



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

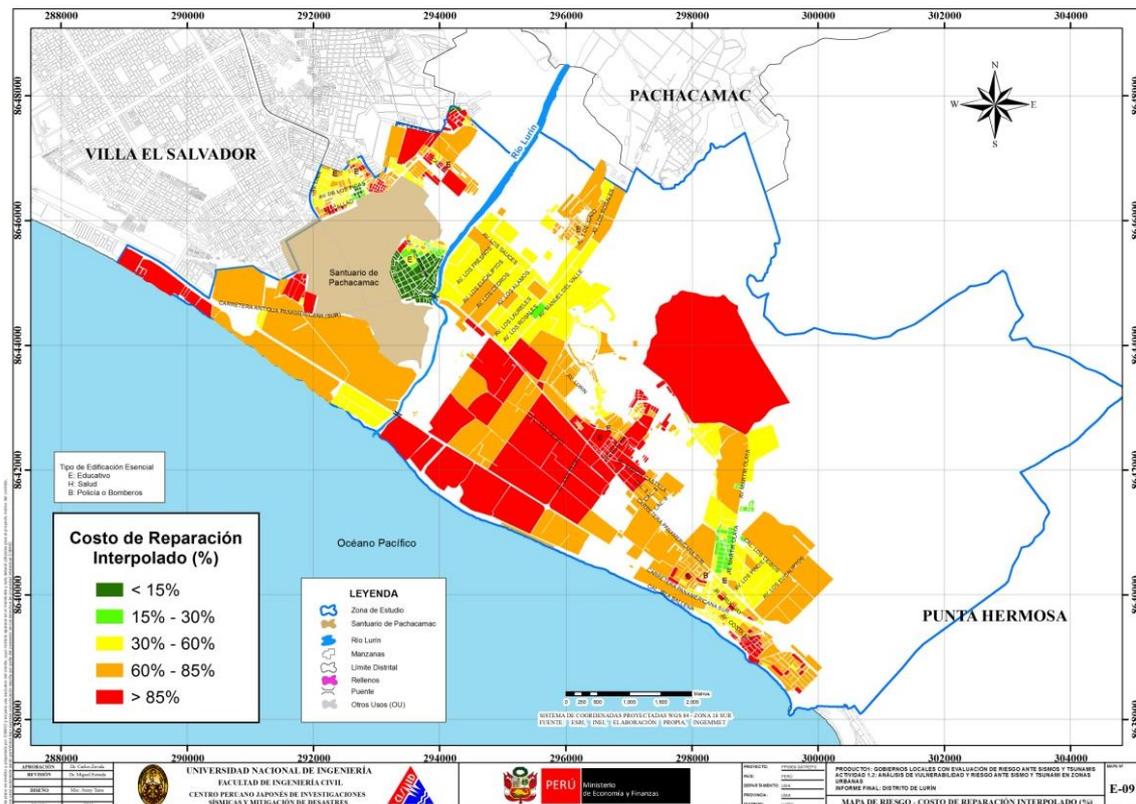
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



PROGRAMA PRESUPUESTAL 068:
**REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA POR
DESASTRES**

PRODUCTO 1:
**GOBIERNOS LOCALES CON EVALUACIÓN DE RIESGO ANTE SISMOS Y
TSUNAMIS**

ACTIVIDAD 1.2:
**ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ANTE SISMO Y TSUNAMI EN ZONAS
URBANAS**
INFORME FINAL – DISTRITO DE LURÍN





UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



CONTENIDO

1 ANTECEDENTES	6
2 OBJETIVOS	7
2.1 Objetivo General	7
2.2 Objetivos Específicos.....	7
3 METODOLOGÍA DEL TRABAJO	7
4 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN.....	8
4.1 Organización del Trabajo de Campo	8
4.1.1 Preparación de Actividades, Coordinación y Personal.....	8
4.1.2 Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo.....	10
4.1.3 Procedimiento y Control de Calidad de Datos de Campo	11
4.2 Georreferenciación y Compatibilización de Planos	12
4.3 Sistematización de la Información	12
4.3.1 Ubicación de las manzanas a evaluar	12
4.3.2 Elaboración de la base de datos geo-espacial.....	14
5 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PRINCIPALES SECTORES	19
6 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES	40
6.1 Conceptos Generales	40
6.2 Formas de Evaluación	40
6.2.1 Método Determinístico	40
6.2.2 Método por Criterio	41
6.2.3 Método adoptado para el análisis de la muestra en el presente estudio	41
6.3 Evaluación y análisis estadístico de las edificaciones evaluadas	43
6.4 EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES	45
7 DIAGNÓSTICO DEL RIESGO SÍSMICO EN EL DISTRITO DE LURÍN	64
7.1 Definición de Riesgo Sísmico	64
8 RESUMEN EJECUTIVO DE LAS PROPUESTA TÉCNICA DE REFORZAMIENTO DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA	68
9 PROPUESTA TÉCNICA DE REFORZAMIENTO DE EDIFICACIONES DE VIVIENDA POR TIPOLOGÍA	70
10 PROPUESTAS REPRESENTATIVAS PARA EL REFORZAMIENTO DE MUROS DE ALBAÑILERÍA EXISTENTES CON DEFICIENCIA DE CONFINAMIENTO	72
10.1 Reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de tamaño o sección	73
10.2 Reforzamiento de Columnas de Concreto.....	76
10.3 Reforzamiento de Zapata Existente de Columna.....	77
10.4 Inclusión de Muros de Concreto a partir de Columnas Existentes.....	77
10.5 Conclusiones y recomendaciones para el reforzamiento de edificaciones	78
11 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA FRENTE A TSUNAMI PARA EL DISTRITO DE LURÍN, LIMA	80
11.1 Objetivo	80
11.2 Sismicidad en el Perú	80
11.3 Tsunamis históricos en Lima	83
11.4 Ámbito de Estudio.....	84



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID

11.5	Procedimiento de Análisis.....	85
11.6	Consideraciones Teóricas	85
11.6.1	Conceptos Básicos	85
11.6.2	Teoría de Aguas Poco Profundas.....	87
11.6.3	Parámetros de Fuente Sísmica	88
11.7	Escenario Sísmico	89
11.7.1	Magnitud	89
11.7.2	Ubicación del Epicentro	89
11.7.3	Profundidad Epicentral.....	90
11.8	Análisis del Tsunami Para las Costas de Lima y Lurín	91
11.8.1	Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano	91
11.8.2	Fase de la Propagación del Tsunami	95
11.8.3	Fase de Inundación	99
11.9	Análisis de Resultados.....	104
11.10	Recomendaciones	107
11.11	Referencias para el Estudio de Tsunamis	110



**RESUMEN EJECUTIVO DE LA ACTIVIDAD 1.2:
ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ANTE SISMO Y TSUNAMI EN
ZONAS URBANAS
INFORME FINAL – DISTRITO DE LURÍN**

- En cumplimiento del Programa Presupuestal 068: Reducción de Vulnerabilidad y Atención de Emergencia por Desastres, Producto 1: Gobiernos Locales con Evaluación de Riesgo ante Sismos y Tsunamis y Actividad 1.2: Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo ante Sismo y Tsunami en Zonas Urbanas, el objetivo del presente informe es elaborar una evaluación de la vulnerabilidad y riesgo de las edificaciones del distrito de Lurín.
- Esta investigación en lo concerniente a microzonificación, se llevó a cabo desarrollando tres áreas de estudio; peligro sísmico que emplea métodos probabilísticos y determinísticos para estimar la aceleración máxima horizontal en roca (PGA) valor importante para estimar las aceleraciones del terreno; la mecánica de suelos que caracterizando el suelo mediante exploración de campo, determina el tipo de material sobre el cual se asienta el área urbana y la dinámica de suelos que permite mediante ensayos de tipo geofísicos caracterizar el comportamiento dinámico de los suelos.
- El Peligro Sísmico es un trabajo netamente de gabinete, desarrollándose en función de leyes de atenuación existentes y programas de cómputo diseñados para tal fin. Los estudios de mecánica y dinámica de suelos pasan primero por una etapa de recopilación de información existente, evaluando su cantidad y calidad, y programando luego los ensayos de campo en número suficiente para alcanzar los objetivos planteados.
- Se presenta en los informes de Desarrollo de Microzonificación Ante Sismo y Tsunami los resultados obtenidos en estas tres áreas de estudio, utilizando tanto la información recopilada como la generada en este trabajo.
- Se obtiene un mapa de microzonificación sísmica producto de la superposición de resultados obtenidos en las diferentes áreas de estudio. Las áreas señaladas en el mapa de microzonificación geotécnica sísmica, reflejan el posible comportamiento sísmico, de manera cuantitativa y de menos a más desfavorable, del suelo del distrito de Lurín, ante la ocurrencia de un sismo severo. Este mapa permite proyectar los posibles daños que pueden ocurrir a las edificaciones y a la población. Se convierte también en un gran instrumento para la planificación urbana y/o para la reconstrucción post-desastre sísmico.
- En lo concerniente a la evaluación de la vulnerabilidad, el objetivo del presente trabajo es la evaluación del riesgo sísmico de las edificaciones del distrito de Lurín, 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID

- 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 Lurín, en 25 sectores según la zonificación de identificación que se utilizó para este trabajo.
- 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 Lurín puede calificarse como un distrito emergente donde las viviendas predominan (79% de la muestra analizada) encontrándose que las edificaciones de albañilería representan 86% de las edificaciones del distrito, seguido por edificaciones usadas como comercio que representan el 8% de la muestra. La vulnerabilidad de estas edificaciones se ven altamente influenciadas por las prácticas constructivas, 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 aproximadamente el 12% de las edificaciones del distrito poseen un grado de vulnerabilidad alta, 31% una vulnerabilidad media y el 57% posee una vulnerabilidad de baja.
- Para la determinación del riesgo sísmico del distrito de Lurín, 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 aproximadamente 653 cm/seg^2 . Conocido el nivel de distorsión es posible estimar el nivel de daño por tipo de sistema estructural, para el lote representativo de la manzana estudiada. Se encontró que aproximadamente el 25% de las edificaciones tendrían daño leve o permanecerían sin daño en el evento severo. Aproximadamente el 23% de las edificaciones poseerían un daño moderado, mientras que aproximadamente el 26% de las edificaciones tendrían un daño severo, mientras que aproximadamente el 26% 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 20% tendrían un daño moderado, mientras que 60% tendrían daño severo. El 20% de las edificaciones esenciales podrían experimentar colapso.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



PROGRAMA PRESUPUESTAL 068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA POR DESASTRES

PRODUCTO 1: GOBIERNOS LOCALES CON EVALUACIÓN DE RIESGO ANTE SISMOS Y TSUNAMIS

ACTIVIDAD 1.2: ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD Y RIESGO ANTE SISMO Y TSUNAMI EN ZONAS URBANAS

INFORME FINAL – DISTRITO DE LURÍN

1 ANTECEDENTES

A través de un convenio entre el Gobierno de Japón y el Gobierno de Perú, se viene desarrollando desde el año 2010 el proyecto denominado “Fortalecimiento de Tecnologías para la Mitigación de Desastres por Terremoto y Tsunami en el Perú”, Proyecto de 5 años, donde la contraparte japonesa se compromete a enviar expertos en las diferentes áreas relacionadas a la ingeniería para la estimación de las amenazas y vulnerabilidades en zonas urbanas y proponer medidas de reducción del riesgo ante los efectos que puedan causar los sismos severos y los posibles tsunamis generados, esto a través de la Agencia de Cooperación Internacional de Japón – JICA y de la Agencia Japonesa para la Ciencia y Tecnología – JST, adicionalmente la cooperación Japonesa se compromete a enviar equipos y programas de cómputo para realizar ensayos y procesar información en las áreas de estructuras, geotecnia y geomática. Por su parte el Gobierno del Perú a través del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, de la Facultad de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de Ingeniería – CISMID/FIC/UNI, se compromete a realizar los estudios de campo, el procesamiento de información y la elaboración de informes dentro del marco de este proyecto. Para la ejecución de los trabajos que demandan estos estudios se necesita adquirir equipos complementarios y solventar los gastos que demanden todos los investigadores peruanos. Para la ejecución de estas actividades CISMID/FIC/UNI presenta una propuesta de investigación y ejecución de actividades dentro del Programa Presupuestal 068: Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres, para complementar los trabajos con los investigadores japoneses y honrar de esta manera el compromiso del Gobierno de Perú. De esta manera, se propone la ejecución del Producto: Gobiernos Locales con Evaluación de Riesgos ante Sismos y Tsunamis, donde se incorpora la Actividad: Análisis de Vulnerabilidad y Riesgo ante Sismo y Tsunami en Zonas Urbanas, la cual tiene como área objetivo los distritos de Independencia y Lurín y este informe da cuenta de los resultados obtenidos para el distrito de Lurín, como parte componente de la actividad mencionada.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo General

Realizar la evaluación del Riesgo Sísmico en Zonas Urbanas del distrito de Lurín en concordancia con el objetivo general del Programa Presupuestal 068 “Reducción de la Vulnerabilidad y Atención de Emergencias por Desastres”.

