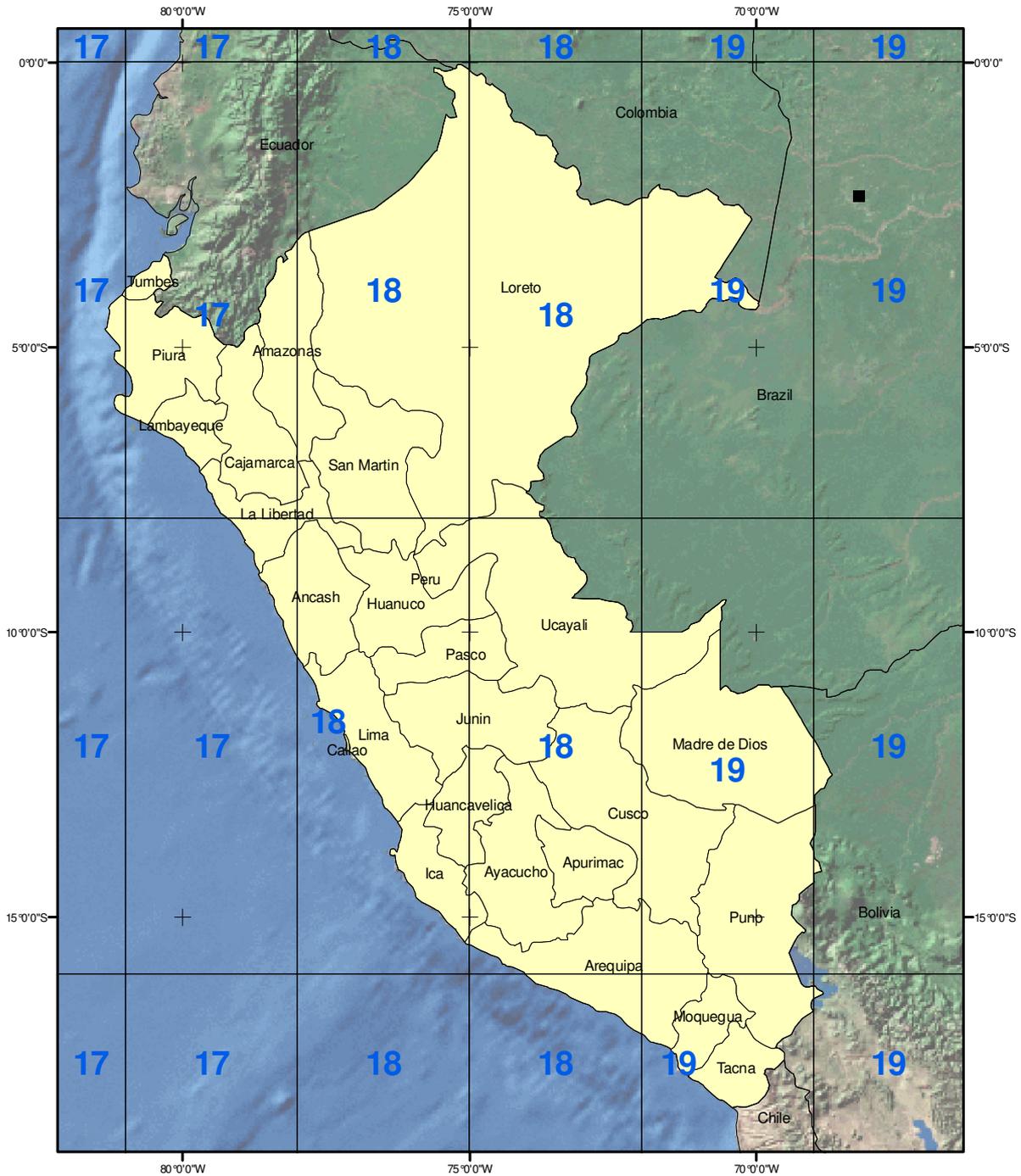


Figura 3. Zonas UTM en el territorio peruano.

La evaluación de las edificaciones, si bien se realizó a nivel de lote, la presentación de los resultados es a nivel de 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 30% 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 La Molina 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 selección de las manzanas. Es así que se generaron número aleatorios que siguen una distribución uniforme. En la Figura 4 se presenta el total de manzanas del distrito, lado izquierdo de la figura, que son 1409 manzanas y en el lado derecho se presenta las manzanas a ser evaluadas, que son 438. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 31.3%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle las manzanas que fueron evaluadas.

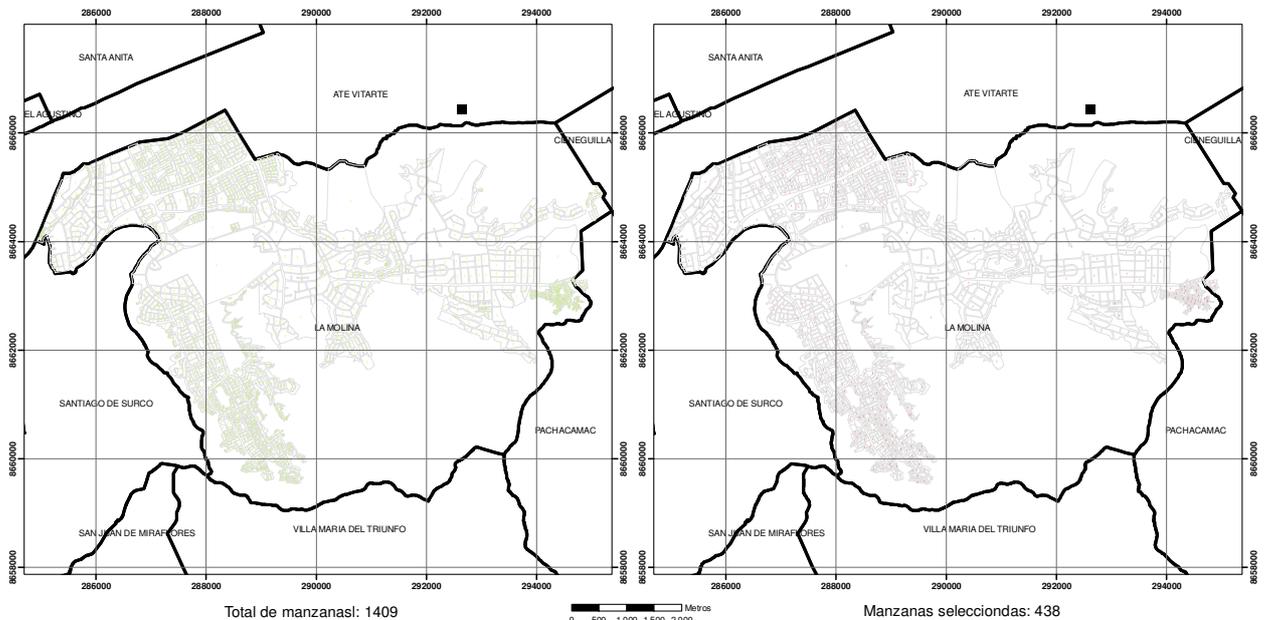


Figura 4. Manzanas totales (1409) versus manzanas seleccionadas (438).



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



**Elaboración de la 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 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 Figura 5 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

CONVENIO CISMID/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO - BID																		
ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE LA MOLINA																		
Levantamiento de Información - Distrito de La Molina																		
Muro	NumMo	CodMza	LoteRepr	CimentA	CimentH	Techo	Fisuras			FabricaAtb	TipoAb	Confin	Taraajec	Fotos				
							FisuraCc	FisuraVig	FisuraMu					FotoEq1	FotoEq2	FotoEq3	FotoEq4	FotoRepres
1	S01_01	75011402200012	04CEPB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	IFotos_S01DSCN8079.jpg	IFotos_S01DSCN8083.jpg	IFotos_S01DSCN8087.jpg	IFotos_S01DSCN8071.jpg	IFotos_S01DSCN8072.jpg
2	S01_02	75011402200019	02CCCB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8123.jpg	IFotos_S01DSCN8092.jpg	IFotos_S01DSCN8095.jpg	IFotos_S01DSCN8114.jpg	IFotos_S01DSCN8116.jpg
3	S01_03	75011401000056	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8130.jpg	IFotos_S01DSCN8126.jpg	IFotos_S01DSCN8138.jpg	IFotos_S01DSCN8135.jpg	IFotos_S01DSCN8141.jpg
4	S01_04	75011401000042	04CCPB	NO	NO	Losas de C. X	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8193.jpg	IFotos_S01DSCN8195.jpg	IFotos_S01DSCN8148.jpg	IFotos_S01DSCN8145.jpg	IFotos_S01DSCN8146.jpg
5	S01_05	75011401000047	01CCBIE	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8193.jpg	IFotos_S01DSCN8172.jpg	IFotos_S01DSCN8193.jpg	IFotos_S01DSCN8192.jpg	IFotos_S01DSCN8174.jpg
6	S01_06	75011401000058	03MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8193.jpg	IFotos_S01DSCN8198.jpg	IFotos_S01DSCN8181.jpg	IFotos_S01DSCN8177.jpg	IFotos_S01DSCN8191.jpg
7	S01_07	75011401000050	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8193.jpg	IFotos_S01DSCN8196.jpg	IFotos_S01DSCN8193.jpg	IFotos_S01DSCN8212.jpg	IFotos_S01DSCN8204.jpg
8	S01_08	75011402200009	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8206.jpg	IFotos_S01DSCN8221.jpg	IFotos_S01DSCN8212.jpg	IFotos_S01DSCN8212.jpg	IFotos_S01DSCN8224.jpg
9	S01_09	75011401000040	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8237.jpg	IFotos_S01DSCN8240.jpg	IFotos_S01DSCN8229.jpg	IFotos_S01DSCN8233.jpg	IFotos_S01DSCN8231.jpg
10	S01_10	75011401000045	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8005.jpg	IFotos_S01DSCN8002.jpg	IFotos_S01DSCN8011.jpg	IFotos_S01DSCN8008.jpg	IFotos_S01DSCN8004.jpg
11	S01_11	75011401000037	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8006.jpg	IFotos_S01DSCN8002.jpg	IFotos_S01DSCN8022.jpg	IFotos_S01DSCN8019.jpg	IFotos_S01DSCN8024.jpg
12	S01_12	75011401000032	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8005.jpg	IFotos_S01DSCN8028.jpg	IFotos_S01DSCN8033.jpg	IFotos_S01DSCN8045.jpg	IFotos_S01DSCN8051.jpg
13	S01_13	75011401000052	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8005.jpg	IFotos_S01DSCN8005.jpg	IFotos_S01DSCN8005.jpg	IFotos_S01DSCN8062.jpg	IFotos_S01DSCN8060.jpg
14	S01_14	75011401000018	02VFLR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Hueco	SI	SI	IFotos_S01DSCN8073.jpg	IFotos_S01DSCN8063.jpg	IFotos_S01DSCN8073.jpg	IFotos_S01DSCN8073.jpg	IFotos_S01DSCN8077.jpg
15	S01_15	75011401000018	02CEIB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	NO	IFotos_S01DSCN8095.jpg	IFotos_S01DSCN8083.jpg	IFotos_S01DSCN8081.jpg	IFotos_S01DSCN8084.jpg	IFotos_S01DSCN8089.jpg
16	S01_16	75011402200002	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8002.jpg	IFotos_S01DSCN8099.jpg	IFotos_S01DSCN8097.jpg	IFotos_S01DSCN8010.jpg	IFotos_S01DSCN8010.jpg
17	S01_17	75011402200001	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8096.jpg	IFotos_S01DSCN8077.jpg	IFotos_S01DSCN8011.jpg	IFotos_S01DSCN8012.jpg	IFotos_S01DSCN8010.jpg
18	S01_18	75011402200005	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8010.jpg	IFotos_S01DSCN8014.jpg	IFotos_S01DSCN8015.jpg	IFotos_S01DSCN8017.jpg	IFotos_S01DSCN8018.jpg
19	S01_19	75011401000001	04MMME	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S01DSCN8013.jpg	IFotos_S01DSCN8013.jpg	IFotos_S01DSCN8013.jpg	IFotos_S01DSCN8012.jpg	IFotos_S01DSCN8016.jpg
20	S01_20	75011401000007	02MVLB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Hueco	SI	NO	IFotos_S01DSCN8044.jpg	IFotos_S01DSCN8047.jpg	IFotos_S01DSCN8035.jpg	IFotos_S01DSCN8038.jpg	IFotos_S01DSCN8041.jpg
21	S02_01	75011402200037	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S02P1120892.jpg	IFotos_S02P1120897.jpg	IFotos_S02P1120900.jpg	IFotos_S02P1120902.jpg	IFotos_S02P1120903.jpg
22	S02_02	75011402200034	03CCCB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	Hueco	SI	SI	IFotos_S02P1120887.jpg	IFotos_S02P1120888.jpg	IFotos_S02P1120893.jpg	IFotos_S02P1120890.jpg	IFotos_S02P1120889.jpg
23	S02_03	75011402200054	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	ND	SI	SI	IFotos_S02P1120839.jpg	IFotos_S02P1120846.jpg	IFotos_S02P1120851.jpg	IFotos_S02P1120856.jpg	IFotos_S02P1120871.jpg
24	S02_04	75011402200046	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	IFotos_S02P1120874.jpg	IFotos_S02P1120877.jpg	IFotos_S02P1120878.jpg	IFotos_S02P1120882.jpg	IFotos_S02P1120886.jpg

**Figura 5. 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 tomaron 5 fotografías, una por cada esquina y una del detalle del lote representativo.

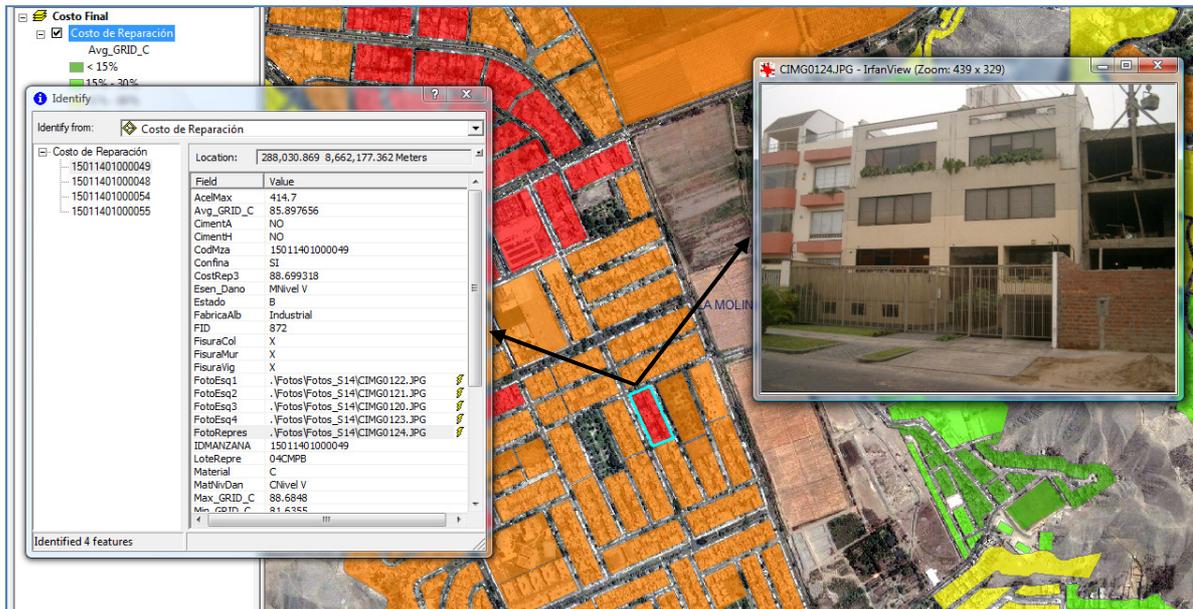
La Tabla 1 presenta la base de datos descriptiva. En esta tabla se muestran todos los campos ordenados alfabéticamente. Esta base de datos contiene la integración de todos los datos, es decir de los datos levantados en campo así como los valores obtenidos del procesamiento de la información, para finalizar 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 reaparación
CimentA	Asentamiento en la cimentación
CimentH	Humedad en la cimentación
CodMza	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
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 tarrajeo
Techo	Tipo de techo
TipoAlb	Tipo de unidad de albañilería
Uso	Tipo de uso
Verifica	Se evalúa

La Figura 6 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 6. 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.

## RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PRINCIPALES SECTORES

### Sector 01

En este sector la muestra representativa objeto de estudio fueron 20 manzanas con un total de 432 lotes evaluados.

Es un sector cruzado y limitado por vías importantes o de ingreso al distrito por lo que en un área se concentran edificios comerciales (supermercado y centros comercial, en la Av. Javier Prado) y de oficinas. Edificios o equipamiento urbano importantes: Colegios (3 en las manzanas trabajadas), Universidad (UNIFE), Clínica, Iglesia, Grifo. En las calles interiores predominan las residencias o edificaciones de vivienda de 1 y 2 pisos. Aunque en ciertas zonas existen rejas de seguridad, el acceso y circulación es libre. No hay muchas áreas verdes, pequeños parques (4).

Los edificios multifamiliares son relativamente modernos y dispersos en su ubicación (Bucaré, Av. Los Frutales, Los Fresnos). En este tipo de uso hay que distinguir también dos condominios o grupos de edificios modernos en la zona adyacente al Colegio Lincoln en la Av. José Antonio, con edificios de 3 y 4 pisos.

En este sector se ubica el AAHH Matzango, que se desarrolla al lado del canal de regadío, se nota claramente la diferencia en el tipo constructivo, acabado y mantenimiento. En esta hilera de viviendas (las manzanas son lineales) y se ubican al pie de la corriente.



Figura 7. Centro Comercial Camacho



Figura 8. Edificios Multifamiliares, calle Las Villas y Av. José Antonio



Figura 9. Viviendas y calle Real en Matuzango



Figura 10. Viviendas al pie del canal de regadío en Matuzango



Figura 11. Clínica Montefiori



Figura 12. Vivienda en zona residencial y reja de seguridad abierta



Figura 7. Viviendas no ingenieriles sector de Matuzango



Figura 8. Uso indiscriminado de ladrillo pandereta como portante

## Sector 02

El Sector 2 está limitado por las avenidas Separadora Industrial, La Molina, Los Frutales, El Golf Los Incas, La Fontana y Los Ingenieros. Este sector cuenta con un total de 41 manzanas de las cuales 19 fueron evaluadas.

En general, este sector corresponde a una zona residencial, donde la mayoría de las edificaciones son viviendas de 2 pisos de mampostería confinada y techos de losa aligerada. Además se encontraron edificios multifamiliares de 4 pisos en promedio con un sistema estructural de pórticos rigidizados con muros de mampostería. En las avenidas La Molina y Javier Prado se pudo observar que la zona es comercial, donde las edificaciones son tipo vivienda-comercio en la mayoría de casos. La Figura 13 muestra algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.

Durante la inspección se pudo observar que las edificaciones se encuentran en buen estado de conservación. No se observaron indicios de asentamiento ni humedad en la base. No se observaron fisuras en los elementos estructurales.



Figura 13. Tipos de edificaciones en el Sector 2



### Sector 03

El estudio de vulnerabilidad sísmica en este sector está representado por 33 manzanas; dicha cantidad caracterizan la situación contractual de las edificaciones del sector en mención.

Dentro del sector 3 se ubican tres avenidas importantes como son la Av. La Molina, la Av. Constructores y la Av. Javier Prado, consideradas comerciales por lo que las edificaciones predominantes en las zonas adyacentes son comercios de un solo nivel cuyo sistema sismorresistente predominante es albañilería confinada o en su defecto viviendas de dos niveles (Figura 14), cuyo primer nivel ha sido acondicionado. La mayoría de las edificaciones que conforman el sector 03, son viviendas unifamiliares (Figura 15) de dos niveles (55%) y de tres niveles (28%) de albañilería confinada y en regular estado de conservación.



Figura 14. Viviendas de uso mixto.



Figura 15. Viviendas de dos y tres niveles.

Otras edificaciones de importancia:

- La zona por ser comercial presenta un centro comercial que ocupa toda una manzana y varios consultorios particulares de médicos y odontólogos.

### Sector 04

Para la realización del estudio de vulnerabilidad sísmica en este sector, se tomó como una muestra representativa de 36 manzanas que representa la condición actual del sector.

El sector 4 se caracteriza por ser una zona urbana. Las edificaciones más representativas de este sector, por orden de representatividad, son las edificaciones multifamiliares de albañilería confinada de 03 niveles en buen estado de conservación (ver Figura 16), viviendas de albañilería confinada de 02 niveles (ver Figura 17) y edificaciones de uso mixto, comercio y vivienda, de 03 niveles.

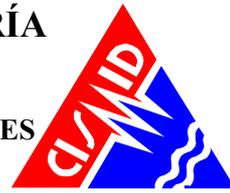


Figura 16. Vivienda multifamiliar albañilería confinada.



Figura 17. Vivienda de albañilería confinada.

Otras edificaciones de importancia:

- 01 Capilla.
- 01 Grifo.
- 01 Antena de telecomunicaciones.
- Huaca Granados.

### Sector 05

El Sector 5, conformado principalmente por la Urbanización Santa Patricia y La Riviera de Monterrico, tiene en su totalidad 74 manzanas, de las cuales se evaluaron 26 donde se inventariaron 786 lotes.

Este sector se caracteriza por ser una zona eminentemente residencial, con algunas edificaciones usadas para comercio y vivienda ubicados en su mayoría en las avenidas principales, como es la Av. Flora Tristán. Además de la Av. Javier Prado otra arteria importante en este sector es la Av. La Fontana, donde se encuentran restos arqueológicos y el local de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad San Martín de Porres. Hacia la zona este del sector se encuentra un local de una organización religiosa que cuenta con una gran área de ocupación. Colindante con la Av. Javier Prado se encuentra un conjunto residencial que ocupa una manzana completa, con edificaciones de 3 pisos. Otras instituciones y organizaciones importantes en este sector son algunas instituciones educativas y un templo católico. Con respecto a las instituciones educativas, se encontró un centro de educativo importante junto a la zona arqueológica y centros educativos menores distribuidos en el sector.

Se puede identificar una edificación típica, como una vivienda unifamiliar de 2 pisos con azotea. El material predominante es la albañilería y con antigüedades de construcción de alrededor unos 20 a 25 años. El sistema constructivo es la albañilería confinada con columnas y vigas de amarre, sistema de muros portantes y losas aligeradas como unidad de entrepiso. La Figura 18 y la Figura 19 muestran estas edificaciones típicas de este sector.



Figura 18. Vivienda típica en el Sector 5.



Figura 19. Vista del conjunto residencial en la Av. Javier Prado.

### Sector 06

En este sector la muestra representativa objeto de estudio fueron 13 manzanas con un total de 398 lotes evaluados.

Una característica de este sector es que una gran manzana -que también es gran parte de su área- está ocupada por Institutos relacionados con el sector agrario, en terrenos frente a la Universidad Agraria (Av. La Universidad). Los predios de vivienda están marcadamente agrupados hasta en tres zonas: las residencias colindantes con la Av. Alameda Del Corregidor, y las desarrolladas alrededor de la mencionada gran manzana: el AAHH Las Hormigas y manzanas aledañas (hacia el Nor-Oeste) y la que va paralela a la Av. La Fontana. Estas zonas residenciales se diferencian en el entorno, apariencia y tamaño de los lotes. El AAHH Las Hormigas se desarrolla básicamente en un corredor con un acceso único por la Av. La Universidad, ya que una calle al fondo del asentamiento ha sido cerrada (ver fotos)

En la zona residencial entre la Av. La Universidad, Alameda del Corregidor y Universidad Agraria, existen 4 rejas de seguridad que encierran esta zona, dos con acceso peatonal y vehicular libre, dos con sólo acceso peatonal. Similarmente en el condominio residencial Los Molinos (Av. La Universidad y Av. La Fontana, de los dos accesos a esta zona cerrada, solo una está abierta y con acceso restringido y la otra está permanentemente cerrada.

Los predios residenciales típicos son de albañilería, de uno y dos niveles. También son característicos los pequeños edificios de departamentos (3 pisos) en varias manzanas trabajadas de la Av. La Fontana, su paralelas Antúnez de Mayolo y Alpamayo.

Hay muy pocos predios dedicados al comercio (local, de barrio) están en Las Hormigas y en la Av. Fontana, correspondiendo a edificios de uso mixto (comercio-vivienda)

Edificios o instituciones importantes: Colegio Antonio Raimondi, Instituto San Ignacio de Loyola, Instituto de Desarrollo Agroindustrial, Senasa, Instituto Internacional de la Papa, Grifo



Figura 20. Calle Alpamayo y Ampato. Cerco a la derecha colindante con AAHH Las Hormigas



Figura 21. AAHH Las Hormigas. Cerco al fondo de la calle Las Hormigas



Figura 22. Edificio Multifamiliar moderno



Figura 23. Edificio Institucional: Senasa



Figura 24. Vivienda



Figura 25. Acceso cerrado (Los Molinos)

## SECTOR 07

El Sector 7 está limitado por las avenidas La Universidad, Rinconada Baja, Raúl Ferrero y Alameda del Corregidor. Este sector cuenta con un total de 60 manzanas de las cuales 19 fueron evaluadas.



Este sector corresponde a una zona residencial, donde la mayoría de las edificaciones son viviendas de 2 pisos de mampostería confinada y techos de losa aligerada. Además se encontraron algunos edificios multifamiliares de 4 pisos en promedio, con un sistema estructural aporticado y rigidizado con muros de mampostería. La Figura 26 muestra algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector. Además se encuentra el campus de la Universidad Nacional Agraria La Molina que ocupa aproximadamente el 70% del área total del sector.



**Figura 26.** Viviendas de mampostería

Durante la inspección se pudo observar que las edificaciones se encuentran en buen estado de conservación. No se observaron indicios de asentamiento ni humedad en la base. No se observaron fisuras en los elementos estructurales.

## **SECTOR 08**

Para la evaluación del Sector 8 se tomó 21 manzanas como muestra representativa de dicho sector con un total de 351 lotes evaluados.

De la evaluación realizada el 87% de los lotes están construidos, la mayoría de edificaciones son de 02 y 03 pisos que representan el 64% y 25% de las edificaciones respectivamente. El material de construcción predominante con un 95% es la mampostería. El uso más representativo de las edificaciones es de vivienda y multifamiliares con 75% y 12% respectivamente. El sistema estructural predominante es la mampostería confinada con diafragma rígido con un 95%. El estado de conservación es bueno con un 99% del total de las edificaciones evaluadas.

Las edificaciones representativas del Sector 8 se muestran en la Figura 27 y Figura 28.



Figura 27. Vivienda de mampostería confinada de 2 pisos



Figura 28. Vivienda multifamiliar de mampostería confinada de 3 pisos

### SECTOR 09

El Sector 09 ubicado en la zona noreste del distrito, está caracterizado por edificaciones netamente para viviendas a excepción de 2 grandes instituciones recreativas para actividades de golf. Es una zona con viviendas en terrenos de grandes áreas y de poca altura, por lo general de uno o dos pisos. Estas edificaciones se encuentran en muy buen estado y al parecer todas han sido edificadas con dirección técnica. Esto se deduce por la clase social de los propietarios de estas edificaciones. La



Figura 29. Viviendas de mampostería confinada de 2 pisos en muy buen estado.

### SECTOR 10

El Sector 10 está limitado por las avenidas La Molina, El Sol, El Lindero, La Planicie, Las Dunas, El Parque. Se tomó como una muestra representativa de 14 manzanas que representa la condición actual del sector.



Este sector se caracteriza por ser una zona residencial. Las edificaciones más representativas de este sector por orden de representatividad son: viviendas de albañilería confinada de 01 y 02 niveles, edificaciones multifamiliares de albañilería confinada de 02 niveles (ver Figura 30).

Durante la inspección se pudo observar que las edificaciones se encuentran en buen estado de conservación. No se observaron indicios de asentamiento ni humedad en la base. No se observaron fisuras en los elementos estructurales.



**Figura 30.** Vivienda multifamiliar albañilería confinada.

## **SECTOR 11**

Para la evaluación del Sector 11 se tomó 10 manzanas como muestra representativa de dicho sector con un total de 146 lotes evaluados.