2.2 Objetivos Específicos

1. Elaborar una base de datos Geoespacial de una muestra de las edificaciones del Distrito de Lurín.
2. Analizar la vulnerabilidad física frente a amenaza sísmica de las edificaciones incluyendo las esenciales en el distrito de Lurín. Entre las edificaciones esenciales se consideran hospitales, escuelas, comisarías, iglesias, bomberos, local municipal principal, puentes.
3. Elaborar un mapa de riesgo para un escenario sísmico, donde se presenten las áreas del distrito con los diferentes niveles de daño probable ante la ocurrencia de un sismo severo.
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.

3 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, ingeniería geomática y otras especialidades, formando un cuerpo de especialistas que pueden desarrollar una metodología de evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas, que pueda ser replicada a nivel nacional y proponer medidas de prevención y mitigación.

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, que conforma parte del Programa Presupuestal 068.

Adicionalmente se coordina con las autoridades del gobierno local para que proporcionen 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.



4 LEVANTAMIENTO DE LA INFORMACIÓN

4.1 Organización del Trabajo de Campo

4.1.1 Preparación de Actividades, Coordinación y Personal

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

a) Metodología de toma de datos

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

b) Plantilla para la encuesta

Para la valoración en campo de las características de las edificaciones se utiliza una ficha de evaluación de elaborada por nuestra institución para la evaluación rápida de estructuras, la cual se presenta en la Figura 1.

La Ficha está dividida en cinco áreas:

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

Esta información es complementada con la toma de fotografías en cada esquina de la manzana y del lote representativo de la manzana, donde se pueda identificar a la estructura de la edificación. Posteriormente estas fotografías se codifican para que coincidan con el identificador del lote y de esta manera poder almacenar la fotografía o fotografías en la base de datos geoespacial.

ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE

INFORMACIÓN DE LA MANZANA
CÓDIGO DE LA MANZANA:

LEYENDA PARA LA CODIFICACIÓN DEL LOTE

No. Pisos (1)	Material (2)	Usos (3)	Sistema Estructural (4)	Conservación (5)
	Adobe (A) Mampostería (M) Concreto (C) Quincha (Q) Acero (S) Madera (W) Otro (O)	Vivienda (V) Comercio (C) Multifamiliar (M) Policía o Bomberos (B) Educativo (E) Hospital (H) Industrial (I) Baldío (B) Otros (O)	S Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo M Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Rígidos N Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Flexibles L Construcción Informal en Albañilería A Adobe y Quincha C Pórticos de Concreto W Estructura de Concreto Armado con Placas I Pórticos de Concreto con Vanos Rigidizados con Mampostería L Estructura Celular de Concreto F Pórtico de Acero Resistentes a Momento B Pórtico de Acero Arriostrados a Diagonales U Estructura de Perfiles Livianos W Entramados de Madera T Estructuras Industriales / Comerciales	(B) Bueno (R) Regular (M) Malo

*Nota: La Información de la manzana irá en plano lotizado adjunto similar al ejemplo de llenado que se muestra. Nota 2: No Evaluado Use (X) Caso Valido Use (V)

(1) + (2) + (3) + (4) + (5)
1PISOS + ADOBE + USO VIVIENDA + MAMPOSTERIA DE ARCILLA SIN REFUERZO + REGULAR

Foto 5 - Numero

Formato de Ayuda para Codificación del Lote

ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE

CODIGO DE MANZANA	CODIGO INTERNO
--------------------------	-----------------------

ESTRUCTURACIÓN				
Material	Adobe	Mampostería	Concreto	Observaciones
Estado de Conservación	Bueno	Regular	Malo	
Cimentación	Asentamiento	Si	No	
	Humedad en la Base	Si	No	
Techo				
Adobe	Mampostería	Concreto	Otros	
Madera	Losa de CA	Losa de CA		
Caña	Aligerado	Aligerado		
Torta Barro	Calamina	Placa Colaborante		
Otro	Otro	Otro		
Elementos Estructurales				
Fisuración				
Columnas	Fisuras	NOTA	Fisura Vertical (V)	
Vigas	Fisuras	Sin Fisuras (X)	Fisura Diagonal (D)	
Muros	Fisuras		Fisura Horizontal (H)	
Estado de Muros				
Unidad	Artisanal	Industrial	Sólido	Tubular/Hueco
Confinamiento	Si	No		
Fisuras	Si	No		
Tarrajeo	Si	No		
Estado de conservacion	Bueno	Regular	Malo	

Achurar lote representativo

Figura 1. Formato de evaluación para la edificación representativa de la manzana.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



4.1.2 Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo

- a) Preparación de planos para la toma de datos: Basado en la información de planos georreferenciados del INEI del último censo de vivienda del año 2007, se imprimieron los planos para la elaboración de los trabajos de campo en las zonas de estudio. Para facilitar el trabajo de los grupos evaluadores, el área a evaluar se dividió en 25 sectores, tal como se muestra en el mapa No. E-01.
- b) Para determinación de los límites del área a evaluar, se coordinó con funcionarios del Ministerio de Vivienda, de manera que se evaluara la totalidad del área urbana, con los diferentes niveles de ocupación y consolidación urbana. Adicionalmente, se prepararon mapas sobrepuestos en imágenes de Google Earth para la determinación exacta de estas áreas. Hay que mencionar que el área evaluada por el equipo geotécnico es un poco mayor, ya que también se evaluaron zonas de posible crecimiento urbano.
- 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. Los coordinadores de grupo, sectorizaron el distrito, para que cada grupo de tres personas trabajase en zonas involucradas reportando la información levantada a los coordinadores, quienes con sus asistentes, transfirieron la información generada en las fichas a una base de datos utilizando una hoja de cálculo con campos similares al de la ficha. Posteriormente toda esta información es codificada y llevada a una base de datos en una plataforma de sistema de información geográfica (SIG) para su georreferenciación espacial.

La sectorización del distrito se muestra en la Figura 2, que se adjunta a continuación, en donde son identificados los 25 sectores en que se dividió el distrito de Lurín.

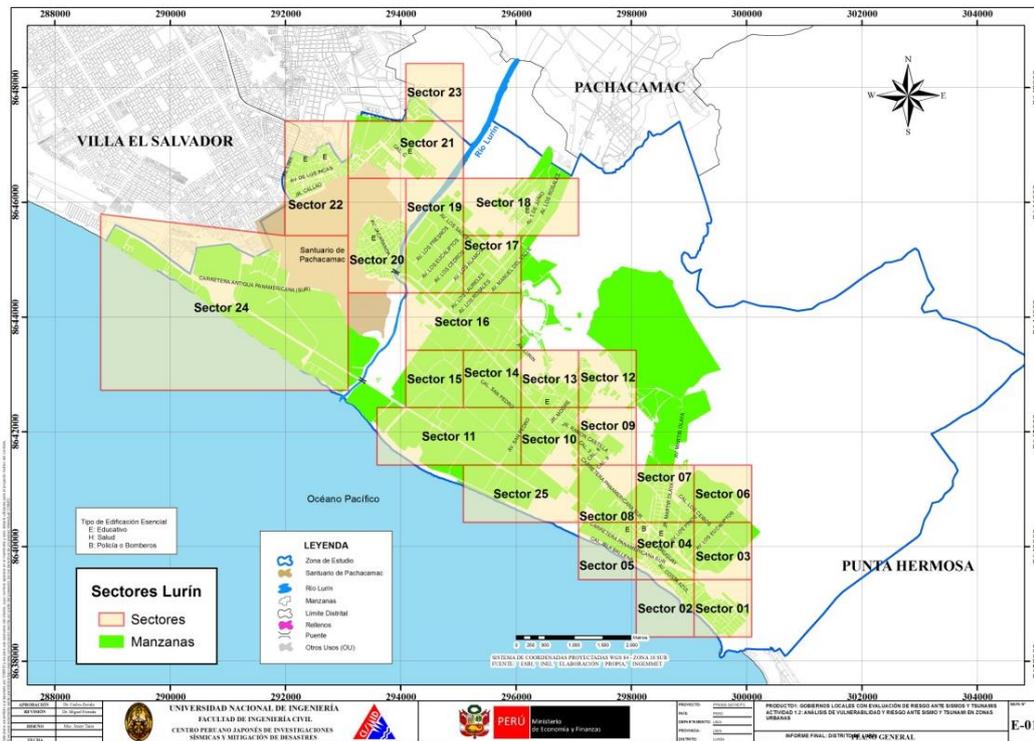


Figura 2. Sectores de evaluación del distrito de Lurín.

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

- b) Clasificación de datos
Se clasificó la base de datos según las características físicas de los predios levantados como: material predominante, número de pisos, uso y estado de conservación, entre otras características de la ficha de levantamiento de datos.

- c) Verificación de los datos adquiridos
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 tomadas en el lugar además de una verificación de la información de la base de datos.

4.2 Georreferenciación y Compatibilización de Planos

a) Definición del sistema de georreferenciación

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

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

Los planos que estuvieron en otro sistema de coordenadas fueron convertidos al sistema de coordenadas WGS 84 mediante los parámetros por defecto que presenta el programa ArcGIS.

4.3 Sistematización de la Información

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

La evaluación de las edificaciones, si bien es cierto que se identificó una evaluación genérica a nivel de lote, la presentación de los resultados se basa en la identificación del lote representativo de la manzana. Para realizar la evaluación y trabajo de campo se seleccionó una muestra estadística distribuida espacialmente entre todas las manzanas del distrito. Para la selección de manzanas se definió que por lo menos el 33% del total de manzanas debe ser evaluado.

4.3.1 Ubicación de las manzanas a evaluar

Para la selección de la ubicación de las manzanas a evaluar se utilizó una función estadística de distribución probabilística. 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 de ocurrencia de todos los valores posibles dentro del rango de valores.

Se define la función de probabilidad uniforme como:

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

Donde: a y b son los límites geográficos para el distrito de Lurín 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 3 se presenta el total de las 1063 manzanas del distrito, y en color rojo las evaluadas y en color verde las no evaluadas. Se presentan las 350 manzanas evaluadas en color rojo y las no evaluadas en color verde. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 33%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 se presenta en detalle las manzanas que fueron evaluadas.

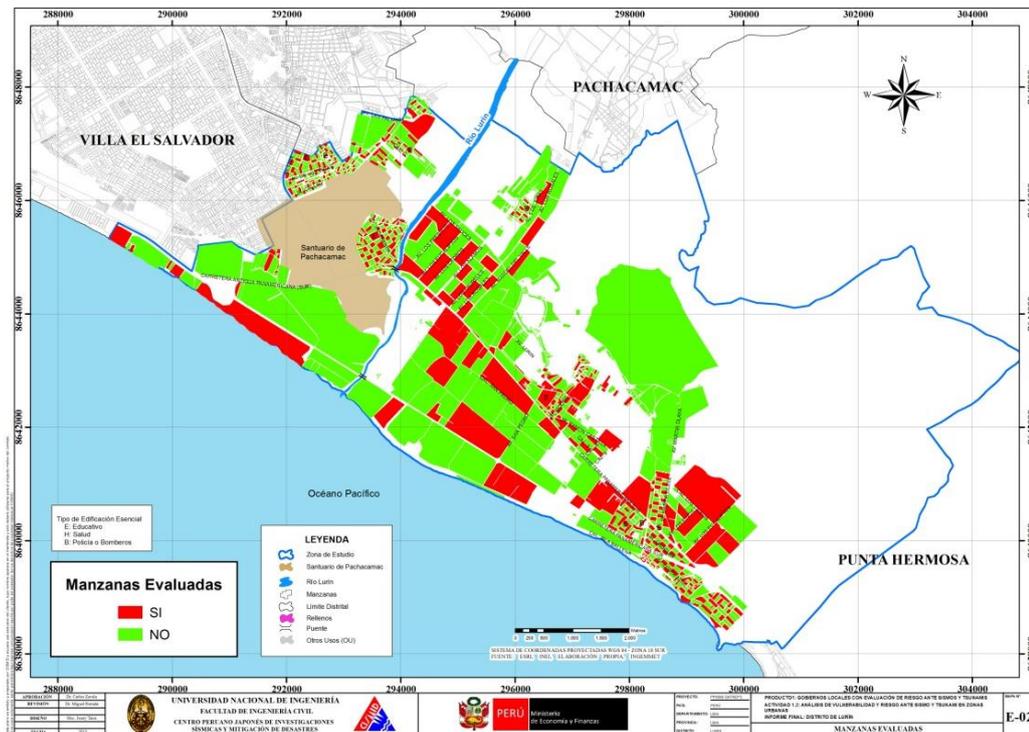


Figura 3. Manzanas totales (1063) versus manzanas seleccionadas (350).

En el presente trabajo se optó por considerar un nivel de confianza del 97% bajo el supuesto que exista un error del orden del 1.93% en la desviación estándar, dando como resultado que el tamaño de la muestra es del 30% de población total de las manzanas. Esto produce un tamaño de muestra calculado en función del tamaño de la población (N), el error en la desviación estándar (α) y el número de unidades de desviación estándar para alcanzar el nivel de confianza deseado (z).

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

Esto produce un tamaño de muestra mínimo de 300 manzanas. En el presente estudio se mejoró notablemente este valor al considerar una muestra de 350 manzanas, bajo dos premisas: primero, con este mayor número de manzanas se cubre mayor área y por lo tanto el análisis tiene una mayor consistencia. Segundo el error en la desviación estándar se reduce al 3%.

4.3.2 Elaboración de la base de datos geo-espacial

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

En cada manzana seleccionada se levantó los datos de todos los lotes que se encuentran en esa manzana, indicándose las características de la edificación así como el código de la manzana. De todos estos lotes se seleccionó uno representativo el cual es llevado a una base de datos separada para luego ser incorporada a la plataforma SIG. En la selección del lote representativo, se considera aquel que representa las características más frecuentes, es decir, aquella edificación que se repite más veces, dentro de la manzana evaluada. En la Figura 4 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

PROGRAMA PRESUPUESTAL 068: REDUCCIÓN DE VULNERABILIDAD Y ATENCIÓN DE EMERGENCIA POR DESASTRES ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DE LURÍN													
Levantamiento de Información - Distrito de Lurín													
Num	CodMza	Sec_Mza	LoteRepre	Cond. De Cimentación			Fisuras			Muros			
				CimentA	CimentH	Techo	FisuraCol	FisuraVig	FisuraMur	FabricaAlb	TipoAlb	Confina	Tarrajeo
1	917	S01_1	01MCNR	NO	NO	Calamina	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
2	927	S01_2	01MVNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
3	930	S01_3	02MVNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
4	919	S01_4	02MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
5	926	S01_5	01MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
6	933	S01_6	01MVNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
7	918	S01_7	02MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
8	797	S01_8	02MVNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	Sólido	SI	SI
9	25	S01_9	02MVNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	Sólido	SI	SI
10	182	S01_10	02MVNR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
11	190	S01_11	01MVNR	NO	SI	Calamina	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
12	945	S01_12	01MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
13	181	S01_13	01MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
14	188	S01_14	01MVNR	NO	SI	Calamina	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
15	798	S01_15	01MVNR	NO	SI	Calamina	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI
16	26	S01_16	02MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
17	931	S01_17	02MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	ND	Sólido	SI	SI
18	187	S01_18	02MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	ND	Sólido	SI	SI
19	178	S01_19	01MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
20	245	S01_20	01MVNR	NO	SI	Calamina	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
21	1076	S01_21	01MVNR	NO	SI	Calamina	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
22	794	S01_22	01MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI
23	184	S02_1	02MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI
24	940	S02_2	02MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	NO	SI
25	907	S02_3	01MVNR	NO	SI	Calamina	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI
26	854	S02_4	02MVNR	NO	SI	Calamina	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI
27	175	S02_5	02MVNR	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI

Figura 4. Base de datos de los lotes representativos por manzana.

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID

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 ²
Avg_GRID_C	Promedio del porcentaje del costo de reparación
CimentA	Asentamiento en la cimentación
CimentH	Humedad en la cimentación
Codaza	Código de la manzana
Confina	Confinamiento en muros
CostRep3	Porcentaje del costo de reparación calculado
Esen_Dano	Uso de suelo y nivel de daño
Estado	Estado de la edificación
FabricaAlb	Tipo de unidad de albañilería
FID	Identificador de elemento
FisuraCol	Fisuras en las columnas
FisuraMur	Fisuras en muros
FisuraVig	Fisuras en vigas
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 5 muestra el detalle de los datos de una manzana evaluada. Como se puede apreciar en esta base de datos geo-espacial se ha integrado una imagen de satélite, obtenida desde Google Earth, la información cartográfica de los bordes de las manzanas y dentro de la base de datos descriptiva además de la información levantada en campo se encuentra la información procesada. Adicionalmente, se han integrado fotografías de las manzanas evaluadas por medio de hipervínculos a los archivos que contienen a estas fotos.

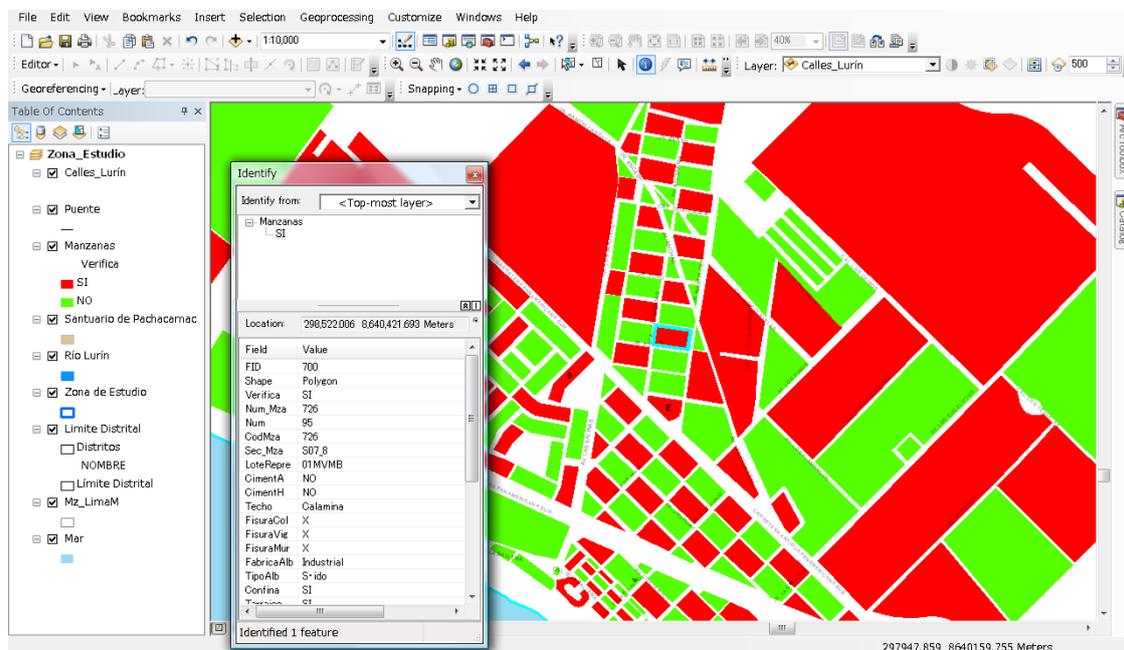


Figura 5. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva para su procesamiento.

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.

En el mapa No. E04, referente a los materiales existentes en las edificaciones del distrito de Lurín, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 6, donde es notorio que el material predominante es la mampostería de ladrillo que representa el 86% de la muestra. Debe destacarse que existen edificaciones de concreto que representan un 5% de la muestra, así como edificaciones de madera que representan el 8% de muestra.

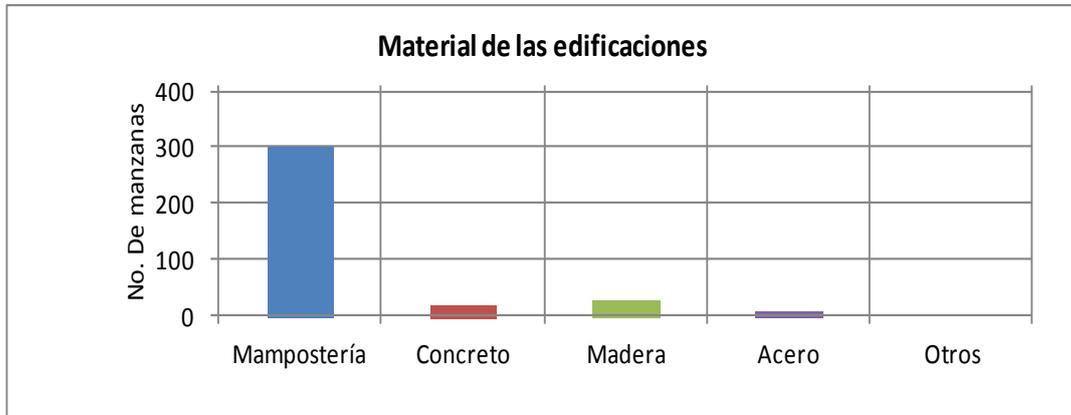


Figura 6. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de Lurín.

En el mapa E-05 se presenta las manzanas evaluadas y clasificadas de acuerdo al uso del suelo de las edificaciones. En la Figura 7 se presenta el resumen estadístico de la muestra en lo referente al uso del suelo o uso de la edificación de la muestra estudiada. Puede leerse que es predominante el uso en viviendas que ocupan un 79% de la muestra, seguido de comercios que representan el 8% de la muestra, las viviendas-comercio que representan un 6% y los colegios representan el 3% de las edificaciones en el área estudiada.