De la evaluación realizada el 91% de los lotes están construidos, la mayoría de edificaciones son de 01 y 02 pisos que representan el 21% y 71% de las edificaciones respectivamente. El material de construcción predominante con un 96% es la mampostería. El uso más representativo de las edificaciones es de vivienda y de comercio con 75% y 14% respectivamente. El sistema estructural predominante es la mampostería confinada con diafragma rígido con un 86%. El estado de conservación es bueno con 80%, regular con 13% y malo con 7% del total de las edificaciones evaluadas.

En la Figura 31 se muestra una vivienda de mampostería confinada en buen estado representativa de este sector y en la Figura 32 una edificación de comercio de mampostería informal con diafragma flexible en mal estado.



Figura 31. Vivienda de mampostería confinada de 2 pisos



Figura 32. Comercio de mampostería informal de 01 piso

## SECTOR 12

El Sector 12 está limitado por las avenidas La Universidad, Rinconada Baja, Raúl Ferrero y Calle 7. Este sector cuenta con un total de 26 manzanas de las cuales 7 fueron evaluadas.

Este sector corresponde a una zona residencial, donde la mayoría de las edificaciones son viviendas de 2 pisos de mampostería confinada y techos de losa aligerada. Además se encontraron algunos edificios multifamiliares de 3 pisos en promedio, con un sistema estructural aporticado y rigidizado con muros de mampostería. La Figura 33 muestra algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



Figura 33. Tipos de edificaciones en el Sector 12

Durante la inspección se pudo observar que las edificaciones se encuentran en buen estado de conservación. No se observaron indicios de asentamiento ni humedad en la base. Debido a que la mayoría de las edificaciones cuentan con tarrajeo en sus cuatro costados, se hizo difícil identificar el tipo de unidad de mampostería utilizado. No se observaron fisuras en los elementos estructurales.

## SECTOR 13

Para la realización del estudio de vulnerabilidad sísmica en este sector, se tomó como una muestra representativa de 09 manzanas que representa la condición actual del sector.

El sector 13 se caracteriza por comprender Asentamientos Humanos en las laderas de los cerros. La edificación más representativa de este sector es la vivienda multifamiliar de albañilería informal de 02 niveles (ver Figura 34 y Figura 35), que presenta un estado de conservación mala y regular.



Figura 34. Vivienda de albañilería informal.



Figura 35. Viviendas en ladera de cerros.

## SECTOR 14

El Sector 14 está limitado por las avenidas Raúl Ferrero, Alameda del Corregidor, Viña de la Molina y Los Fresnos. Este sector cuenta con un total de 73 manzanas de las cuales 26 fueron evaluadas.

Las edificaciones más representativas de este sector, por orden de representatividad, son: viviendas de albañilería confinada de 02 niveles (ver **Figura 36**), viviendas de albañilería confinada de 03 niveles (ver Figura 37), edificaciones multifamiliares de albañilería confinada de 03 niveles, viviendas de albañilería confinada de 01 nivel. Se observaron edificaciones mixtas comercio y vivienda en las avenidas Raúl Ferrero y Alameda del Corregidor.



Figura 36. Viviendas de mampostería



Figura 37. Viviendas de mampostería



Durante la inspección se pudo observar que las edificaciones se encuentran en buen estado de conservación. No se observaron indicios de asentamiento ni humedad en la base. No se observaron fisuras en los elementos estructurales.

## SECTOR 15

El estudio de vulnerabilidad sísmica en este sector está representado por 07 manzanas; dicha cantidad caracterizan la situación contractual de las edificaciones del sector en mención.

El sector 15 se encuentra ubicado a lo largo de la avenida Alameda del Corregidor, delimitado por las Av. Raúl Ferrero y Viñas de la Molina. Está conformada en su mayoría por viviendas unifamiliares de mampostería de dos niveles, en buen estado de conservación (Figura 38) y por edificios multifamiliares que por encontrarse cerca de un mercado, el primer nivel ha sido destinado a comercio (Figura 39) la configuración sismorresistente predominantes de estas edificaciones es de pórticos en el sentido transversal y albañilería confinada en el sentido longitudinal, la mayoría se encuentran en regular estado de conservación.



**Figura 38.** Vivienda Unifamiliar de Albañilería.



**Figura 39.** Vivienda multifamiliar destinada a comercio en el primer nivel.

Asimismo, existen edificaciones importantes, las cuales se distribuyen del a siguiente manera:

- 01 Mercado Informal ubicado en la calles Las Cascadas, conformado por galerías y viviendas acondicionadas para el comercio.

## SECTOR 16

Para la evaluación del Sector 16 se tomó 28 manzanas como muestra representativa de dicho sector con un total de 497 lotes evaluados.

De la evaluación realizada el 83% de los lotes están construidos, la mayoría de edificaciones son de 02 y 03 pisos que representan el 40% y 44% de las edificaciones respectivamente. El material de construcción predominante con un 100% es la mampostería. El uso mas representativo de las edificaciones es de vivienda y multifamiliares con 64% y 25% respectivamente. El sistema estructural



predominante es la mampostería confinada con diafragma rígido con un 95%. El estado de conservación es bueno con un 33% y regular con 65% del total de las edificaciones evaluadas.

En la Figura 40 se muestra una vivienda de mampostería confinada con diafragma rígido en buen estado y Figura 41 una vivienda multifamiliar de 03 pisos de mampostería confinada en regular estado.



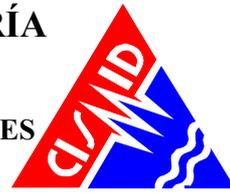
**Figura 40.** Vivienda de mampostería confinada de 2 pisos



**Figura 41.** Vivienda multifamiliar de mampostería confinada de 3 pisos

## SECTOR 17

Sector en crecimiento, con el desarrollo de edificaciones de uso multifamiliar de tres pisos. La característica estructural de estas edificaciones es la albañilería confinada con elementos de columnas y vigas, así como, muros portantes en todos los niveles. Al lado oeste del sector se destaca una topografía con relativamente altas pendientes, ya que el desarrollo de la zona urbanizada se está realizando ocupando las laderas de los cerros colindantes. Es por esta razón que se ha encontrado en algunas edificaciones muros de concreto armado de varios metros de altura como elemento de fundación. Otro tipo de edificación común, son las viviendas unifamiliares de dos pisos, de mampostería confinada y losas aligeradas de concreto. En este sector se encuentran dos avenidas importantes: la Av. Alameda del Corregidor donde existes edificaciones de uso mixto, comercio y vivienda, y la Av. Los Fresnos donde se observa que las edificaciones están aún consolidándose con edificaciones de 2 y tres pisos, con algunos comercios. Las edificaciones tienen una antigüedad menor a 15 años en promedio, lo que indica que es una zona en desarrollo. En la zona este de este sector destaca un conjunto residencial con edificios de 3 pisos al parecer de albañilería confinada, este conjunto residencial se encuentra en un terreno con pendiente. La muestra algunas edificaciones típicas del sector.



**Figura 42:** Edificaciones típicas del Sector 17. Vivienda multifamiliar y conjunto residencial.

## SECTOR 18

Este sector se encuentra limitado por la Av. Alameda del Corregidor, la Av. Los Fresnos (Portada del Sol) y los cerros circundantes. La principal vía de comunicación interior es la Av. Alameda del Corregidor, la misma que recorre la urbanización en toda su extensión, terminando en la Av. Los Fresnos.

El Sector 18, está tipificado como zona residencial donde la estructura típicas son las viviendas, se desarrolla y se extiende en dos ejes (Figura 43), uno hacia el fondo de la Av del Corregidor, y el otro en la prolongación de la Av. Portada del Sol (Fresnos), en franjas de terrenos en pendiente hacia las laderas de los cerros. En las zonas más altas de la ladera las calles se desarrollan con curvas cerradas y pendientes, habiéndose logrado el terreno para construir las viviendas en franjas muy estrechas (alargadas, poco anchas) lo que determina varias manzanas de solo un lote de ancho, por lo general con un solo frente de acceso, hacia la calle más baja con desniveles significativos.

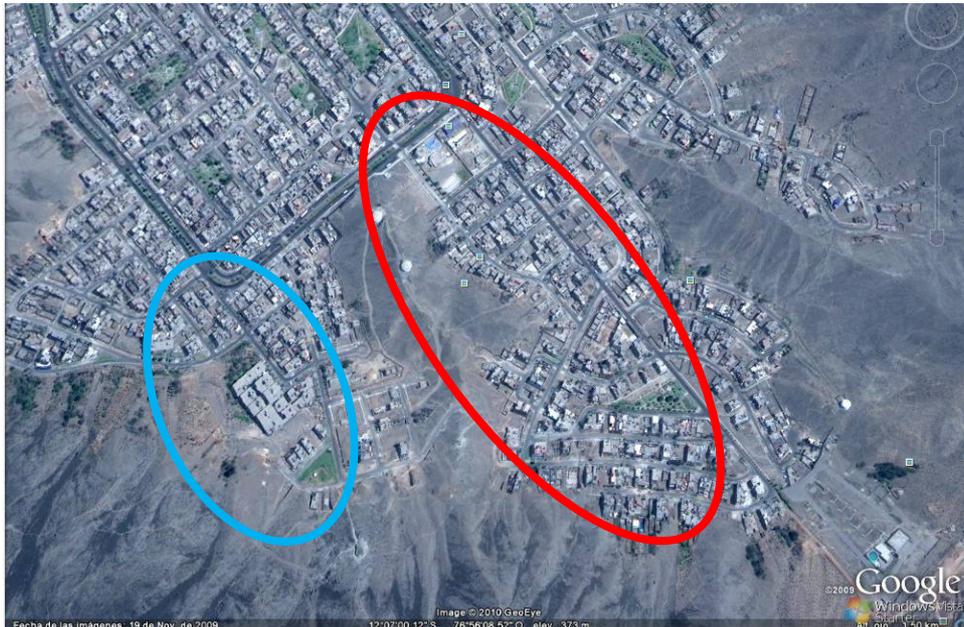


Figura 43: Vista de los ejes principales del sector 18. Imagen de Google Earth.

Muchas manzanas son de forma irregular, típica zona de viviendas, se observaron también edificios multifamiliares de 3 pisos.

Este es un sector en desarrollo, por lo que se observaron muchos lotes baldíos y muchas viviendas u otros edificios en construcción:

La Capilla Santa María, en el cruce de Av. Portada del Sol (Fresnos) con Av. Del Corregidor, es una estructura provisional ligera, cuya construcción definitiva se desarrolla al lado. En la misma manzana de la capilla hay un centro recreacional con piscina. El colegio Jean Piaget posee también en obras de ampliación de sus edificios.



Figura 44. Casa de esquina en calle con desnivel



Figura 45. Gran desnivel entre calles paralelas



Figura 46. Capilla Santa Maria (estructura provisional)



Figura 47. Capilla en construcción



Figura 48. Colegio Jean Piaget, ampliación de ambientes



Figura 49. Desnivel, terrenos baldíos y multifamiliar de construcción reciente

La muestra escogida para la evaluación seleccionó 14 manzanas de la urbanización, las cuales cuentan con edificaciones que, en términos generales, presentan las siguientes características:

Predominan las edificaciones de 1, 2 y 3 niveles. Esto debido a que los lotes del sector no tienen una gran área de terreno por lo que las construcciones crecen verticalmente. Sobresale la presencia de algunos edificios de departamentos de 3 ó 4 niveles destinados a habitantes de condición media y media-alta.

En cuanto a material, predomina la mampostería confinada y elementos de concreto armado en las edificaciones del sector. Las coberturas son en base a losas aligeradas de 20 cm de espesor. No se encontró la presencia de fisuras o agrietamientos en muros, columnas o vigas que estuvieron visibles durante la evaluación.

Predomina el uso de vivienda, y en menor medida el uso comercial. En las manzanas evaluadas no se encontró la presencia de establecimientos de salud públicos o privados, ni tampoco de centros educativos ni cuarteles de bomberos o comisarías.

En cuanto a estructuración de las edificaciones predomina el sistema de mampostería confinada por columnas y vigas, con losas aligeradas de 20 cm de espesor.

Un factor importante que se tuvo en cuenta durante las inspecciones, fue el estado de conservación o mantenimiento de cada una de las edificaciones evaluadas. Ello ha permitido apreciar no solamente el cuidado que tienen los pobladores en conservar sus casas en buen estado, sino también se ha podido apreciar algunos defectos constructivos que con el paso del tiempo se han profundizado. Podemos afirmar que más del 50 % de las viviendas presentan un buen estado de conservación. A ello hay que agregar que más del 50% de las edificaciones de la urbanización por versión de los vecinos del sector, tienen una antigüedad entre 20 y 30 años, lo cual indica que no son edificaciones antiguas, y que fueron concebidas con la aplicación de los códigos de diseño sismorresistente vigentes en la época.

Se ha notado la existencia de terrenos baldíos, en construcción, o con presencia de construcciones precarias, lo que es un índice que este sector se está urbanizando en los últimos años.



**Figura 50.** Construcciones con tendencia a crecimiento a topografía.



**Figura 51.** Calles angostas circundadas por construcciones de 1, 2 ó 3 niveles.



**Figura 52.** Predominio de mampostería confinada por elementos de concreto armado.



**Figura 53.** Existencia de lotes baldíos o con construcciones precarias

## SECTOR 19

Este sector se encuentra al sur del distrito y colinda con el límite distrital. La Av. Los Fresnos es la que le da acceso de entrada y salida al sector. El desarrollo de las edificaciones se encuentra en proceso, se observa el uso de los terrenos cercanos a las laderas de los cerros colindantes, es por ellos que las calles en este sector se encuentran en pendiente. Este sector es eminentemente residencial no existiendo muchos comercios. Ya que el desarrollo de este sector es relativamente reciente y en proceso, las edificaciones muestran un buen estado de conservación, donde el sistema estructural predominante es la mampostería confinada. Edificaciones de dos y tres pisos, en su mayoría, para uso unifamiliar y multifamiliar. En las edificaciones donde el terreno tiene grandes desniveles se observa muros de concreto armado como elemento de cimentación con alturas de varios metros. En la se muestran los dos tipos de edificación típica en este sector.



Figura 54. Viviendas típicas en el Sector 19. Se observa el desarrollo actual del sector.

## SECTOR 20

En este sector la muestra representativa objeto de estudio fueron 13 manzanas con un total de 398 lotes evaluados.

Este sector, típicamente de viviendas, con predios de comercio local en las avenidas, se desarrolla a los lados de las Av. Las Lomas y Portada del Sol (prolongación de la Av. Los Fresnos), siendo característico las calles curvas y manzanas alargadas, en ocasiones siguiendo el alineamiento de las pendientes de los cerros o en los alrededores del óvalo Los Cóndores. Siendo una zona de reciente desarrollo, los edificios en general presentan buen estado de conservación, existiendo un 11% de lotes baldíos (51lotes). Predominan las edificaciones de 2 y 3 pisos (el  $44 + 38 = 82\%$  de lotes construidos), siendo la mitad de los de 3 pisos correspondientes a uso multifamiliar.



**Figura 55.** Calles inclinadas debido a pendientes del terreno que influyen en la altura de primeros pisos de construcciones.



**Figura 56.** Este sector se caracteriza por la pendiente de sus calles y por la diversidad de los niveles de altura: 1, 2 ó 3 pisos.

En esta zona hay una serie de rejas de seguridad permanentemente cerradas que dividen e impiden el acceso a las manzanas paralelas a la Av. Portada del Sol, que por un lado dificultaron el trabajo de campo, pero lo grave en realidad es que encierran una zona entre la ladera de cerro y la Av. Las Lomas. También en otras zonas las rejas que permiten acceso restringido (peatonal).



**Figura 57.** Edificio Multifamiliar



**Figura 58.** Edificios en zona aledaña a parque



Figura 59. Comercio local en Avenida



Figura 60. Viviendas en ladera



Figura 61. Lotes baldíos y rejas en pasajes peatonales



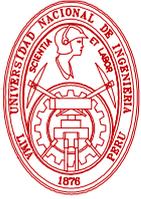
Figura 62. Rejas de seguridad en accesos a calles

## SECTOR 21

Este sector se encuentra limitado por la Calle 15, la Av. La Molina y los cerros circundantes. La principal vía de comunicación interior es la Av. Rinconada del Lago, la misma que recorre la urbanización en toda su extensión, comenzando y terminando en la Av. La Molina

La muestra escogida para la evaluación seleccionó 15 manzanas de la urbanización, las cuales cuentan con edificaciones que, en términos generales, presentan las siguientes características:

En este sector predominan las edificaciones de 1 y 2 niveles. Esto debido a que los lotes del sector tienen una gran de terreno por lo que las construcciones crecen horizontalmente, y no verticalmente. Solamente algunos lotes ubicados sobre la Av. Rinconada del Lago tienen tres o cuatro niveles de altura, porque su uso ha sido destinado al comercio en los primeros niveles, y departamentos en los niveles superiores.



El material de construcción que predomina la mampostería confinada en las edificaciones del sector. Las coberturas son en base a losas aligeradas de 20 cms. de espesor. No se encontró la presencia de fisuras o agrietamientos en muros, columnas o vigas que estuvieron visibles durante la evaluación.

Predomina el uso de vivienda, y en menor medida el uso comercial, solamente en una manzana sobre la Av. Rinconada del Lago. En relación a otros usos, se encontró la presencia de dos centros educativos importantes: el Colegio Villa Cáritas y el Colegio Reina del Mundo. En las manzanas evaluadas no se encontró la presencia de establecimientos de salud públicos o privados, ni tampoco de cuarteles de bomberos o de comisarías.

En este sector el sistema estructural que Predomina es el sistema de mampostería confinada por columnas y vigas, con losas aligeradas de 20 cms de espesor.

Un factor importante que se tuvo en cuenta durante las inspecciones, fue el estado de conservación o mantenimiento de cada una de las edificaciones evaluadas. Ello ha permitido apreciar no solamente el cuidado que tienen los pobladores en conservar sus casas en buen estado, sino también se ha podido apreciar algunos defectos constructivos que con el paso del tiempo se han profundizado. Podemos afirmar que el 100 % de las viviendas presentan un buen estado de conservación. A ello hay que agregar que más del 50% de las edificaciones de la urbanización por versión de los vecinos del sector, tienen una antigüedad entre 20 y 30 años, lo cual indica que no son edificaciones antiguas, y que fueron concebidas con la aplicación de los códigos de diseño sismorresistente vigentes en la época.



**Figura 63.** Vista característica del sector. Calles amplias con edificaciones de mampostería confinada de 1 ó 2 niveles de altura.



**Figura 64.** Uso residencial-comercial en algunos lotes sobre la Av. Rinconada del Lago.



**Figura 65.** Vivienda típica de la urbanización, construida con mampostería confinada por elementos de concreto armado, en muy buen estado de conservación, y con una antigüedad entre 10 y 30 años.



**Figura 66.** Se ubicó, muy aisladamente, la existencia de terrenos baldíos de más de 500 metros cuadrados.

## SECTOR 22

El Sector 22 ubicado al lado sur de la Av. La Molina, camino a Cieneguilla, tiene dos zonas bien diferenciadas. Una de ellas con viviendas en terrenos de grandes extensiones, con casas de un solo piso y piscinas interiores, construidas en albañilería confinada, con techos de losa aligerada de concreto armado y en muy buenas condiciones. Una segunda zona con edificaciones en terrenos de pocas dimensiones por lo que hace una zona muy densificada. En esta zona las viviendas, muchas de ellas, son de uso multifamiliar, con edificios de 3 pisos. Todas estas viviendas son de albañilería confinada con columnas, vigas y muros portantes como elementos estructurales. Casi no hay comercios en este sector, solo algunas tiendas pequeñas. Destaca un museo de vehículos de la Asociación Museo del Automóvil y una estación de servicio. En general las edificaciones en esta zona se encuentran en buen estado.



**Figura 67.** Tipos diferenciados de edificaciones en el Sector 22. Viviendas unifamiliares en terrenos de gran extensión y viviendas multifamiliares en edificios de 3 pisos en promedio.

## SECTOR 23

El Sector 23 está limitado por las avenidas La Universidad, Rinconada Baja, Raúl Ferrero y Alameda del Corregidor. Este sector cuenta con un total de 74 manzanas de las cuales 19 fueron evaluadas.

Este sector corresponde a una zona residencial, donde la mayoría de las edificaciones son viviendas de 2 pisos de mampostería confinada y techos de losa aligerada. La Figura 68 muestra algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



Figura 68. Tipo de edificaciones en el Sector 23

Durante la inspección se pudo observar que las edificaciones se encuentran en regular estado de conservación. No se observaron indicios de asentamiento y en algunas zonas se encontraron viviendas con humedad en su base. En la mayoría de viviendas se pudo observar el uso de unidades de albañilería elaborados artesanalmente. Se observaron fisura diagonales en muros en algunas viviendas evaluadas.

## SECTOR 24

El estudio de vulnerabilidad sísmica en este sector está representado por 17 manzanas; dicha cantidad caracterizan la situación contractual de las edificaciones del sector en mención.

El sector 24 se encuentra ubicado en el límite distrital del distrito de Pachacamác y el distrito de la Molina; según los pobladores dicha zona se encuentra en conflicto por parte de ambas municipalidades (en los recibos de sus servicios indica en algunos casos ambos distritos). Esta zona se encuentra en las laderas de los cerros y posee una organización tipo asentamiento humano. La mayoría de las viviendas (40%) son autoconstrucción de un solo nivel de albañilería o construcciones informales de madera, esteras y calamina (Figura 69); el resto de las edificaciones esta conformada por viviendas de dos y tres niveles albañilería confinada (urbanizaciones alejadas del límite distrital) (Figura 70) que se encuentran en entre regular y buen estado de conservación.

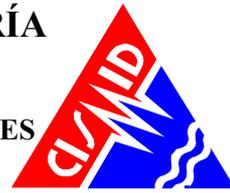


Figura 69. Vivienda informal de madera y esteras.



Figura 70. Vivienda unifamiliar de albañilería confinada.

## EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES

### Conceptos Generales

La determinación de la vulnerabilidad sísmica de una edificación es el grado de 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

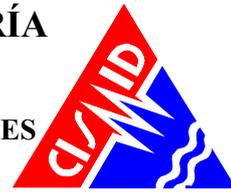
Su evaluación puede realizarse básicamente usando dos criterios: método determinístico y método por criterio.

#### *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 del de 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.

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 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 la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 23 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 con el sistema GIS para producir los resultados esperados en los productos.

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

### **Edificaciones en MUSA**

En el caso particular del presente estudio se realizaron inspecciones con fines de evaluación de 36 manzanas de la Urbanización MUSA del distrito de La Molina, haciendo un aproximado de 535 predios evaluados correspondiendo a un número similar de familias en promedio.

Se han determinado los niveles de vulnerabilidad sísmica de los inmuebles, de acuerdo a la clasificación de las viviendas según su estado de conservación y las características físicas de sus estructuras, según las inspecciones realizadas. Para ello, nos hemos basado en las siguientes consideraciones:

### **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 75% 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 cualquier tipo de suelo.
- Edificaciones de ladrillo sin refuerzo ni confinamiento, con poca densidad de muros; ubicados sobre suelos blandos o en zonas de contacto.
- 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 pésimo estado.

### **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 firme.
- Construcciones con muros de ladrillo bien estructurado pero con coberturas en mal estado, que signifique algún riesgo.

#### 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.

#### Materiales Predominantes

- Lotes:** Se evaluaron la totalidad de los lotes de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 90% de los lotes.
- Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 90% en los muros de las viviendas, sean éstas de 1, 2 ó 3 niveles. De acuerdo a lo observado en varios 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, aproximadamente el 95% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes, no teniendo el 5% de las viviendas evaluadas, elementos de refuerzo vertical.
- Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes inspeccionados, el 95% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y en el 5%, restante, presentan coberturas de calamina, esteras o madera. Estas coberturas se concentran en el Sector 23, que demuestra que algunas familias han podido construir sus paredes de ladrillo; sin embargo, para la cobertura de sus viviendas han tenido que conformarse con materiales provisionales, por razones de orden económico.
- Estado de Conservación:** El estado de conservación de las construcciones en un 83% es aceptable y bueno, aunque cuentan con un factor favorable, que es que la antigüedad de las construcciones es de un promedio de 25 a 30 años. Un 15% de las viviendas muestran un estado de conservación regular, principalmente por el estado deficiente de sus coberturas, y otro 2% presentan un mal estado de conservación, especialmente, por las condiciones provisionales de sus materiales en techos.



## EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES

Para la evaluación de las edificaciones esenciales se consideró la edificación típica que formaba parte del complejo sea Colegio, Hospital, posta medica, comisaría, etc. 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.

## SECTOR 2

En cuanto a edificaciones esenciales, se encontraron las siguientes:

### Centros Educativos y Universidades

- La Universidad San Ignacio de Loyola consiste en edificaciones de 4 pisos de concreto armado con placas en buen estado de conservación, que ocupa toda una manzana como se muestra en la Figura 71. Está ubicada entre las Av. La Fontana, San Ignacio de Loyola y Los Jilgueros.
- El Colegio La Recoleta consiste en edificaciones de 2 pisos de mampostería confinada en buen estado de conservación. Está ubicado en la Av. El Golf Los Incas entre las Av. Los Frutales y Las Moreras. Este colegio ocupa una mayor área en comparación con los demás centros educativos encontrados en este sector.
- Se encontraron otros 5 centros educativos de 2 pisos en promedio, con muros de mampostería confinada en buen estado de conservación.

### Otros

- La Comisaría de Santa Felicia consiste en una edificación de 2 pisos aporticada y rigidizada con muros de mampostería en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 72. Está ubicada en la Calle Los Canarios.
- La Iglesia de los Mormones consiste en una edificación de 1 piso de concreto armado con placas en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 73. Está ubicada en la intersección de las avenidas Javier Prado y Los Ingenieros.



**Figura 71.** Universidad San Ignacio de Loyola



**Figura 72.** Comisaría Santa Felicia



**Figura 73.** Iglesia de los Mormones

### **SECTOR 3**

Asimismo, existen edificaciones esenciales, las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

Centros Educativos:

- 03 centros educativos Iniciales: Dos de los cuales son de mampostería de 2 y 3 niveles, y un tercero cuyo sistema sismorresistente predominante es aporticado. Todos se encuentran en buen estado de conservación.
- 03 centros educativos de nivel primarios, dos de tres niveles (uno de estructura aporticada y otro de mampostería confinada); y un tercero de tan solo dos niveles, cuyo sistema sismorresistente predominante es albañilería confinada. Todos en buen estado de conservación.
- Los centros educativos encontrados son particulares, la mayoría al parecer fueron concebidos desde su construcción como centros educativos.

Otros:

- La zona por ser comercial presenta un centro comercial que ocupa toda una manzana y varios consultorios particulares de médicos y odontólogos.

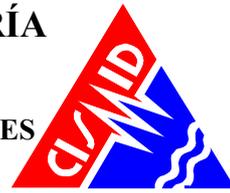
### **SECTOR 4**

Por otro lado, existen edificaciones importantes (esenciales), las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

Centros Educativos:

- 03 centros educativos que comprenden los niveles primario y secundario. En su mayoría edificaciones de mampostería confinada de 03 niveles, entre un estado de conservación regular y bueno.
- 06 centros educativos que comprenden los niveles inicial o primario. En su mayoría edificaciones de mampostería confinada de 02 niveles, que por lo general son estructuras que se adaptaron de uso vivienda a su uso actual, entre un estado de conservación regular y bueno.

Centros de Salud:



- 01 hospital de ESSALUD (Hospital I Carlos Alcántara Butterfield). Estructura hospitalaria, principalmente formada por pórticos de concreto armado de tres niveles en buen estado de conservación.
- 01 posta médica de atención primaria.

## **SECTOR 6**

Existen edificios o instituciones importantes en esta zona como el Colegio Antonio Raimondi, el Instituto San Ignacio de Loyola, el Instituto de Desarrollo Agroindustrial, Senasa, el Instituto Internacional de la Papa que por ser centros de instrucción constituyen edificaciones esenciales de esta área.