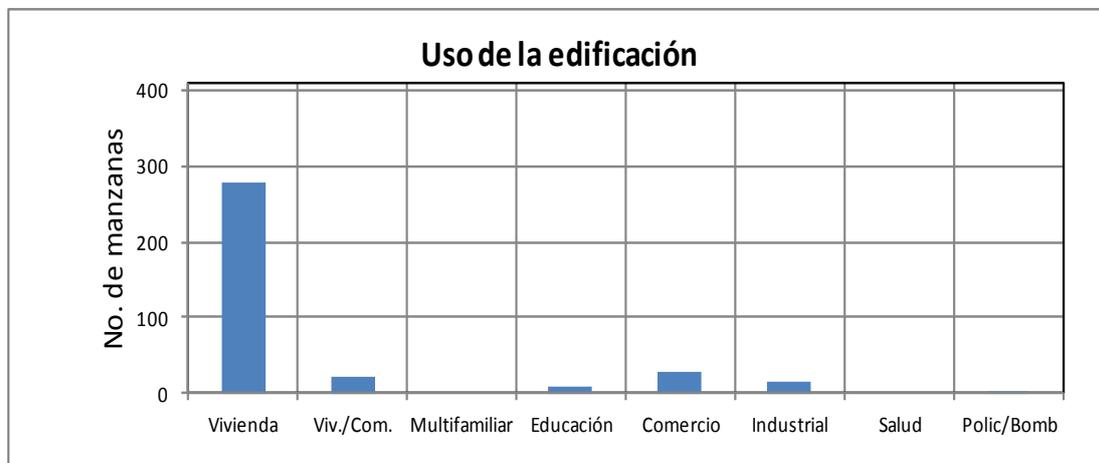


Figura 7. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Lurín.

En el mapa E-06 se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La Figura 8 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que se obtuvo de la estadística de la muestra usada en el distrito de Lurín. En el gráfico se entiende que el sistema estructural más utilizado es la mampostería de ladrillos de arcilla con diafragmas o techos rígidos que ocupa el 61% de la muestra. Le siguen a este sistema en uso la albañilería confinada con diafragma o techo flexible con un 25% de la muestra, que generalmente se tiene en el último nivel de la edificación. Por otro lado un 8% de la muestra está representado por viviendas de madera. Las estructuras de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados por muros de albañilería representan un 2% de la muestra.

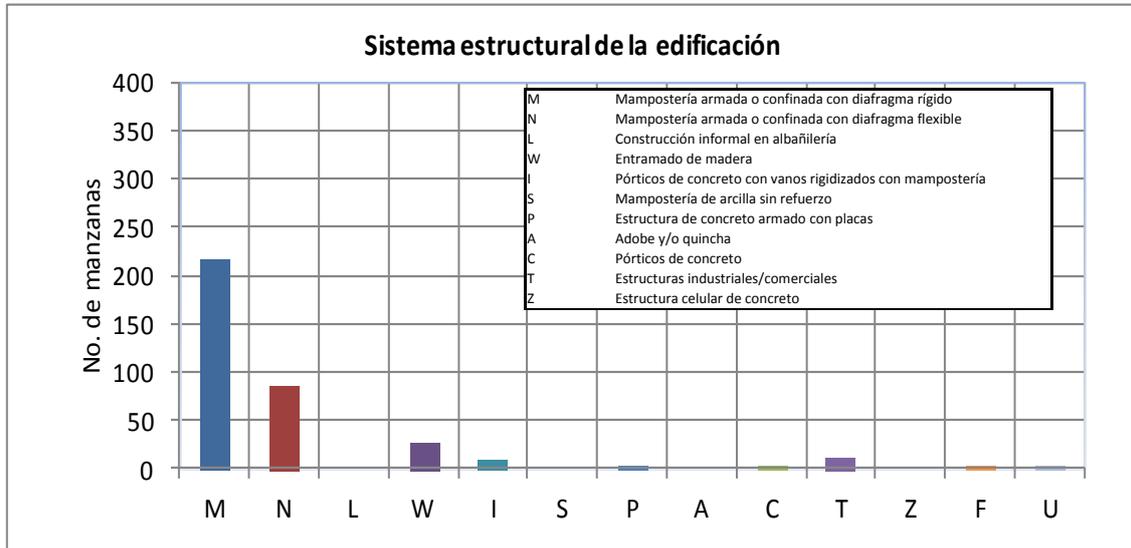


Figura 8. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Lurín.

El mapa temático E-07 presenta el estado de conservación de las viviendas del distrito de Lurín. La Figura 9 presenta los resultados estadísticos de la muestra analizada. El 25.7% de las edificaciones se encuentra en buen estado de conservación, mientras que el 70% de la muestra presenta un estado regular de conservación, en contra de un 4.3% que presenta un mal estado de conservación.

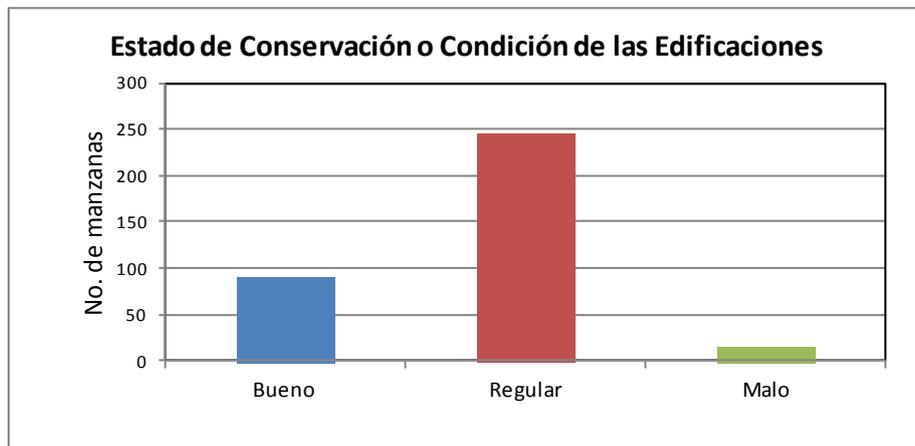


Figura 9. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Lurín.

5 RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PRINCIPALES SECTORES

SECTOR 01

El sector 01 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por el Norte con la antigua Panamericana Sur y por el Sur con el Océano Pacífico y la Calle EL Pulpo. El sector 01 cuenta con un total de 22 manzanas evaluadas.

Del levantamiento del sector 01, se pudo observar que existen principalmente edificaciones de uso vivienda de 02 pisos de altura, las cuales están construidas en base a un sistema estructural de muros de albañilería confinada y losa aligerada tal como se muestra en la Figura 10. En general, este sector presenta un regular estado de conservación con un alto nivel de humedad en la base de las edificaciones. (Ver Figura 11)



Figura 10. Edificaciones de uso vivienda.



Figura 11. Humedad en la base de las edificaciones.

SECTOR 02

El sector 02 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente al Norte por la antigua Panamericana Sur y al sur por el Océano Pacífico y el Jr. Los Geranios. El sector 02 cuenta con un total de 12 manzanas evaluadas.

Del levantamiento del sector 02, se pudo observar que existen principalmente edificaciones de uso vivienda de 02 pisos de altura, las cuales están construidas en

base a un sistema estructural de mampostería confinada y losa aligerada como se muestra en la Figura 12. En general, este sector presenta un regular estado de conservación con un elevado afloramiento de humedad en la base de las edificaciones. (Ver Figura 13)



Figura 12. Edificaciones de uso de vivienda.



Figura 13. Humedad en base de las edificaciones.

SECTOR 03

El sector 03 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la Av. Los Eucaliptos, la antigua Panamericana Sur y la Av. Industrial. El sector 03 cuenta con un total de 03 manzanas evaluadas.

Del levantamiento del sector 03, se pudo observar que existen principalmente edificaciones de uso industrial, las cuales cuentan con muros perimétricos de concreto armado y muros de albañilería, además de naves industriales en su interior como se muestra en la Figura 14. En general, este sector presenta un regular estado de conservación con cierta presencia de humedad en la base de las edificaciones.



Figura 14. Edificaciones de uso industrial.

SECTOR 04

El Sector 4 está delimitado entre el Jr. España por el norte, la calle Malecón por el sur, Av. Los Eucaliptus por el este y con la Av. Las Salinas por el oeste. En este sector se evaluaron 40 manzanas.

En este sector predominan, como material de construcción la albañilería, como uso vivienda, estado de conservación bueno. Se ha notado humedad en la base de las edificaciones en algunas zonas. Esto puede apreciarse en la Figura 15.



Figura 15. Edificaciones de albañilería.

Predomina el sistema estructural de albañilería de uno y dos niveles, algunas de ellas con cobertura ligera tal como se ve en la Figura 16.



Figura 16. Edificaciones con cobertura ligera.

En este sector se puede apreciar que las edificaciones presentan humedad en la base lo cual afecta a los muros de albañilería y a los elementos de confinamiento vertical como se ve en la Figura 17.



Figura 17. Viviendas con presencia de humedad en la base.

SECTOR 05

El Sector 5 está delimitado por la avenida Las Salinas y la calle isla Ballena. En este sector se evaluaron 08 manzanas.

En este sector predominan, como material de construcción la albañilería, como uso vivienda, estado de conservación bueno. Se ha notado humedad en la base de las edificaciones en algunas zonas. Esto puede apreciarse en la Figura 18.



Figura 18. Edificaciones de albañilería de uno y dos pisos.

Predomina el sistema estructural de albañilería de uno y dos niveles con unidades artesanales, con techo aligerado y calamina, tal como se ve en la Figura 19.



Figura 19. Edificaciones construidas con ladrillo artesanal.

SECTOR 06

El sector 06 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la calle Los Ceibos y la Av. Los Eucaliptos. El Sector en mención está conformado por una gran manzana la cual fue evaluada.

Del levantamiento del sector 06, se pudo observar que existen principalmente edificaciones de uso industrial, las cuales cuentan con muros perimétricos de concreto armado y muros de albañilería, además de naves industriales en su interior como se muestra en la Figura 20. En general, este sector presenta un regular estado de conservación con cierta presencia de humedad en la base de las edificaciones.



Figura 20. Edificaciones de uso industrial.

SECTOR 07

El Sector 7 está delimitado entre el Jr. 8 de Febrero por el norte, el Jr. España por el sur, Jr. Mártir Olaya por el este y con la Carretera Panamericana por el oeste. En este sector se evaluaron 16 manzanas.

En este sector predominan, como material de construcción la albañilería, como uso vivienda, estado de conservación bueno. Se ha notado humedad en la base de las edificaciones en algunas zonas. Esto puede apreciarse en la Figura 21.



Figura 21. Edificaciones de albañilería.

Predomina el sistema estructural de albañilería de uno y dos niveles, algunas de ellas con cobertura ligera tal como se ve en la Figura 22.

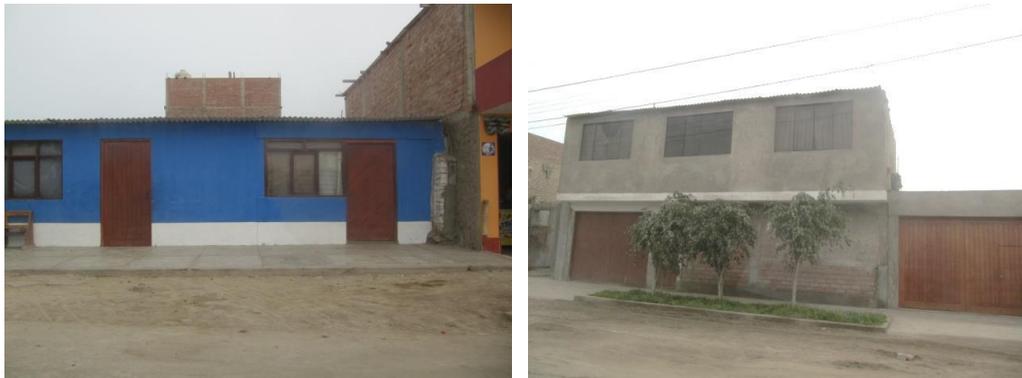


Figura 22. Edificaciones de uno y dos pisos con cobertura ligera.