## **SECTOR 7**

En cuanto a edificaciones esenciales, se encontraron las siguientes:

### **Centros Educativos y Universidades**

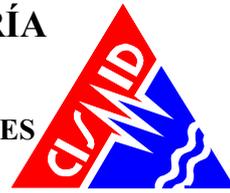
- La Universidad Nacional Agraria La Molina consiste en edificaciones de 2 pisos, con un sistema estructural aporricado y rigidizado con muros de mampostería en buen estado de conservación. Está ubicada entre las Av. La Universidad y Raúl Ferrero.
- Se encontraron otros 3 centros educativos de 2 pisos en promedio, con muros de mampostería confinada en buen estado de conservación.

### **Centros de Salud**

- Posta de Salud del MINSA, consiste en una edificación de 1 piso en mampostería confinada y techos de losa aligerada en buen estado de conservación como se observa en la Figura 74. Está ubicada en la calle El Haras.



**Figura 74.** Posta de Salud del MINSA



## SECTOR 8

Las edificaciones esenciales evaluadas en este sector, se consideran que las más importantes son:

- 01 Centro Educativo de 02 pisos de concreto armado en buen estado. (Véase Figura 75).
- 02 Centro Educativo de 01 y 02 pisos de mampostería confinada en buen estado.
- 01 Edificio de Institución Privada de 02 pisos de concreto armado en buen estado.(Véase Figura 76).
- 01 Edificio del Banco de Crédito del Perú de 06 pisos de concreto armado en buen estado (Véase Figura 77).
- 01 Edificio de la Casa de Reposo de 05 pisos de concreto armado en buen estado (Véase Figura 78).



Figura 75. Centro Educativo Reina de los Angeles



Figura 76. Edificio de institución Privada



Figura 77. Edificio del Banco de Crédito del Perú



Figura 78. Casa de Reposo



## SECTOR 10

En cuanto a edificaciones esenciales para este sector, se evaluaron las siguientes:

### Centros Educativos

- Se observó 1 centro educativo de 1 piso, con muros de mampostería confinada en buen estado de conservación.

### Otros

- El Casino de Policía consiste en una edificación de 2 pisos de albañilería confinada en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 79. Es una manzana que está ubicada entre las calles La Punta, Paracas, El Paraíso y Av. La Molina.



Figura 79. Casino de Policía

## SECTOR 11

Las edificaciones esenciales evaluadas en este sector son las siguientes:

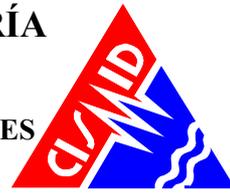
- 01 Centro Educativo de 01 piso de mampostería confinada en buen estado.
- 01 Centro Educativo de 02 pisos de mampostería confinada y concreto armado en buen estado. (Véase Figura 80).
- 01 Edificio de la Municipalidad de La Molina de 02 pisos de concreto armado en buen estado. (Véase Figura 81).



Figura 80. Centro Educativo: Newton



Figura 81. Edificio de la Municipalidad de La Molina



## SECTOR 12

Se encontraron pocas edificaciones esenciales en este sector, evaluándose las siguientes:

### Centros Educativos

- El Colegio Aurelio Miro Quesada Sosa consiste en edificaciones de 2 pisos, con un sistema estructural aporticado y rigidizado con muros de mampostería en buen estado de conservación. Está ubicada entre la Calle 11 y la Av. La Universidad.



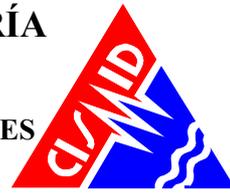
**Figura 82.** Colegio Aurelio Miro Quesada Sosa

## SECTOR 13

En este sector existen edificaciones importantes (esenciales), las cuales se distribuyen de la siguiente manera:

### Centros Educativos:

- 01 centro educativo que comprenden los niveles primario y secundario. En su mayoría edificaciones de mampostería confinada de 02 niveles, entre un estado de conservación regular.
- 02 centros educativos que comprenden los niveles inicial o primario; y 01 centro de aprendizaje. En su mayoría edificaciones de albañilería informal de 01 nivel, que por lo general son estructuras que se adaptaron de uso vivienda a su uso actual, entre un estado de conservación regular.



## SECTOR 14

Las edificaciones esenciales evaluadas en este sector, son las siguientes:

### Centros Educativos

- Se encontraron 4 centros educativos siendo dos de 1 piso y uno de 3 pisos, con muros de mampostería confinada en buen estado de conservación y uno de 3 pisos, con pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería.(ver Figura 83 y Figura 84 ).



**Figura 83. Nido Sun Flower**



**Figura 84. Nido**

## SECTOR 15

Las edificaciones esenciales encontradas fueron:

### Centros Educativos:

- 01 centro educativo inicial de albañilería confinada de dos niveles que se encuentra en buen estado de conservación. Al parecer no fue concebido desde un inicio para su uso actual (Vivienda acondicionada).

## SECTOR 16

De las edificaciones esenciales evaluadas para este sector tenemos:

- 01 Centro Educativo de 03 piso de mampostería confinada en regular estado.
- 01 Edificio Clínica Dental y multifamiliar de mampostería confinada en regular estado (Véase Figura 85).



Figura 85. Edificio Clínica Dental y multifamiliar

## SECTOR 21

No se dieron facilidades para la evaluación al interior de los centros educativos, ni para la toma de vistas fotográficas.

### - Colegio Reina del Mundo

Ubicado en la cuadra 6 de la Av. Rinconada del Lago, este Colegio peruano alemán mixto está dirigido por la Congregación de Misioneras de San Vicente de Paul, cuya Casa Matriz se encuentra en Hildesheim, Alemania.

Predominan las estructuras de dos niveles, con material predominante muros de mampostería de ladrillo cocido y elementos estructurales de concreto armado.

El sistema de estructuración predominante es en base a estructuras con pórticos con columnas y vigas de concreto armado, y losas aligeradas de 20cm. de espesor. En las áreas de nivel inicial, predominan las estructuras de mampostería confinada de un solo piso.



Figura 86. Vista fotográfica del cerco perimetral de este centro educativo (no hubieron facilidades para ingresar, junio 2010).



Figura 87. Visita del interior del Colegio.(Archivo CISMID, 2002)



Este colegio tiene una antigüedad de 40 años, con un nivel de estado de conservación muy bueno.

- **Colegio Villa Cáritas**

Ubicación: Calle Hurón 405 Rinconada del Lago.

Este centro educativo fue construido en el año de 1984. Se encuentra en un área rodeada de cerros cuyos taludes han sido estabilizados con pinos. Las estructuras que constituyen las aulas se han cimentado sobre terrazas con corte y relleno. Se observó que la carretera de acceso al colegio San Pedro posee un talud que podría causar desprendimientos.

Predominan las estructuras de dos niveles, con material predominante muros de mampostería de ladrillo cocido y elementos estructurales de concreto armado.

El sistema de estructuración predominante es en base a estructuras con pórticos con columnas y vigas de concreto armado, y losas aligeradas de 20cm. de espesor. En las áreas de nivel inicial, predominan las estructuras de mampostería confinada de un solo piso.

El nivel de estado de conservación de este centro educativo es bueno.



**Figura 88.** Vista de ingreso al colegio (no hubieron facilidades para ingresar, junio 2010).



**Figura 89.** Vista del interior (archivo CISMID, 2002)

## SECTOR 23

En cuanto a edificaciones esenciales, podemos mencionar para este sector lo siguiente:

### Centro Educativo

- El Colegio Nacional Mixto San José Marcelo consiste en edificaciones de 3 pisos, con un sistema estructural aporricado y rigidizado con muros de mampostería en buen estado de conservación como se observa en la Figura 90. Está ubicada la Av. La Molina.



Figura 90. Colegio Nacional Mixto San José Marcelo

## SECTOR 24

En este sector se encontró un Centros Educativo que califica como edificación esencial:

- 01 centro educativo inicial estatal, cuyo sistema sismorresistente predominante es albañilería confinada, de un solo nivel con techo de calamina y en regular estado de conservación. Al lado del centro educativo se encuentra una pequeña biblioteca comunal Musa y una losa deportiva.

## DIAGNÓSTICO DEL RIESGO SÍSMICO EN EL DISTRITO DE LA MOLINA

### 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 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.

Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de la Molina, 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 en cada lote. Este costo de reparación ( $C_r$ ) se expresa como el porcentaje del costo de la estructura.

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

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 91.

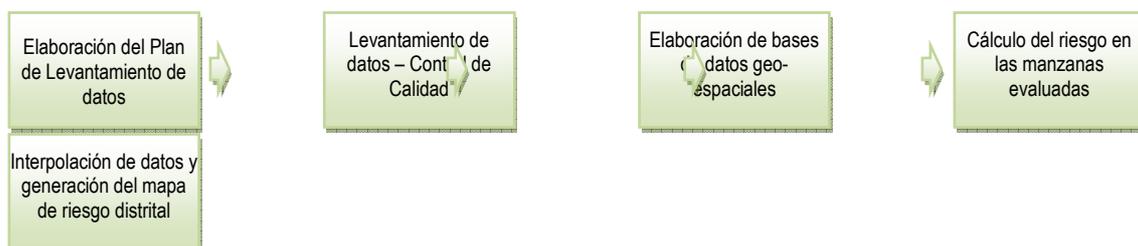


Figura 91. Proceso de generación del mapa de riesgo.

### Cálculo del Riesgo Sísmico

Basados en la información de campo se evaluaron 438 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 92.

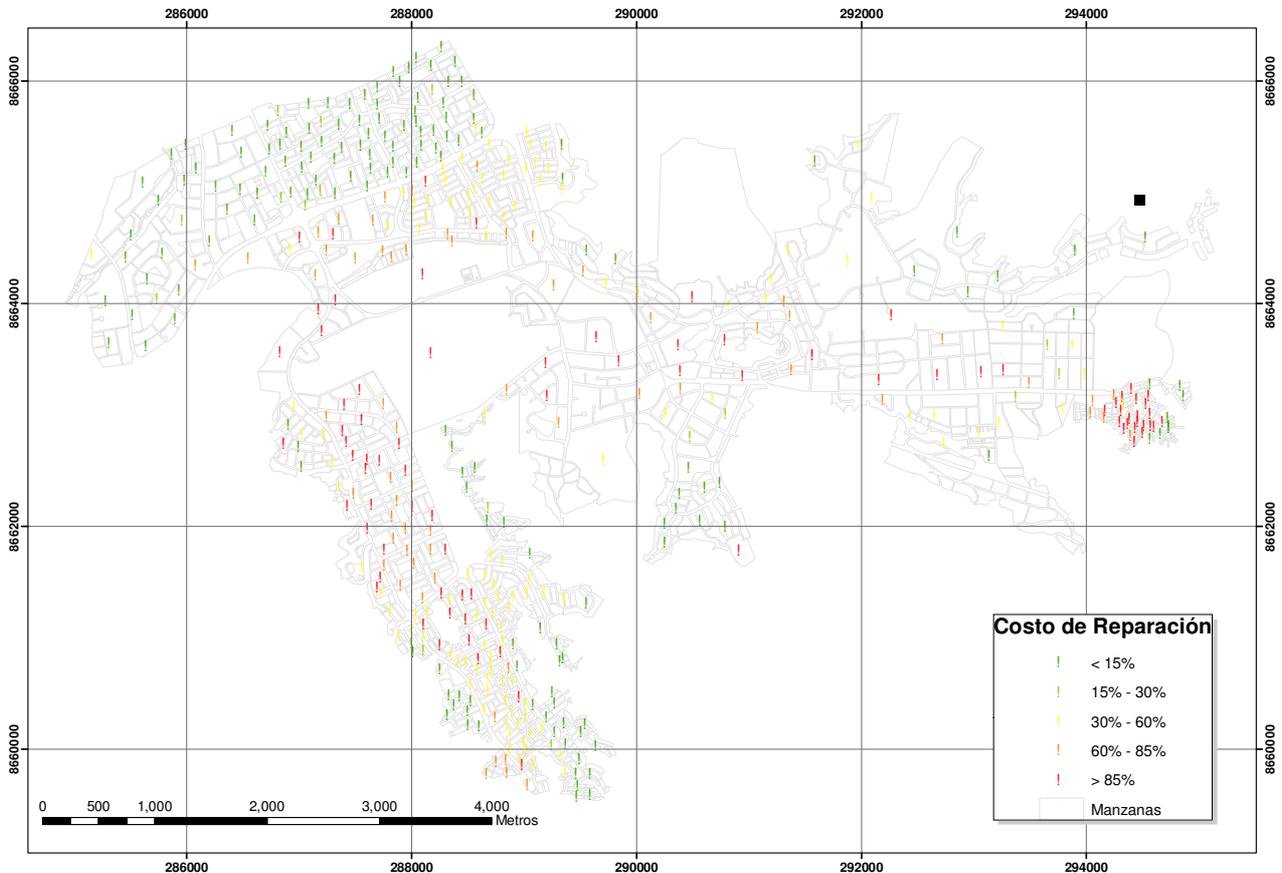
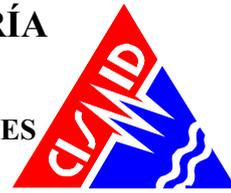
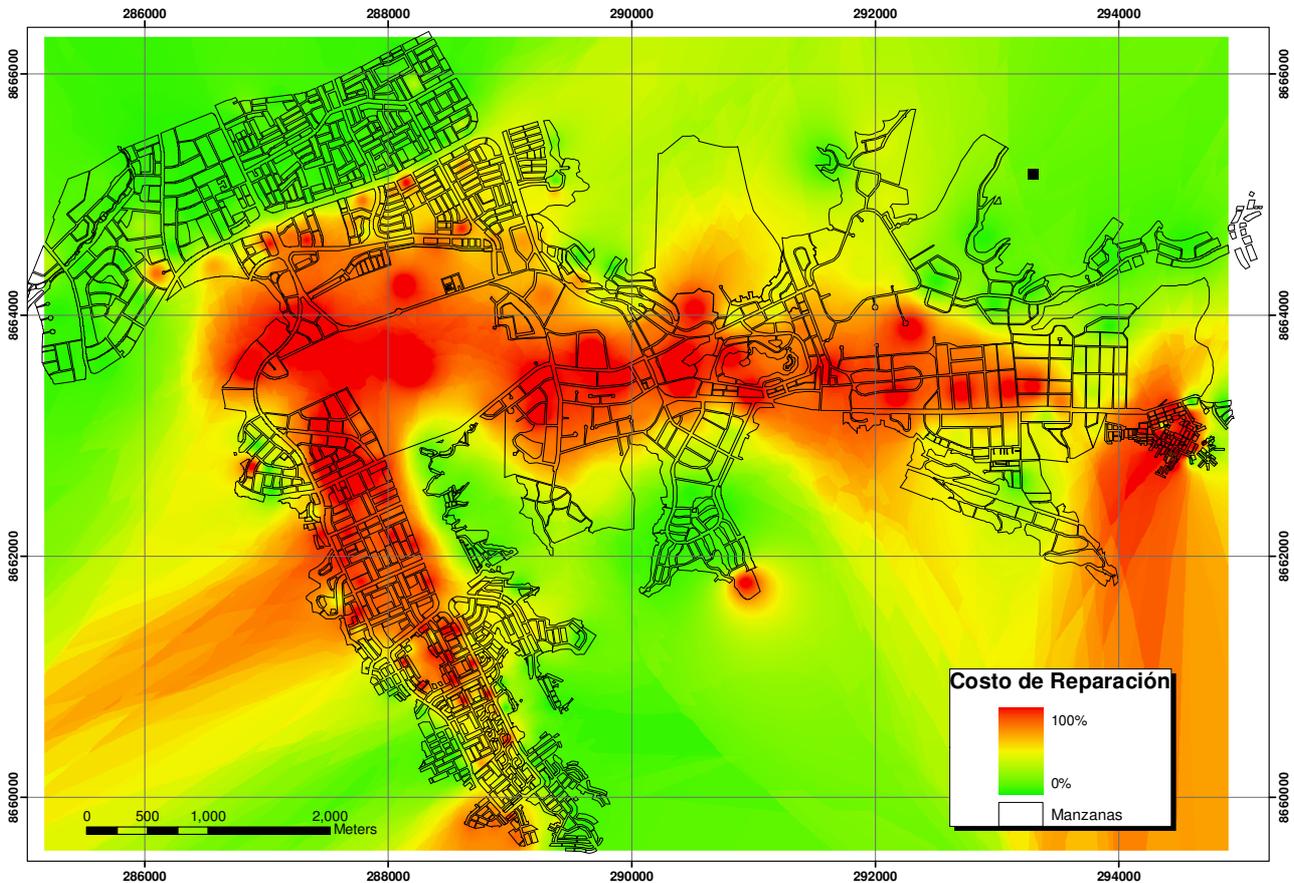