En este sector se puede apreciar que las edificaciones presentan humedad en la base lo cual afecta a los muros de albañilería y a los elementos de confinamiento vertical como se ve en la Figura 23.

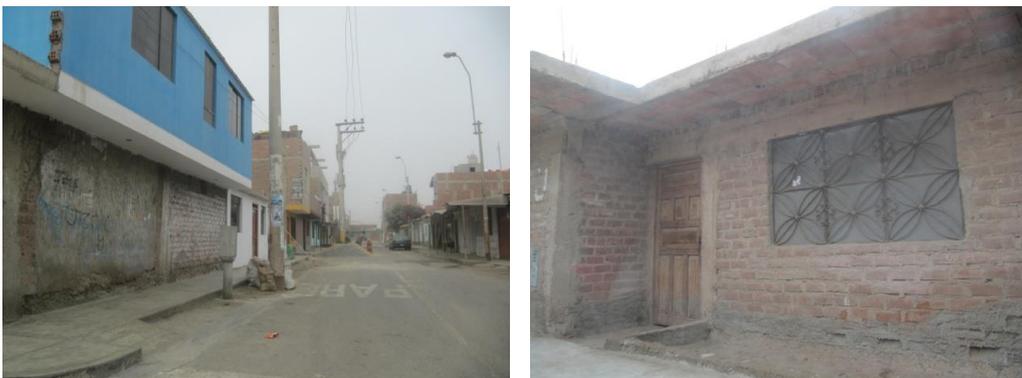


Figura 23. Viviendas con presencia de humedad en la base.

SECTOR 08

El Sector 8 está limitado por la Avenida Las Palmeras y la carretera Panamericana. En este sector se evaluaron 05 manzanas.

En este sector predominan, como material de construcción la albañilería, como uso vivienda, estado de conservación regular. Se ha notado humedad en la base de las edificaciones en algunas zonas. Esto puede apreciarse en la Figura 24.



Figura 24. Edificaciones de albañilería.

Predomina el sistema estructural de albañilería de un nivel, con cobertura ligera tal como se ve en la Figura 25.



Figura 25. Edificaciones con cobertura ligera.

SECTOR 09

El sector 09 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la antigua Panamericana Sur y el Jr. Ramón Castilla. El sector 09 cuenta con un total de 04 manzanas evaluadas.

Del levantamiento del sector 09, se pudo observar que existen principalmente dos tipos de edificaciones; en primer lugar edificaciones de uso vivienda de 01 pisos de altura, las cuales están construidas en base a un sistema estructural de muros de albañilería confinada y techo de calamina. En general, este sector presenta un regular estado de conservación con un alto nivel de humedad en la base de las edificaciones tal como se muestra en la Figura 26.



Figura 26. Edificaciones de uso vivienda.

Además, existen edificaciones de uso industrial construidas en base a concreto reforzado en regular estado de conservación (Ver Figura 27).



Figura 27. Humedad en la base de las edificaciones.

SECTOR 10

El sector 10 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la antigua Panamericana Sur y el Jr. Unión. El sector 10 cuenta con un total de 14 manzanas evaluadas.

Del levantamiento del sector 10, se pudo observar que existen principalmente de edificaciones de uso vivienda y comercio de 02 pisos de altura, las cuales están construidas en base a un sistema estructural de muros de albañilería confinada y losa aligerada tal como se muestra en la Figura 28.



Figura 28. Edificaciones de uso vivienda y comercio.

En general, este sector presenta un regular estado de conservación con un cierto nivel de humedad en la base de las edificaciones (Ver Figura 29).



Figura 29. Humedad en la base de las edificaciones.

SECTOR 11

El sector 11 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la antigua Panamericana Sur, la Calle San Pedro y la Av. San Pedro. El sector 11 cuenta con un total de 01 manzana evaluada.

Del levantamiento del sector 11, se pudo observar que existen principalmente de edificaciones de uso industrial de 02 pisos de altura, las cuales están construidas en base a un sistema estructural de concreto armado y losa aligerada, además dichas edificaciones presentan un buen estado de conservación tal como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Edificaciones de uso industrial.

Por otro lado, el sector en mención cuenta con algunas zonas agrícolas tal como se aprecia en la Figura 31.



Figura 31. Zonas agrícolas.

SECTOR 12

El sector 12 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la Av. Los Tulipanes, el Jr. Bolívar y la Av. Cementerio. El sector 12 cuenta con un total de 17 manzana evaluadas.

Del levantamiento del sector 12, se pudo observar que existen principalmente de edificaciones de uso vivienda de 01 piso de altura, las cuales están construidas en base de albañilería y techo de calamina, además dichas edificaciones presentan un regular estado de conservación tal como se muestra en la Figura 32.



Figura 32. Vivienda de albañilería.

Por otro lado, el sector en mención cuenta con una gran cantidad de edificaciones de 01 piso de entramados de madera y techos de calamina en regular estado de conservación tal como se aprecia en la Figura 33.



Figura 33. Vivienda de entramado de madera.

SECTOR 13

El sector 13 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la antigua Panamericana Sur, la Av. Cementerio y la Av. Las Moras. El sector 13 cuenta con un total de 19 manzana evaluadas.

Del levantamiento del sector 13, se pudo observar que existen principalmente de edificaciones de 01 y 02 pisos de uso vivienda, las cuales están construidas en base de mampostería confinada y losa aligerada, además dichas edificaciones presentan un regular estado de conservación tal como se muestra en la Figura 34.



Figura 34. Vivienda de albañilería.

Por otro lado, el sector en mención tiene edificaciones de 01 y 02 piso de uso vivienda y comercio, construidos con albañilería y losa aligerada en regular estado de conservación tal como se aprecia en la Figura 35.



Figura 35. Vivienda de uso vivienda y comercio.

SECTOR 14

El sector 14 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la antigua Panamericana Sur, la Calle San Pedro. El sector 14 cuenta con un total de 03 manzana evaluadas.

Del levantamiento del sector 14, se pudo observar que existen principalmente de edificaciones de 02 pisos de altura de uso vivienda y comercio, las cuales están construidas en base de albañilería confinada y losa aligerada, además dichas edificaciones presentan un regular estado de conservación tal como se muestra en la Figura 36.



Figura 36. Vivienda de albañilería.

Cabe mencionar, que en este sector se encuentran algunas edificaciones de uso industrial, construidas en base a concreto armado y muros de albañilería, las cuales presentan un regular estado de conservación, tal como se aprecia en la Figura 37.



Figura 37. Vivienda de uso vivienda y comercio.

SECTOR 15

El sector 15 se encuentra ubicado en el distrito de Lurín; limitado aproximadamente por la antigua Panamericana Sur, la Calle San Pedro. El sector 15 cuenta con un total de 03 manzana evaluadas.

Del levantamiento del sector 15, se pudo observar que existen principalmente de edificaciones de 02 pisos de altura de uso industrial, las cuales están construidas en base de albañilería confinada y losa aligerada, además dichas edificaciones presentan un regular estado de conservación tal como se muestra en la Figura 38.



Figura 38. Vivienda de albañilería.

Por otro lado, este sector cuenta con áreas dedicadas a la agricultura, tal como se aprecia en la Figura 39.



Figura 39. Vivienda de uso vivienda y comercio.

SECTOR 16

El Sector 16 se encuentra ubicado en la antigua carretera Panamericana Sur, entre la avenida Los Cedros y calle Buena Vista. En este sector se observa una gran actividad comercial cercana a la antigua carretera. Las viviendas – comercios son de dos pisos en su mayoría, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada y techos aligerados como se muestra en la Figura 40. Se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en la construcción de las edificaciones. En general, el sector se encuentra en regular estado de conservación. Se observa una gran extensión de áreas de cultivo en el sector.



Figura 40. Edificaciones típicas del Sector 16.

SECTOR 17

El Sector 17 se encuentra ubicado entre las avenidas Los Cedros y Manuel del Valle. En este sector se observa una actividad comercial principalmente y algunas zonas industriales. Las edificaciones son de dos pisos en su mayoría, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada y techos aligerados como se muestra en la Figura 41. Se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en la construcción de las edificaciones. En general, el sector se encuentra en buen estado de conservación.



Figura 41. Zona comercial e industrial del Sector 17.

SECTOR 18

El Sector 18 se encuentra ubicado en la parte norte del distrito, teniendo como principales vías las avenidas Los Rosales y Manuel del Valle. En este sector predominan las viviendas de dos pisos, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada y techos aligerados y cobertura ligera como se muestra en la Figura 42. Se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en la construcción de las viviendas. En general, el sector se encuentra en regular estado de conservación. Se observa una gran extensión de áreas de cultivo en el sector.

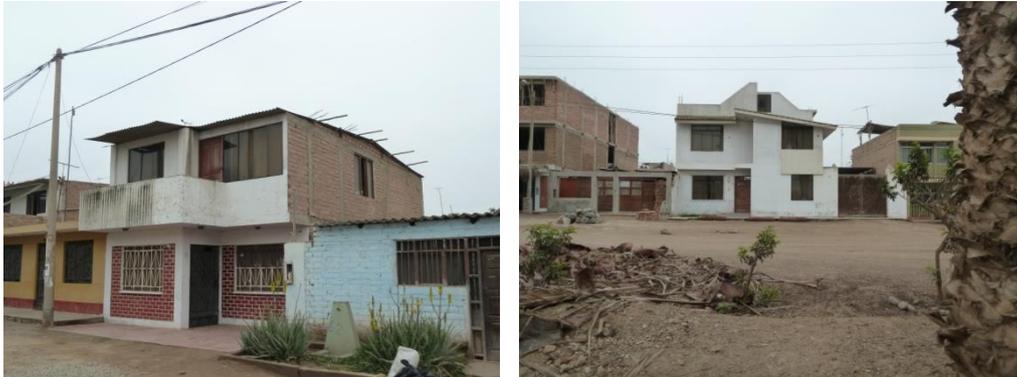


Figura 42. Viviendas típicas del Sector 18.

Se pudo observar una zona comercial en los alrededores de la avenida Los Rosales, como se muestra en la Figura 43.



Figura 43. Zona comercial del Sector 18.

SECTOR 19

El Sector 19 se encuentra ubicado al lado este del río Lurín y norte de la antigua carretera Panamericana Sur, teniendo como principales vías las avenidas Los Cedros y Los Eucaliptos. En este sector predominan las edificaciones de dos pisos, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada y techos aligerados como se muestra en la Figura 44. Se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en la construcción de las viviendas. En general, el sector se encuentra en buen estado de conservación. Este sector es principalmente comercial.



Figura 44. Edificaciones típicas del Sector 19.

SECTOR 20

El Sector 20 se encuentra ubicado al lado oeste del río Lurín y norte de la antigua carretera Panamericana Sur. En este sector predominan las viviendas de dos pisos seguidas de viviendas de un piso, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada con techos aligerados y cobertura ligera como se muestra en la Figura 45. Se pudo observar el uso de ladrillo artesanal sólido en la construcción de las viviendas. En general, el sector se encuentra en regular estado de conservación.



Figura 45. Viviendas típicas del Sector 20.

Durante el recorrido, se observaron algunas viviendas de madera de un piso y techo de calamina, como se muestra en la Figura 46. En la parte norte del sector, las viviendas están construidas en la pendiente del terreno, como se muestra en la Figura 47.



Figura 46. Viviendas de madera.



Figura 47. Viviendas construidas sobre pendiente.

Cerca a la avenida Las Palmas se encuentra la zona comercial del sector, con edificaciones de de dos y un piso, como se muestra en la Figura 48.



Figura 48. Zona comercial del sector.

SECTOR 21

El Sector 21 se encuentra ubicado en la parte norte del distrito, teniendo como vías principales las avenidas Las Palmas y Las Palmeras. En este sector predominan las viviendas de un piso seguidas de viviendas de dos pisos, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada con techos de cobertura ligera como se muestra en la Figura 49. Se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en la

construcción de las viviendas. En general, el sector se encuentra en regular estado de conservación.



Figura 49. Viviendas típicas del Sector 21.

Durante el recorrido, se observaron algunas viviendas de madera de un piso y techo de calamina, como se muestra en la Figura 50.



Figura 50. Viviendas de madera.

SECTOR 22

El Sector 22 se encuentra ubicado en la parte noroeste del distrito en el límite con el distrito de Villa El Salvador, teniendo como vías principales las avenidas Lima y Los Incas. En este sector predominan las viviendas de un piso seguidas de viviendas de dos pisos, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada con techos de cobertura ligera como se muestra en la Figura 49. Se pudo observar el uso de ladrillo artesanal sólido y pandereta en la construcción de las viviendas. En general, el sector se encuentra en regular estado de conservación.



Figura 51. Viviendas típicas del Sector 22.

Durante el recorrido, se observaron algunas viviendas de madera de un piso y techo de calamina, como se muestra en la Figura 52. En la parte norte del sector, las viviendas están construidas en la pendiente del terreno, como se muestra en la Figura 53.



Figura 52. Viviendas de madera.



Figura 53. Viviendas construidas sobre pendiente.

SECTOR 23

El Sector 23 se encuentra ubicado en la parte norte del distrito en el límite con el distrito de Villa El Salvador. En este sector predominan las viviendas de un piso seguidas de viviendas de dos pisos, donde el sistema estructural predominante es la albañilería confinada con techos de cobertura ligera como se muestra en la Figura 54.

Se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en la construcción de las viviendas. En general, el sector se encuentra en regular estado de conservación.



Figura 54. Viviendas típicas del Sector 23.

Durante el recorrido, se observaron algunas viviendas de madera de un piso y techo de calamina, como se muestra en la Figura 55. Se encontraron viviendas construidas en la pendiente del terreno, como se muestra en la Figura 56.



Figura 55. Viviendas de madera.



Figura 56. Viviendas construidas sobre pendiente.

SECTOR 24 y SECTOR 25

El Sector 24 y 25 se encuentran ubicados a ambos lados de la carretera Panamericana Sur. En este sector predominan las viviendas de un piso seguidas de viviendas de dos pisos, donde el sistema estructural predominante es la albañilería

confinada con techos aligerados y de cobertura ligera como se muestra en la Figura 57. Se pudo observar el uso de ladrillo artesanal sólido y pandereta en la construcción de las viviendas. En general, el sector se encuentra en regular estado de conservación.



Figura 57. Viviendas típicas del Sector 24 y 25.

En la parte norte del Sector 24, se observaron viviendas de madera de un piso con techos de calamina en mal estado de conservación, como se muestra en la Figura 58.



Figura 58. Viviendas de madera.

6 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES

6.1 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.

6.2 Formas de Evaluación

La evaluación de la vulnerabilidad puede realizarse básicamente usando dos criterios: método determinístico y método por criterio.

6.2.1 Método Determinístico

El método determinístico se basa en un estudio detallado de la estructura. Este tipo de 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, para producir un diagnóstico de la respuesta sísmica y encontrar si la edificación resistirá las fuerzas y desplazamientos inducidos por el terremoto.

6.2.2 Método por Criterio

El método por criterio o método empírico están basados, en simplificaciones dadas por la experiencia y desarrolladas por expertos con la finalidad de que 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 y así obtener un diagnóstico de su estado luego del evento.

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

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

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 volumen respectivo 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 zona evaluada. Posteriormente, se utiliza la metodología de índices β_i , que considera que la respuesta sísmica de una estructura se encuentra en base al producto de los índices β_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 β_1 , es una aproximación al factor de participación dado como una función del número de pisos:

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

El índice β_2 , relaciona la aproximación de la distorsión máxima en la aproximación contra la distorsión en un sistema real:

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

El índice β_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 β_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 a la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 27 años de experiencia de laboratorio.

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

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

Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Alto:

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

- Edificaciones de adobe antiguas debilitadas por la humedad, erosión, o sismos anteriores; y ubicados sobre suelos flexibles.
- Edificaciones de ladrillo sin refuerzo ni confinamiento, con poca densidad de muros; ubicados sobre suelos blandos.
- Muros altos de ladrillo o adobe, de poco espesor y sin ningún arriostre.
- Edificaciones construidas con materiales inestables y provisionales, sin ningún tipo de arriostre ni refuerzo vertical u horizontal.
- Edificaciones con configuración en planta irregular.
- Techos o coberturas en mal estado de conservación.



Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Medio:

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

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

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.
- Edificaciones en laderas de los cerros, donde su cimentación generalmente se apoya en muros de contención de piedra (pircas secas) no recomendables para tomar fuerzas de sismo.

En la Figura 59 se representa la vulnerabilidad de las edificaciones evaluadas, considerando los criterios antes expuestos, para los niveles identificados.

6.3 Evaluación y análisis estadístico de las edificaciones evaluadas

- Lotes:** Se evaluaron la totalidad de los lotes de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 86% de los lotes.
- Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 86% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de 1 piso (44%), 2 pisos (54%), 3 pisos (1%). 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 86% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes, no teniendo el 25% de las viviendas evaluadas, elementos de refuerzo vertical.
- Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes inspeccionados, el 57% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 43%, poseen coberturas de calamina, esteras o madera. Estas coberturas se concentran en los sectores emergentes como las laderas de cerros y asentamientos humanos.

- d) **Estado de Conservación:** El estado de conservación de las construcciones en un 25.7% es aceptable y bueno. Un 70% de las viviendas muestran un estado de conservación regular y otro 4.3% de las viviendas presentan un mal estado de conservación, especialmente, por las condiciones provisionales de sus materiales en techos, la inestabilidad de los taludes, y las malas condiciones del suelo.

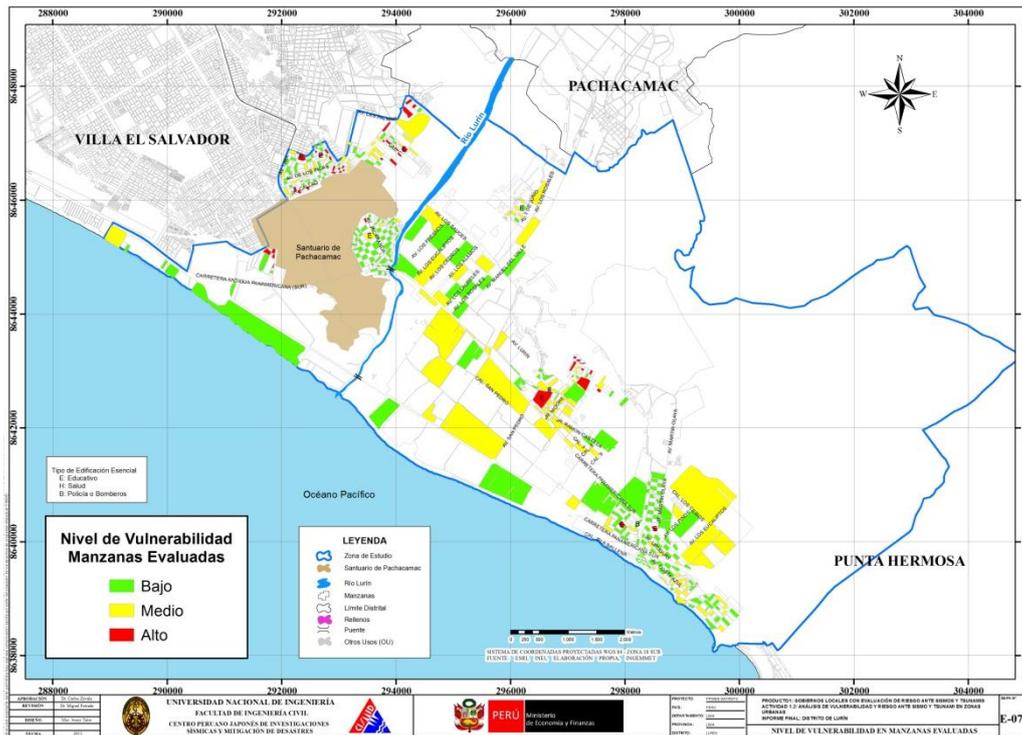


Figura 59. Mapa de vulnerabilidad de las edificaciones de las manzanas evaluadas.

6.4 EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES

Para la evaluación de las edificaciones esenciales se consideraron aquellos colegios, centros de salud de diferente nivel, comisarías, cuartel de bomberos, etc., de manera que en el análisis estructural se considere esta condición de esencial para el cálculo de su respuesta sísmica. Bajo esta premisa, se encontró su demanda para las condiciones del terreno y según el escenario sísmico.

SECTOR 01

De la evaluación realizada en el sector 01, no se encontraron edificaciones esenciales, puesto que las edificaciones de dicho sector están destinadas a uso residencial. Por otro lado cabe mencionar que se encontraron algunas edificaciones importantes correspondientes a una Antena Metálica tal como se muestra en la Figura 60, así como un Reservorio elevado de agua de concreto armado (Ver Figura 61).



Figura 60. Antena Metálica.



Figura 61. Reservorio elevado de Agua.

SECTOR 02

De la evaluación realizada en el sector 02, no se encontraron edificaciones esenciales, puesto que el sector 02 corresponde a una zona residencial, con edificaciones destinadas para vivienda.

SECTOR 03

De la evaluación realizada en el sector 03, no se encontraron edificaciones esenciales, puesto que las edificaciones de dicho sector están destinadas a uso industrial. Por otro lado cabe mencionar que se encontró una edificación importante correspondiente a un Grifo tal como se muestra en la Figura 62.



Figura 62. Grifo.

SECTOR 04

- Institución Educativa Virgen de las Mercedes construidos con un sistema de pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería, de 2 niveles mostrado en la Figura 63.
- Institución Educativa Particular El Sembrador, construidos con un sistema de mampostería, de 2 niveles, que se muestran en la Figura 63.



Figura 63. Institución Educativa Virgen de las Mercedes e Institución Educativa Particular El Sembrador.

- Centro de Salud CLAS KM 40, del Ministerio de Salud con edificaciones de nivel sistema estructural aporticado en buen estado de conservación. Se muestra en la Figura 64.



Figura 64. Centro de Salud.

SECTOR 05

- Institución Educativa Miguel Grau construidos con un sistema de pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería, de 2 niveles. Ésta se muestra en la Figura 65.



Figura 65. Institución Educativa Miguel Grau.

SECTOR 06

El sector 06, está representado por una gran manzana en el cual se encuentran únicamente, edificaciones industriales. Por lo tanto no se hace mención a edificaciones esenciales de este sector.

SECTOR 07

- Institución Educativa José María Arguedas construidos con un sistema mampostería en regular estado de conservación, que se muestra en la Figura 66
- Institución Educativa Travesuras Trazo y Color, construidos con un sistema de mampostería, de 2 niveles, que se muestran en la Figura 66.



Figura 66. Institución Educativa José María Arguedas e Institución Educativa Travesuras Trazo y Color.