Figura 92. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas.

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 93 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el distrito de La Molina.



**Figura 93.** Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)

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 el distrito de la Molina

**Tabla 2: Resultados del daño en el distrito de la Molina para un escenario de sismo severo**

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	444	32%	39%	Daño Leve o sin daño
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	103	7%		
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	435	31%	31%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	328	23%	23%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	99	7%	7%	Colapso
				<b>1409</b>	<b>100%</b>		

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 la Molina 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. Las aceleraciones asumidas para el diagnóstico son las presentadas en el informe de 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 3: Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales**

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%						
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	4	36%	36%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	1	9%	9%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	4	36%	36%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	2	18%	18%	Colapso
				<b>11</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 3, que muestra que el 18% de las edificaciones esenciales experimentarían colapso, debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales.



## RESUMEN EJECUTIVO DEL DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA Y ALCANTARILLADO

- El objetivo de este diagnóstico es la evaluación preliminar de la vulnerabilidad del sistema de agua y alcantarillado del distrito de La Molina 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 realizados 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 La Molina, 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 86.3% de las tuberías son de asbesto cemento, siendo las más usadas en la línea de conducción, mientras que el 10.4% de las tuberías son de PVC.
- 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 La Molina en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo 221 locaciones con tuberías de asbesto cemento sufrirían roturas, mientras que existirían 29 locaciones en tuberías de PVC con roturas.
- 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, desarenadores, 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.



## DIAGNÓSTICO PRELIMINAR DE LA VULNERABILIDAD DEL SISTEMA DE AGUA Y ALCANTARILLADO

### **Acerca de la Vulnerabilidad de sistemas de agua y alcantarillado**

Para la determinación de la vulnerabilidad de los sistemas agua y alcantarillado es necesario realizar una inspección a las instalaciones de la infraestructura involucrada en el desarrollo del sistema de agua y alcantarillado. Para esto es necesario contar con planos de las redes, tanto de agua como del alcantarillado, infraestructura de bocatomas, canales de conducción, planta de tratamiento, depósitos de agua tratada, base de datos en el tiempo con estadística de roturas por tipo de tubería originadas por fallas en el sistema y por sismo, entre otros.

En el presente estudio, se hace un diagnostico preliminar de la vulnerabilidad del sistema de agua y alcantarillado. Se presenta el estado de la planta de tratamiento de la Atarjea, basado en el diagnóstico realizado por CISMID en el año 2005. Se desarrolla un diagnóstico para el sistema de distribución de agua basado en las curvas de fragilidad desarrolladas por investigadores Japoneses. Ya que las tuberías de agua trabajan a presión durante eventos severos son muy susceptibles a tener daño en suelos poco competentes, y su análisis de daño se basa en el numero de roturas que se producirían en la red. Por otro lado, las tuberías de desagüe, por trabajar como si fueran canales, el análisis de daño se basa en la separación de sus juntas. En este caso otra variable muy importante es el tiempo de uso del tubo de desagüe, ya que por conducir aguas servidas con altos contenidos de químicos, sufren de un deterioro mayor al de las líneas de agua.

En este estudio se presenta el diagnostico de la líneas de conducción de agua solamente, ya que la base de datos de SEDAPAL, no dispone estadística de roturas en el tiempo para la línea de conducción de desagüe.

La información entregada por SEDAPAL, es un archivo en formato CAD donde se presenta los ejes de las líneas de conducción de agua y alcantarillado, el tipo de material y su diámetro.

### ***Planta de Tratamiento de la Atarjea***

La planta de tratamiento de la Atarjea es la única planta de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Lima. Capta el agua del río Rímac (ver Figura 94) en la bocatoma que se ve arriba a la izquierda, la almacena en los dos grandes reservorios que se ve en la parte inferior derecha y la purifica en múltiples estanques decantadores (vea ítem 7 del grafico).

A lo largo de este proceso de tratamiento del agua se puede observar múltiples estructuras hidráulicas, muchas de las cuales poseen más de 50 años en uso continuo.



Figura 94. Esquema de la planta de tratamiento de la Atarjea

Dentro de este proceso en el año 2005, por encargo de SEDAPAL, CISMID-UNI desarrolla el estudio de vulnerabilidad sísmica de las estructuras de los decantadores de la planta de tratamiento de la Atarjea (ver Figura 97). En este estudio se identificaron daños en los muros de los decantadores (los cuales ya habían sido reforzados en la década del 60) y asimismo se pudo determinar la pérdida del refuerzo por oxidación de las varillas (ver Figura 96). Se extrajeron núcleos de concreto endurecido con la finalidad de conocer la calidad actual del material (ver Figura 95)



**Figura 95.** Extracción de testigos de concreto endurecido. Obsérvese la corrosión en el muro



**Figura 96.** Corrosión del refuerzo en los muros de los decantadores.



**Figura 97.** Vista de un decantador



**Figura 98.** Fisuras en canal de salida del decantador.

Se pudo observar la existencia de fisuras en canales de salida del decantador (Figura 98), y en adición a esto corrosión de su refuerzo.

Como consecuencia del levantamiento de daños del estudio del 2005, se desarrolló un modelo matemático con elementos finitos a fin de determinar la demanda sísmica de las estructuras bajo un sismo severo. En este caso se utilizó como sismo de diagnóstico los sismos de Lima 9/10/1974 y 17/10/1966, determinándose la respuesta sísmica para las condiciones de los decantadores en el año 2005, encontrándose que 5 de los decantadores son vulnerables, ya que los esfuerzos sobre sus muros no podrían soportar una demanda de sismo severo. En la Figura 99 el modelo matemático de la estructura de un decantador típico de la planta de la Atarjea de SEDAPAL.



Figura 99. Idealización matemática del decantador

### Sistema de Agua y Alcantarillado

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. La estadística de estas roturas, debe ser registrada por la entidad competente, en este caso SEDAPAL a fin de poder realizar un diagnóstico lo más cercano posible a la realidad.

El daño que afecta a las tuberías puede incluir la propagación de ondas, la deformación permanente del suelo y la ruptura de fallas. 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.

Para la evaluación de los daños se necesita conocer las características físicas de las tuberías del sistema de distribución de agua. A pedido de CISMID se solicitó a SEDAPAL el inventario de la red de distribución de agua. SEDAPAL envió, en formato CAD, la red para toda Lima, desde donde se extrajeron las tuberías correspondientes al distrito de La Molina.

La información en formato CAD se exportó a una plataforma SIG donde se integró una base de datos que contiene la información mostrada en Tabla 4y el mapa se presenta en el Anexo I en el mapa No. E-11.



**Tabla 4. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de La Molina**

Nombre de Campo	Descripción
Tipo	Material de tubería
Diámetro	Diámetro de tubería en milímetros
Longitud	Longitud de la tubería en metros
Tipo_Suelo	Zonificación del suelo
Velocidad	Velocidad máxima en el suelo
Rot_km_Yam	Número de roturas por kilómetro de tubería según Yamazaki (2009)
Rot_km_Pro	Número de roturas por kilómetro de tubería según Isoyama (2000)

La estimación de la tasa de daño de tuberías de distribución de agua (el número de daños o incidentes por kilómetro de longitud de una tubería) será estimada en este estudio utilizando el método propuesto en la Universidad de Chiba Japón por los profesores 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.

$$R_m(v) = C_p C_d C_g C_l R(v) \dots\dots (1)$$

Donde  $R_m$  es la tasa de daño por kilómetro de tubería,  $C_p$ ,  $C_d$ ,  $C_g$ , y  $C_l$  son coeficientes de corrección para el material del tubo, diámetro, condición geológica, y ocurrencia de liquefacción, respectivamente, siendo  $v$  la velocidad máxima en el sector (PGV). 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:

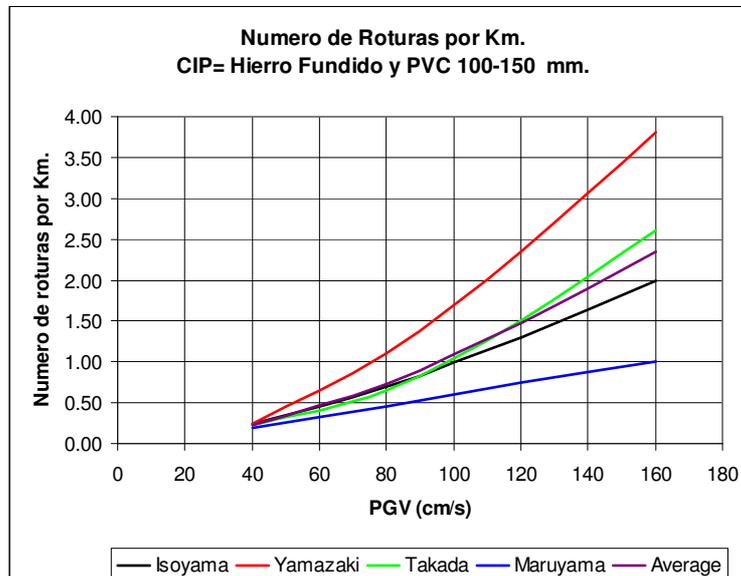
$$R(v) = c(v - A)^b \dots\dots(2)$$

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  $R(v)$ :

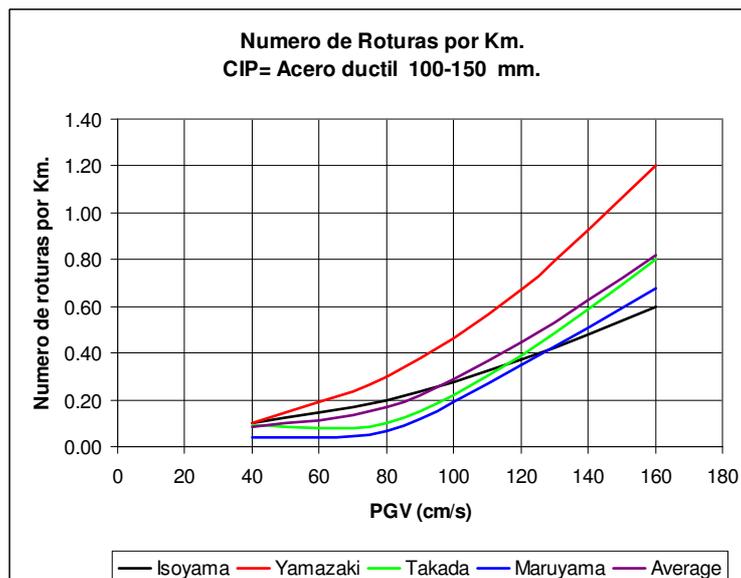
$$R(v) = 3.11 \times 10^{-3} (v - 15)^{1.30} \dots(3)$$

Yamazaki y Maruyama asumieron que el valor de  $A$  se encuentra entre 0 y 30 cm/seg. y experimentaron análisis de regresión con cambios de  $A$  en intervalos de 5 cm/seg. Según los autores consideran que el valor de  $A$  debe ser 15 cm/seg, 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 fallarían con PGV mayores a 15 cm/seg. Diversos autores proponen factores de  $b$ ,  $c$  y  $A$  que originan diferencia mínima en el diagnóstico. Por ejemplo en el caso de la ciudad de Tokio los valores particulares de los factores producen la siguiente fórmula:

$$R(v) = 2.24 \times 10^{-3} (v - 20)^{1.51} \quad (4)$$

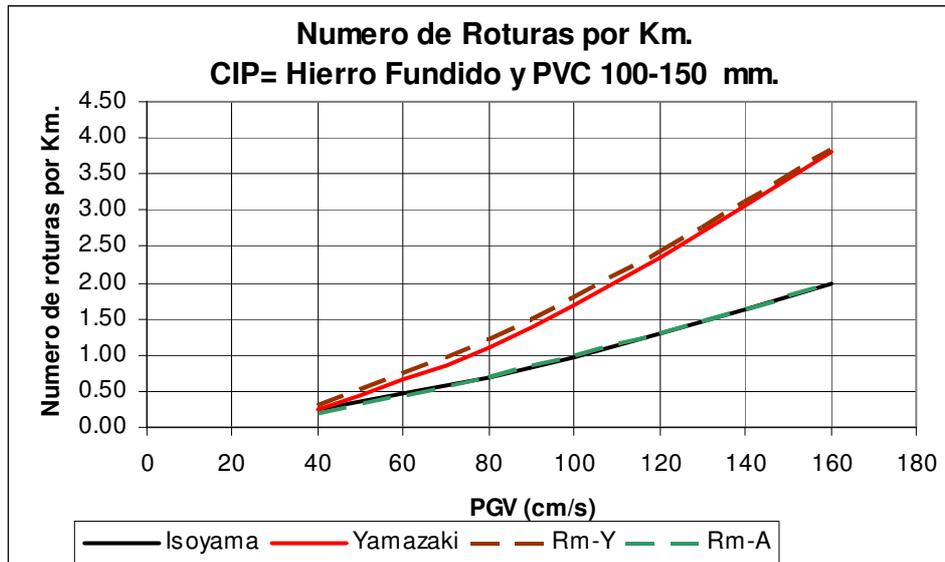


**Figura 100:** Roturas por Km. en tubos CIP y PVC



**Figura 101:** Roturas por Km. En tubos de acero dúctil

La Figura 100 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 tomar una curva promedio ("Average") la que figura en el gráfico. Considerando que la curva promedio se encuentra cercana a la curva de Isoyama, consideramos esta curva y la curva de valores máximos (Yamazaki), que se presenta en la Figura 102.

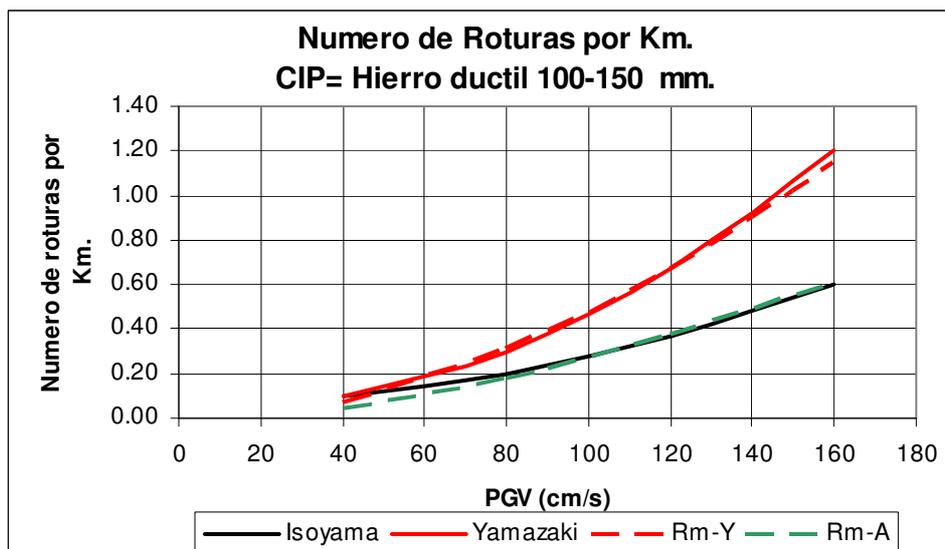


**Figura 102:** Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC

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:

$$R(v) = 3.0 \times 10^{-3} (v - 15)^{1.305} \quad (5)$$

La Figura 101 presenta las relaciones que desarrolladas por diversos autores para la estimación de la tasa de daño por kilómetro de tubería el caso de tuberías de hierro dúctil en forma similar, a los materiales arriba expuestos. Utilizando estos datos se construye una curva promedio ("Average") la que es presentada en el gráfico.



**Figura 103:** Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil

Usando un procedimiento similar al presentado anteriormente, en la Figura 103 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:

$$R(v) = 2.0 \times 10^{-4} (v - 9)^{1.6} \quad (6)$$

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 del sistema GIS para la presentación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción.

La Tabla 5 presenta los tipos de tubería por material que existen en el distrito de la Molina. Esta información se ha preparado en base de la información proporcionada por SEDAPAL. La información presenta los tipos de tubería con el rango de diámetros utilizado, considerando la existencia de un diámetro más frecuente utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. Si observamos la última columna se presenta el porcentaje de tuberías por material, aquí puede leerse que las tuberías de PVC y asbesto cemento son las más usadas en la línea de conducción.

**Tabla 5: Tipo de tuberías de agua en el distrito de la Molina**

Material	Tipos de Diámetros	Diametro (mm)	Diametro+Frecuente	Long. Total (m)	Long.Total (Km)	%
Asbesto-Cemento	13	25 - 600	100 - 150	362236.34	362.24	86.3%
PVC	13	25 - 350	90 - 110	43849.25	43.85	10.4%
Concreto Pretensado	4	900-1400	600-900	5802.96	5.80	1.4%
Hierro Ductil	4	400-1600	350-400	5236.86	5.24	1.2%
AceroRevestidoCement	1	1400	1400	2321.54	2.32	0.6%
Acero	3	75-160	75	325.51	0.33	0.1%
Fierro Fundido	1	300	300	94.99	0.09	0.0%
<b>Longitud Total =</b>				<b>419867.45</b>	<b>419.87</b>	

Considerando los criterios de evaluación de Yamazaki e Isoyama fue evaluado el número de roturas por kilómetro de tubería para cada tipo de material. Basado en esta aproximación es posible conocer el número de roturas total sobre la línea de conducción, para ambos criterios. Puede leerse que bajo el criterio de Yamazaki se obtiene un mayor número de roturas que al usar el criterio de Isoyama. En el Mapa No. E-12 y E-13 se presentan los daños probables según la metodología de Yamazaki e Isoyama, respectivamente y en la Tabla 6 se presenta un resumen de los resultados.

**Tabla 6: Respuesta de las tuberías frente a un evento sísmico severo en el distrito de la Molina**

Tubería	Longitud (Km)	Yamazaki		Isoyama	
		PromRotuxKm	NumRoturasTotales	PromRotuxKm	NumRoturasTotales
Asbesto-Cemento	362.20	0.9600	348	0.61	221
PVC	43.85	1.0300	45	0.65	29
Concreto Pretensado	5.80	1.1800	7	0.72	4
Hierro Ductil	5.24	0.2800	1	0.17	1
Acero Revestido Cement	2.32	0.7400	2	0.49	1
Acero	0.33	0.7400	0	0.49	0
Fierro Fundido	0.09	0.7400	0	0.49	0



### Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua y alcantarillado

- 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 La Molina, 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 86.3% de las tuberías son de asbesto cemento, siendo las más usadas en la línea de conducción, mientras que el 10.4% de las tuberías son de PVC.
- 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 La Molina en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo 221 locaciones con tuberías de asbesto cemento sufrirían roturas, mientras que existirían 29 locaciones en tuberías de PVC con roturas.
- 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, desarenadores, 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.



**RESUMEN EJECUTIVO DE LAS PROPUESTA TÉCNICA DE REFORZAMIENTO DE  
EDIFICACIONES DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA**

- El objetivo de esta sección del estudio es identificar el tipo de estructura que debe ser reforzada en base a los resultados del estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico del distrito de La Molina, ilustrando el tipo de refuerzo a través de detalles típicos de reforzamiento e identificando las ubicaciones de aquellas edificaciones que requieren ser intervenidas en forma inmediata.
- Considerando los resultados del estudio de vulnerabilidad sísmica, se encontró que el 90% de las edificaciones del distrito de La Molina son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 9% de edificaciones de concreto. La representatividad de la muestra nos orienta a mostrar aquellas técnicas apropiadas para el reforzamiento de viviendas de mampostería y asimismo de edificaciones de concreto.
- Los resultados del estudio de riesgo sísmico de los sectores estudiados y considerando los lotes representativos de la muestra, identifican que los niveles de daño I y II (con costo de reparación inferior al 30%) demandarían inversiones menores en la reparación. Los Niveles de daño III, IV y V, que serían aquellos que demanden intervención para su refuerzo. Así por ejemplo de las 438 manzanas estudiadas para edificaciones de mampostería, 229 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto 29 manzanas requerirían de una intervención de reforzamiento.
- Considerando las manzanas que poseen nivel de daño IV y V, que son aquellas que tendrían que ser intervenidas de forma inmediata, se ha cuantificado que 7762 edificaciones requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. Estas edificaciones son aquellas cuyo costo de reparación es superior al 60% de su valor. La intervención de estas viviendas debe realizarse luego de una evaluación al detalle de la edificación por parte de un especialista en diseño de estructuras antisísmicas.
- Se presentan técnicas para el reforzamiento de muros, columnas y cimentaciones, típicas de un reforzamiento en viviendas de albañilería. Siguiendo estas recomendaciones y con la asesoría de un ingeniero estructural se logrará disminuir el daño en estas edificaciones.



### PROPUESTA TÉCNICA DE REFORZAMIENTO DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA

Con la finalidad de proponer la técnica de reforzamiento para las edificaciones en el distrito de la Molina, se estudio la composición de la muestra levantada en campo. Los resultados que se muestran en la Tabla 7 presentan que en el 90% de los casos las edificaciones de este distrito son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 9% de edificaciones de concreto. La representatividad de la muestra nos orienta a mostrar aquellas técnicas apropiadas para el reforzamiento de viviendas de mampostería y asimismo de edificaciones de concreto.

**Tabla 7: Composición por material de la muestra estudiada**

Material	Edificaciones	%
Concreto	40	9%
Mamposteria	394	90%
Acero	4	1%
	438	Mza

Por otro lado luego del diagnostico del riesgo sísmico en los sectores estudiados y considerando los resultados de los lotes representativos de la muestra, se encontró que dependiendo del nivel de daño diagnosticado por material, en la Tabla 8 se muestra el agrupamiento de los Niveles III, IV y V, que serían aquellos que demanden intervención para su refuerzo. Así por ejemplo de las 438 manzanas estudiadas para edificaciones de mampostería, 229 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto 29 manzanas requerirían de una intervención de reforzamiento.

**Tabla 8: Composición de la muestra por nivel de daño esperado**

Mamposteria	Nivel I	149	
	Nivel II	16	
	Nivel III	117	
	Nivel IV	68	
	Nivel V	44	229
Concreto	Nivel I	5	
	Nivel II	6	
	Nivel III	10	
	Nivel IV	14	
	Nivel V	5	29

A continuación se proponen algunos casos representativos para el reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de confinamiento, refuerzo de muros de albañilería existentes con deficiencia de tamaño o sección, para el reforzamiento de columnas de concreto y para la inclusión de muros de concreto a partir de columnas existentes. Considerando las manzanas que poseen nivel de daño IV y V, que son aquellas que tendrían que ser intervenidas de forma inmediata, se ha cuantificado que 7762 edificaciones requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. La ubicación de estas edificaciones es presentada en la Figura 104, donde se muestran aquellas viviendas cuyo costo de reparación es superior al 60% de su valor. Las zonas en color rojo muestran los lotes con una mayor probabilidad de colapso, mientras que las zonas en color naranja muestran las edificaciones con una alta probabilidad de daño severo. La intervención de estas



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



viendas debe realizarse luego de una evaluación al detalle de la edificación por parte de un especialista en diseño de estructuras antisísmicas.

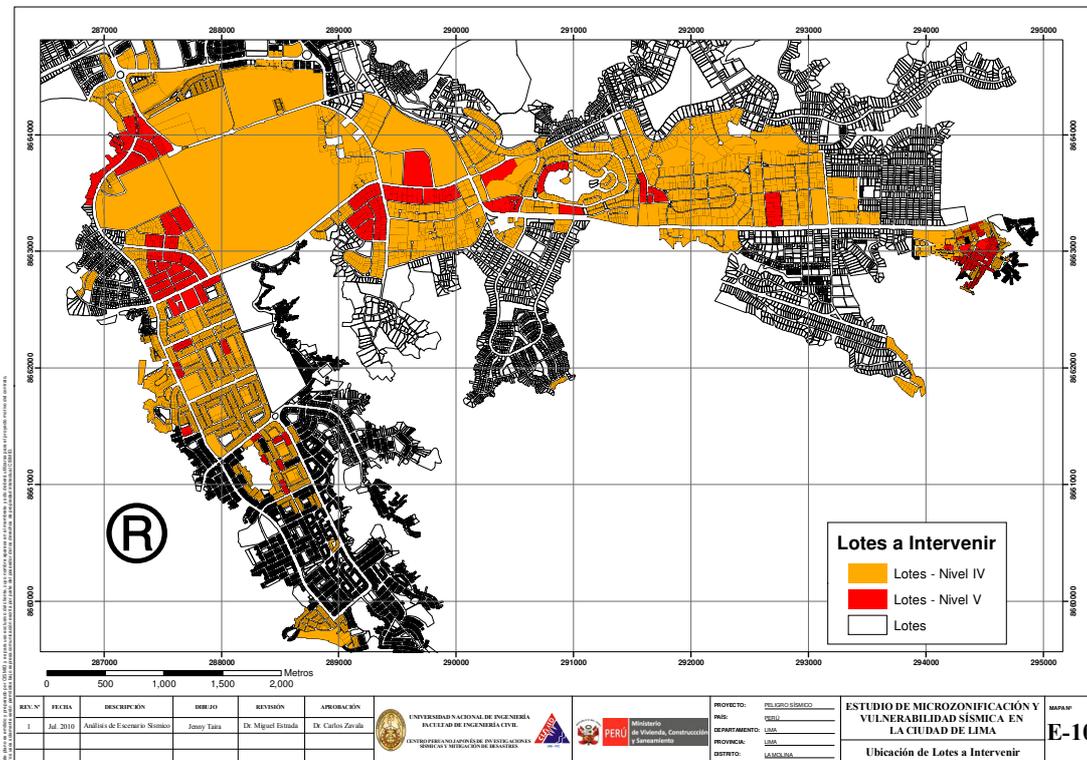
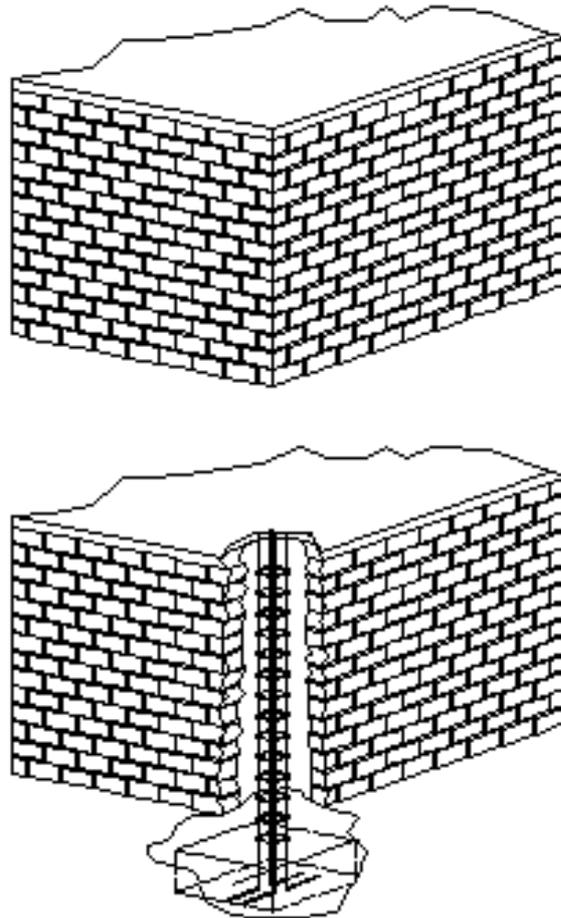