- Institución Educativa Particular San Marcos del Sur construidos con un sistema mampostería y la Institución Educativa Marko Jara Schenone, los cuales se encuentran en buen estado de conservación. Ambos colegios se muestran en la Figura 67.



Figura 67. Institución Educativa Particular San Marcos del Sur y la Institución Educativa Marko Jara Schenone.

- Institución Educativa 534 Virgen de las Mercedes y la Institución Educativa Particular Happy Children School, ambos se encuentran el buen estado de conservación. Ambos colegios se muestran en la Figura 68.



Figura 68. Institución Educativa 534 Virgen de las Mercedes y la Institución Educativa Particular Happy Children School.

SECTOR 08

- Colegio Matemático Jean Fourier y el Centro Educativo Juan Romero López, contruidos con un sistema de mampostería. Ambos colegios se muestran en la Figura 69.



Figura 69. Instituciones educativas del sector 8.

SECTOR 09

De la evaluación realizada en el sector 09, se encontraron las siguientes edificaciones esenciales e importantes: Un reservorio elevado de agua de concreto armado tal como se muestra en la Figura 70, así como una antena metálica (Ver Figura 71).



Figura 70. Reservorio elevado de agua.



Figura 71. Antena Metálica.

SECTOR 10

- Colegio José Sánchez Carrión, el cual tiene 02 pisos de altura y está construido en base a concreto armado y muros de albañilería, además presenta un buen estado de conservación tal como se muestra en la Figura 72.



Figura 72. Colegio José Sánchez Carrión.

- Supermercado Virgen de Las Mercedes, el cual tiene 01 piso de altura y está construido en base a mampostería confinada y presenta un regular estado de conservación (Ver Figura 73).



Figura 73. Supermercado Virgen de Las Mercedes.

SECTOR 11

De la evaluación realizada en el sector 11, no se encontraron edificaciones esenciales, puesto que dicho sector corresponde a una zona industrial principalmente.

SECTOR 12

De la evaluación realizada en el sector 12, no se encontraron edificaciones esenciales o importantes, puesto que dicho sector corresponde a una zona residencial principalmente.

SECTOR 13

- Colegio José Antonio Dapelo, el cual tiene 02 pisos de altura, está construido en base a pórticos de concreto armado y muros de albañilería, además presenta un buen estado de conservación tal como se muestra en la Figura 74.
- Instituto Educativo de Acción Conjunta, de 01 piso de altura, construido con concreto armado y muros de albañilería, se encuentra en buen estado de conservación (Ver Figura 75).



Figura 74. Colegio José Antonio Dapelo.



Figura 75. Instituto Educativo Acción Conjunta.

- Colegio Emilia Barcia Boniffatti, cuenta con 02 pisos de altura, está construido en base a concreto armado y muros de albañilería, se encuentra en regular estado de conservación (Ver Figura 76).
- El Colegio Santa María de Lurín, de 02 pisos de altura tiene un sistema estructural en base a pórticos de concreto armado y muros de albañilería, el cual presenta un buen estado de conservación tal como se muestra en la Figura 77.



Figura 76. Colegio Emilia Barcia Boniffatti.



Figura 77. Colegio Santa María de Lurín.

- Colegio José María Arguedas., el cual tiene 02 pisos de altura, está construido con albañilería, además presenta un buen estado de conservación tal como se muestra en la Figura 78.
- Colegio Sagrado Corazón de Jesús, de 02 piso de altura, construido con concreto armado y muros de albañilería, se encuentra en buen estado de conservación (Ver Figura 79).



Figura 78. Colegio José María Arguedas.



Figura 79. Colegio Sagrado Corazón de Jesús.

- Comisaría de Lurín, tiene 02 pisos de altura, está construido en base a concreto armado y muros de albañilería, se encuentra en mal estado de conservación (Ver Figura 80).
- Municipalidad de Lurín, de 03 pisos de altura construida en base a muros de albañilería, el cual presenta un buen estado de conservación tal como se muestra en la Figura 81.



Figura 80. Comisaría de Carreteras de Lurín.



Figura 81. Municipalidad de Lurín.

- Reservorio de Agua, ubicado en la parte superior de un cerro dentro del sector 13, como se muestra en la
- Figura 82.



Figura 82. Reservorio de Agua.

- La Figura 83 muestra la Catedral de Lurín, la cual presenta un regular estado de conservación y la Figura 84, muestra el Cementerio Municipal de Lurín.



Figura 83. Catedral de Lurín.



Figura 84. Cementerio Municipal de Lurín.

SECTOR 14

De la evaluación realizada en el sector 14, no se encontraron edificaciones esenciales e importantes, puesto que dicho sector corresponde a una zona industrial y comercial principalmente.

SECTOR 15

De la evaluación realizada en el sector 15, no se encontraron edificaciones esenciales e importantes, puesto que dicho sector corresponde a una zona industrial y agrícola principalmente.

SECTOR 16

No se encontraron edificaciones esenciales en el sector.

SECTOR 17

No se encontraron edificaciones esenciales en el sector.

SECTOR 18

- I.E. N°7104 Ramiro Prialé Prialé, edificación de un piso de albañilería confinada y techo de cobertura ligera en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 85.



Figura 85. I.E. N°7104 Ramiro Prialé Prialé.

- I.E.P. Caminos de Jesús, edificación de dos pisos de albañilería confinada y techo de cobertura ligera en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 86.



Figura 86. I.E.P. Caminos de Jesús.

- Puesto de Salud Villa Libertad – MINSA, edificación de un piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 87.



Figura 87. Puesto de Salud Villa Libertad – MINSA.

SECTOR 19

No se encontraron edificaciones esenciales en el sector.

SECTOR 20

- I.E. N°6023 Julio C. Tello, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 88.



Figura 88. I.E. N°6023 Julio C. Tello.

- I.E.I. N°083 Mi Jesús – Julio C. Tello, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 89.



Figura 89. I.E.I. N°083 Mi Jesús – Julio C. Tello.

- I.E. N°6062 Virgen de Fátima, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 90.



Figura 90. I.E. N°6062 Virgen de Fátima.

- I.E.P. J.E. Pestalozzi, edificación de tres pisos de albañilería confinada y techo aligerado en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 91.



Figura 91. I.E.P. J.E. Pestalozzi.

- I.E.P. Santísimo Jesús, edificación de dos pisos de albañilería confinada y techo de cobertura ligera en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 92. Se observó el uso de ladrillo pandereta en el segundo nivel.



Figura 92. I.E.P. Santísimo Jesús.

- I.E.P. Virgen del Carmen, edificación de cuatro pisos de albañilería confinada y techo aligerado en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 93. Se observó el uso de ladrillo pandereta en la construcción de los muros.



Figura 93. I.E.P. Virgen del Carmen.

- Colegio Inicial, edificación de un piso de albañilería confinada y techo de cobertura ligera en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 94.



Figura 94. Colegio Inicial.

- Iglesia, edificación de dos pisos de albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 95.



Figura 95. Iglesia.

- Iglesia Salón del Reino de los Testigos de Jehová, edificación de un piso de albañilería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 96.



Figura 96. Iglesia Salón del Reino de los Testigos de Jehová.

- Estadio Julio C. Tello, posible zona de refugio en caso de sismos, Figura 97.



Figura 97. Estadio Julio C. Tello

- Posta Julio C. Tello – MINSA, edificación de un piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 98. Se observaron construcciones de madera y techos de calamina en el segundo nivel.



Figura 98. Posta Julio C. Tello – MINSA.

SECTOR 21

- I.E. N°7239 Santísimo Salvador, edificación de tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 99.



Figura 99. I.E. N°7239 Santísimo Salvador.

- I.E.P. Juan Pablo II, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 100.



Figura 100. I.E.P. Juan Pablo II.

- I.E.P. Santa Rita de Casia, edificación de tres pisos en mampostería confinada y techo aligerado en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 101.



Figura 101. I.E.P. Santa Rita de Casia.

- Puesto de Salud Las Palmas – MINSA, edificación de un piso construido con drywall y techo de cobertura ligera en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 102.



Figura 102. Puesto de Salud Las Palmas – MINSA.

SECTOR 22

- I.E. N°7237, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 103.



Figura 103. I.E. N°7237.

- I.E. N°7098 Rodrigo Lara Bonilla, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación.
- I.S.T. Público Lurín, edificación de un piso en mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación.
- Colegio Señor de Los Milagros, edificación de un piso de madera y techo de calamina en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 104.



Figura 104. Colegio Señor de Los Milagros.

- PRONEI Niño Jesús, edificación de un piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación.
- I.E.P. Reina de los Ángeles de Villa Alejandro, edificación de tres pisos en mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación. Se observó el uso de ladrillo pandereta en la construcción de los muros estructurales.
- Academia Pre-Universitaria Parroquial La Sagrada Familia, edificación de cuatro pisos en mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación.
- I.E.P. La Sagrada Familia, edificación de dos pisos en mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación.

- Iglesia, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo aligerado en buen estado de conservación.

SECTOR 23

- Sala de Educación Temprana Dulce Comenzar, edificación de un piso en mampostería confinada y techo aligerado en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 105.



Figura 105. Sala de Educación Temprana Dulce Comenzar.

SECTOR 24

En el Sector 24 se encuentra la Refinería de Conchán – PETROPERU, como se muestra en la Figura 106. Además, se observaron varios grifos a lo largo de la carretera Panamericana Norte, como se muestra en la Figura 107.



Figura 106. Refinería de Conchán.



Figura 107. Grifos.

7 DIAGNÓSTICO DEL RIESGO SÍSMICO EN EL DISTRITO DE LURÍN

7.1 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 para 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 muestran 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 Lurín, 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 estudio.

Un proceso de regresión de los diversos tipos de daño y la cuantificación del costo relacionan el valor de la reparación con la distorsión de la respuesta sísmica ($\Delta\delta_i/h_i$) en cada lote. Este costo de reparación (Cr) se expresa como el porcentaje del costo de la estructura, considerando λ y ε parámetros de vulnerabilidad estructural, correspondientes al sistema estructural y al tipo de reparación involucrada para los materiales involucrados.

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

Para la evaluación del riesgo se consideró cada registro de la base de datos produciendo el diagnóstico de la distorsión y en base a esta se elaboró 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 108.



Figura 108. Proceso de generación del mapa de riesgo.

Basados en la información d campo se evaluaron 350 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 109.

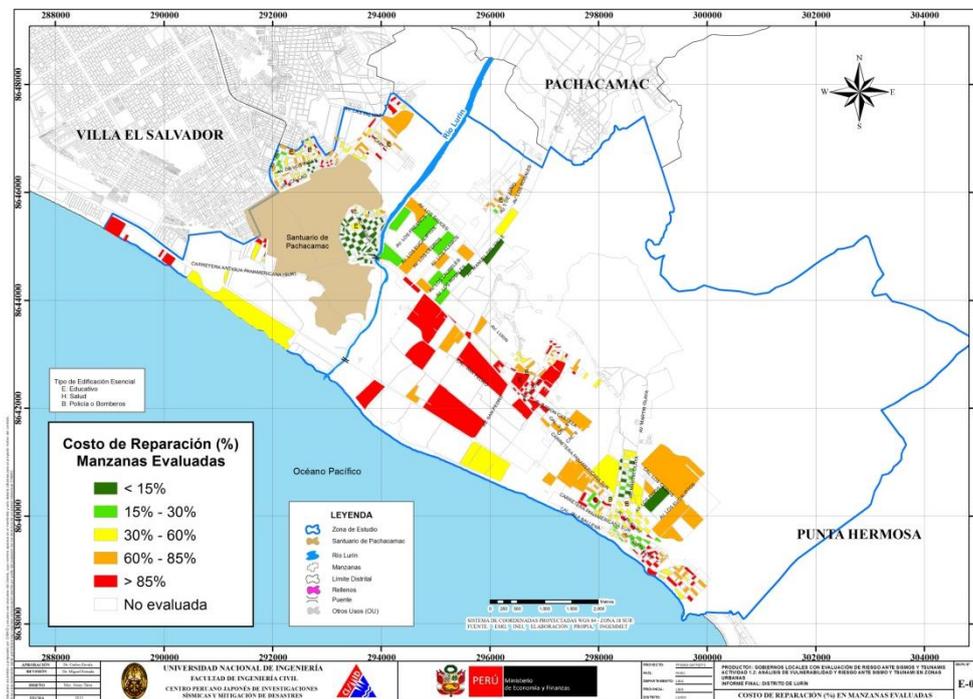


Figura 109. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas.