Figura 104: Ubicación de edificaciones a intervenir

## Propuestas representativas para el reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de confinamiento.

Es de conocimiento general que una edificación de albañilería (mampostería) de ladrillo sin el debido confinamiento representa un peligro para sus ocupantes, ya que al no tener confinamientos no existen los elementos de borde que puedan desarrollar en conjunto con los ladrillos la toma de las fuerzas de tracción, para las cuales la mampostería es muy débil. Caso especial son los muros esquineros, que generalmente se abrirán en las esquinas ante la demanda sísmica, originando el volteo fuera del plano de sus muros concurrentes. Por esta razón, en ausencia de confinamientos es imprescindible dotar de columnas en los extremos a estos muros. Para este propósito es necesario en primera instancia insertar una zapata dentro del cimiento corrido, de manera que las columnas de confinamiento puedan unirse al muro. Para esto será necesario demoler el muro en su esquina dejando un endentado, con la finalidad de colocar la canastilla de refuerzo y posteriormente vaciar al elemento estructural.



**Figura 105:** Detalle de inclusión de columnas de reforzamiento en muro sin confinamiento existente

#### **Reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de tamaño o sección**

De acuerdo a la norma de diseño de albañilería NTE-070-RNE, la densidad de muros de una edificación, se define como la relación entre el área de muros estructurales de elementos área del área techada del nivel en estudio. Esta relación se encuentra entre el 4% al 5% del área techada en estudio, dependiendo de la zona sísmica, la aceleración esperada y el tipo de suelo. Cuando este criterio no se cumple, existirá deficiencia en el tamaño o sección del muro. En este caso, ya que el muro existe, lo comúnmente adoptado para el refuerzo de este tipo de muro es el envolver al muro con una malla de fierro de  $\frac{1}{4}$ " de diámetro espaciados cada 10 cm. en ambas direcciones. Este refuerzo puede hacerse con acero dúctil o con mallas electrosoldada.

En la se Figura 106 se muestra la secuencia del refuerzo de un muro de albañilería, considerando el incremento de la sección con la colocación de malla y recubrimiento.



Figura 106: Detalle de refuerzo sobre las caras del muro

Otra alternativa para el refuerzo es el uso de bandas en diagonal de malla o fierro dúctil, de manera que se refuercen aquellas zonas que estarán sometidas a las tracciones. Esta técnica ha sido experimentada en CISMID con éxito, y representa una alternativa económica ya que se ahorra material y acero.



(a)



(b)

**Figura 107:** Reforzamiento con bandas de refuerzo.

### ***Reforzamiento de Columnas de Concreto***

Cuando existen deficiencias en las secciones de concreto es necesario realizar el incremento de la sección considerando la extracción del recubrimiento y el uso de resinas epoxicas para pegar el concreto existente con el concreto nuevo, formando un suplemento de la columna con deficiencia estructural. En la Figura 108 se muestran dos casos de columna existente donde se requiere incrementar la sección. En el primer caso el incremento de la sección se realiza sobre una dirección mientras que en el segundo, considerando que es una columna esquinera, se incrementa la sección en ambas direcciones. Para esto es necesario retirar el recubrimiento de la columna existente para aplicar una resina epoxica, luego se coloca el acero de refuerzo que debe anclarse al refuerzo de la cimentación el cual describiremos en el siguiente ítem. Colocado el refuerzo, se coloca el encofrado y se coloca el nuevo concreto

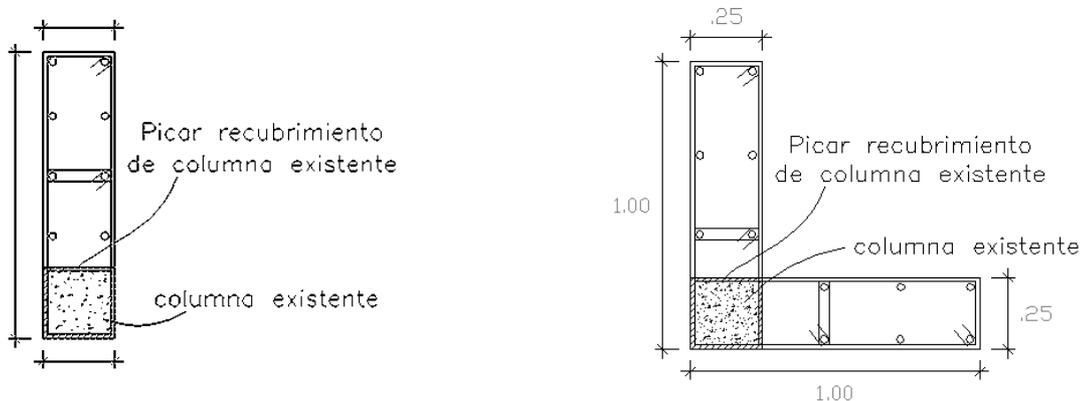


Figura 108: Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera

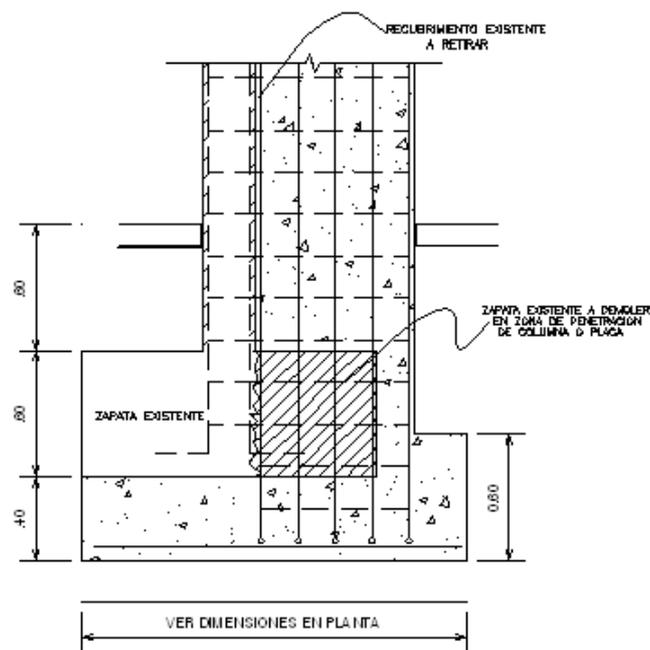


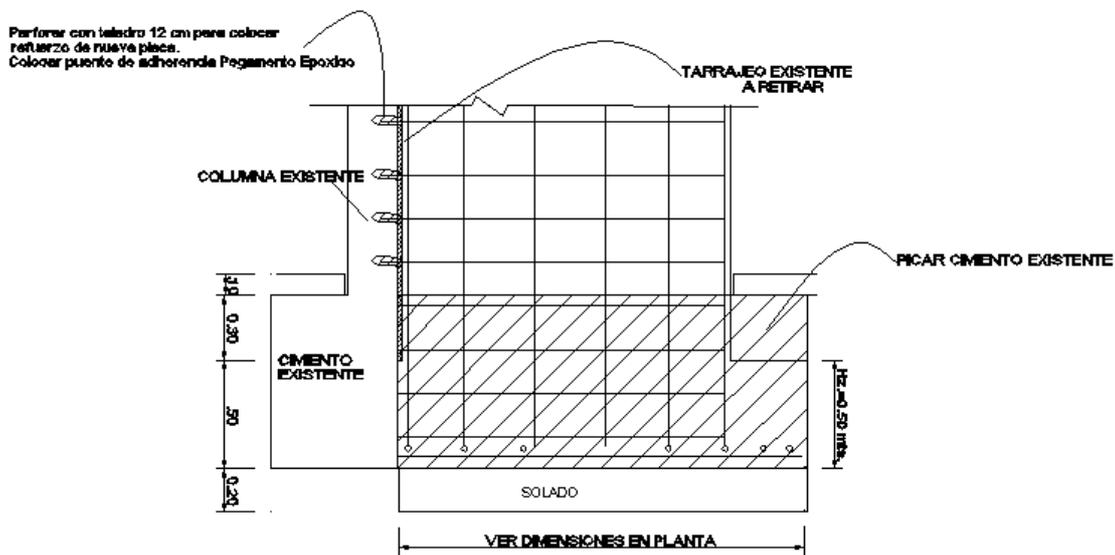
Figura 109: Detalle de reforzamiento de zapata para columna

### Reforzamiento de Zapata Existente de Columna

Cuando se refuerza un muro o una columna, es necesario incrementar la sección de su cimentación ya que la inclusión del elemento generará momentos mayores sobre la base del elemento estructural. Así la cimentación existente no será lo suficiente eficiente para tomar las nuevas cargas, por esta razón la sección de cimiento debe incrementarse. La Figura 109 muestra un detalle típico para el reforzamiento de una columna. Aquí como se observa, parte del cimiento existente debe ser demolido, con la finalidad de dar paso al incremento de la sección de la cimentación. Al igual que en el caso de la columna será necesario el uso de resinas epoxicas para pegar el concreto existente con el nuevo concreto, al igual que la fijación de la nueva armadura del elemento a reforzar.

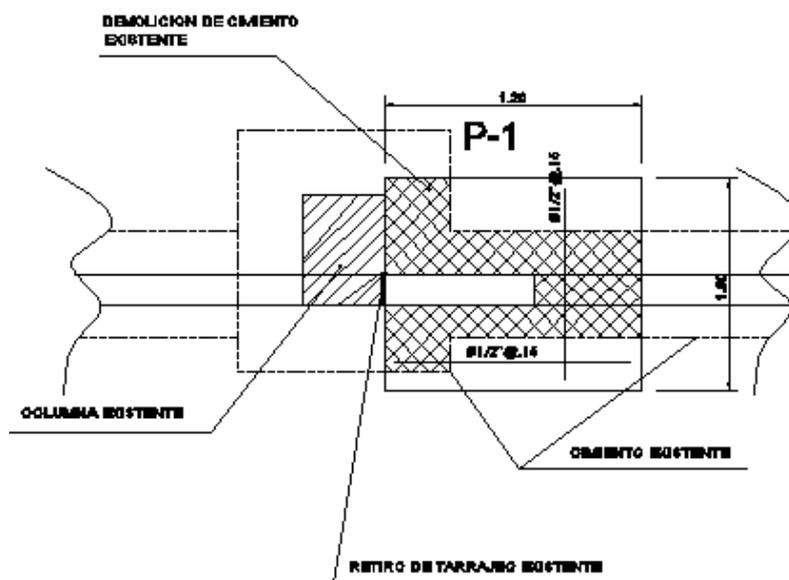
### ***Inclusión de Muros de Concreto a partir de Columnas Existentes***

En este caso es necesario considerar un buen amarre entre el elemento placa y la columna existente. Por este motivo deben usarse barras de transferencia a través de cajuelas que deben calarse sobre la columna existente, y asimismo realizar un incremento del tamaño de la cimentación de los elementos. La Figura 110 presenta un detalle donde se puede observar las cajuelas para colocar el puente de adherencia con barra de transferencia que sirva de anclaje entre la nueva armadura y la columna existente. Asimismo aquí se debe de intervenir al cimiento de manera que pueda incluirse la cimentación de la nueva placa. La Figura 111 muestra un detalle en planta del cimiento incluido para la placa, de manera que el cimiento existente y el cimiento nuevo puedan integrarse.



### **DETALLE TÍPICO DE CIMENTACION DE PLACA**

Figura 110: Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación



DETALLE DE CIMENTACION DE PLACA DE REFUERZO D-1

Figura 111: Detalle de la cimentación de la placa visto en planta

### Conclusiones y recomendaciones para el reforzamiento de edificaciones

- Considerando los resultados del estudio de vulnerabilidad sísmica, se encontró que el 90% de las edificaciones del distrito de La Molina son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 9% de edificaciones de concreto. La representatividad de la muestra nos orienta a mostrar aquellas técnicas apropiadas para el reforzamiento de viviendas de mampostería y asimismo de edificaciones de concreto.
- Los resultados del estudio de riesgo sísmico de los sectores estudiados y considerando los lotes representativos de la muestra, identifican que los niveles de daño I y II (con costo de reparación inferior al 30%) demandan inversiones menores en la reparación. Los Niveles de daño III, IV y V, que serían aquellos que demanden intervención para su reforzo. Así por ejemplo de las 438 manzanas estudiadas para edificaciones de mampostería, 229 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto 29 manzanas requerirían de una intervención de reforzamiento.
- Considerando las manzanas que poseen nivel de daño IV y V, que son aquellas que tendrían que ser intervenidas de forma inmediata, se ha cuantificado que 7762 edificaciones requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. Estas edificaciones son aquellas cuyo costo de reparación es superior al 60% de su valor. La intervención de estas viviendas debe realizarse luego de una evaluación al detalle de la edificación por parte de un especialista en diseño de estructuras antisísmicas.
- Se presentan técnicas para el reforzamiento de muros, columnas y cimentaciones, típicas de un reforzamiento en viviendas de albañilería. Siguiendo estas recomendaciones y con la asesoría de un ingeniero estructural se lograra disminuir el riesgo en estas edificaciones.



## 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.