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 interpolado para una edificación construida sobre esta ubicación. 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 110 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el distrito de Lurín.

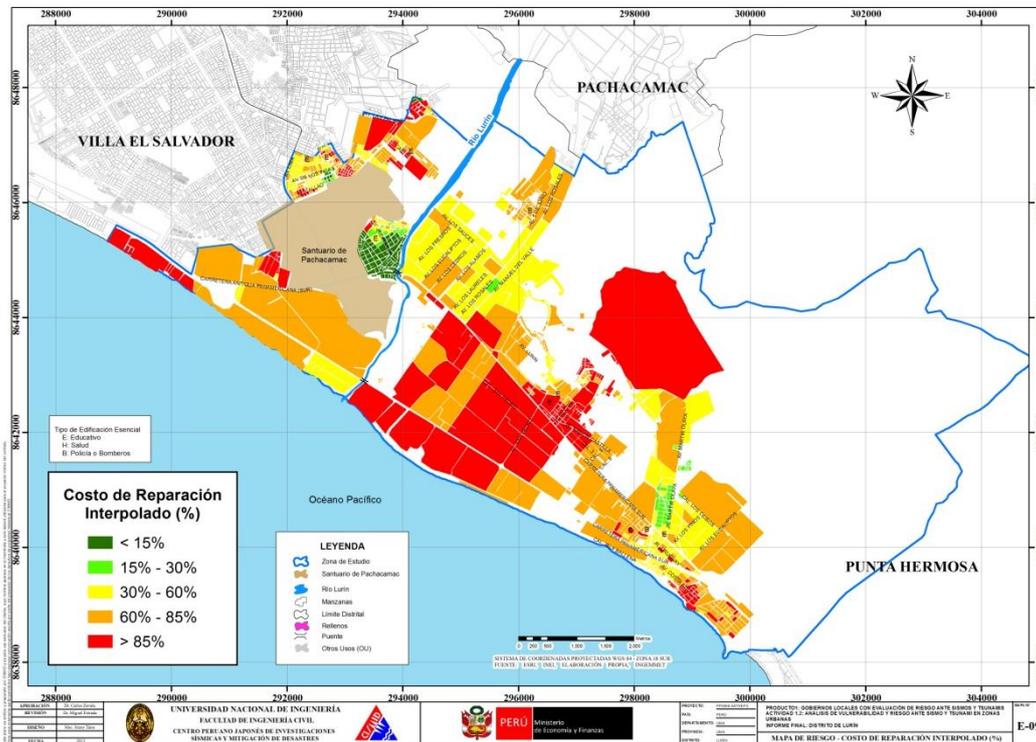


Figura 110. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)

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 las viviendas del distrito de Lurín.

Tabla 2. Resultados del daño en el distrito de Lurín para un escenario de sismo severo

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	56	16%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	31	9%	25%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	80	23%	23%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	90	26%	26%	Daño Severo
Rojo	> 85%	Nivel V	5	93	27%	27%	Colapso
				350	100%		

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 Lurín bajo un escenario del sismo. En el mapa se puede apreciar que los sectores en verde tendrían un costo de reparación entre 0~15%. Aquellos sectores en verde agua poseen un costo de reparación entre 15~30% del valor de la edificación. Los sectores en amarillo tendrían un 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 edificaciones con costos de reparación entre 85% a más. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID

edificaciones en riesgo de colapso que corresponden al 26% de las edificaciones con daño severo y 27% con riesgo a colapso, para el escenario propuesto. Las aceleraciones asumidas para el diagnóstico son las presentadas en el informe del 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 siguientes.

Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	0			
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	0	0%	0%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	2	20%	20%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	6	60%	60%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	2	20%	20%	Colapso
				10	100%		

Los resultados para las edificaciones esenciales son presentados en el mapa E-09A, donde puede apreciarse los resultados que se presentan en la Tabla 3, que muestra que el 20% de las edificaciones esenciales experimentarían colapso, debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales y los suelos donde se ubican.

8 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 Lurín, 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 86% de las edificaciones del distrito de Lurín son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 8% de edificaciones de madera y un 5% 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 301 manzanas estudiadas para edificaciones de mampostería, 214 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto 17 manzanas requerirían de una intervención de reforzamiento.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



- 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 183 manzanas requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. Estas edificaciones son aquellas cuyo costo de reparación es superior al 65% 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.



9 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 Lurín, se estudió la composición de la muestra levantada en campo. Los resultados que se muestran en la Tabla 4 presentan que en el 86% de los casos las edificaciones de este distrito son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 7.7% de edificaciones de madera y 5% 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 4. Composición por material de la muestra estudiada.

Material	Edificaciones	Porcentaje
Adobe	0	0.0%
Mampostería	301	86.0%
Concreto	17	4.9%
Madera	27	7.7%
Acero	5	1.4%
Otros	0	0.0%
Total	350	100.0%

Por otro lado, luego del diagnóstico 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 5 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 301 manzanas estudiadas para edificaciones de mampostería, 136 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las 17 edificaciones de concreto, 15 manzanas requerirían de una intervención de reforzamiento.

Tabla 5. Composición de la muestra por nivel de daño esperado.

Mampostería	Nivel I	56	
	Nivel II	31	
	Nivel III	78	
	Nivel IV	73	
	Nivel V	63	136
Concreto	Nivel I	0	
	Nivel II	0	
	Nivel III	2	
	Nivel IV	13	
	Nivel V	2	15
Acero	Nivel IV	4	
	Nivel V	1	5
Madera	Nivel I	0	
	Nivel II	0	
	Nivel III	0	
	Nivel IV	0	
	Nivel V	27	27

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 183 manzanas requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. La ubicación de estas edificaciones es presentada en la Figura 111, donde se muestran aquellas viviendas cuyo costo de reparación es superior al 65% de su valor. Las zonas en color rojo muestran las manzanas con una mayor probabilidad de colapso, mientras que las zonas en color naranja muestran las manzanas con una alta probabilidad de daño severo. 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.

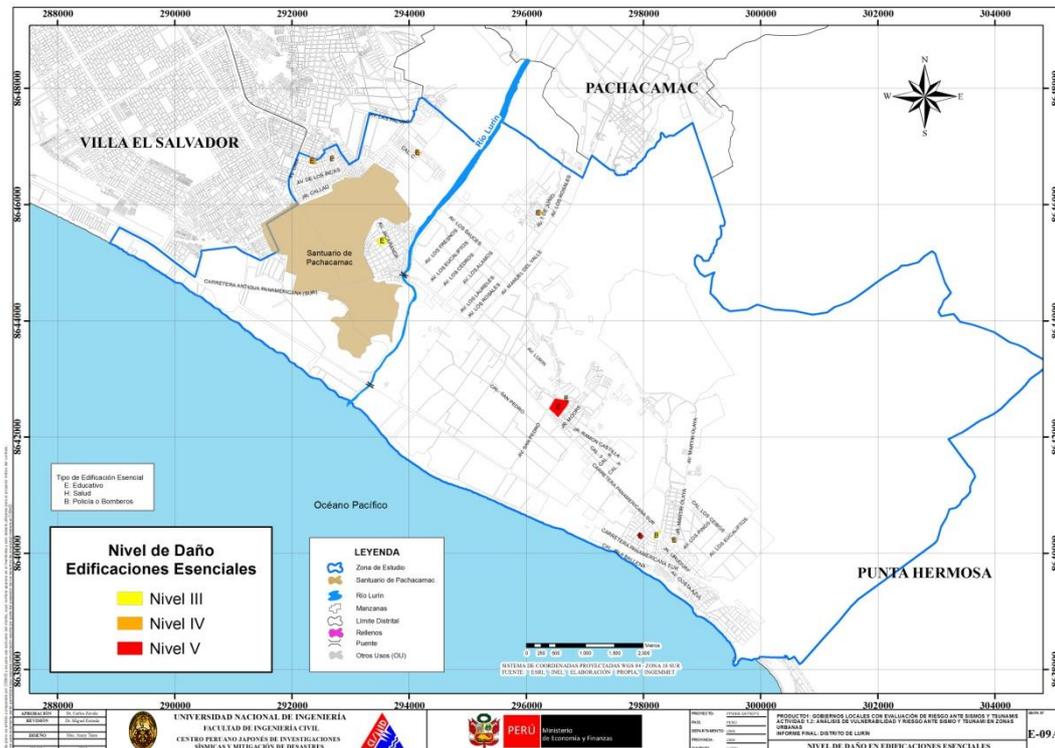


Figura 111. Ubicación de manzanas a intervenir.

Las viviendas en zonas de laderas, en su mayoría han sido edificadas con materiales livianos, de carácter provisional (latas, cartones, planchas de madera contraplacada, etc.) que desde la óptica estructural su modelación y diagnóstico es complejo y escapa a los métodos racionales de análisis estructural y resistencia de materiales, debido a lo cual no se presenta un diagnóstico estructural de los mismos.

10 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.

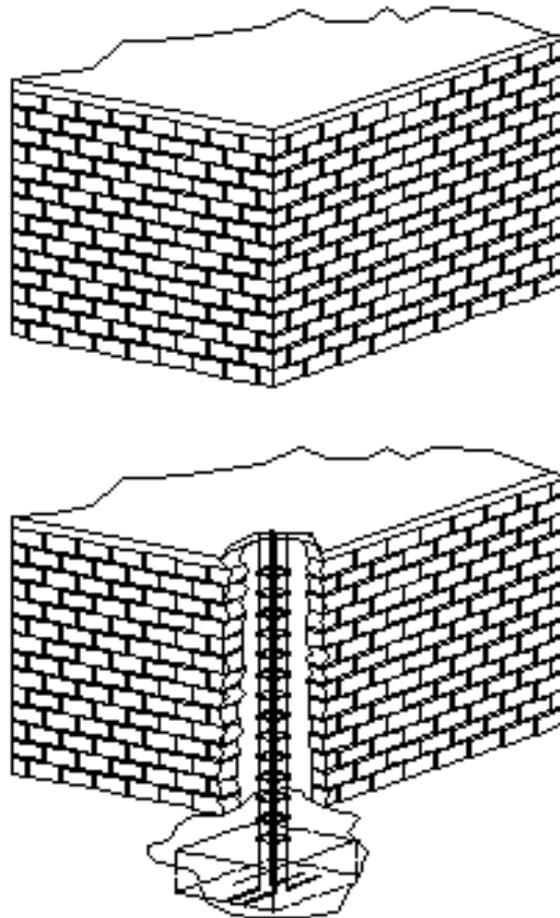


Figura 112. Detalle de inclusión de columnas de reforzamiento en muro sin confinamiento existente.

10.1 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 113 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 113. 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 114. Reforzamiento con bandas de refuerzo.

10.2 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 epóxicas para pegar el concreto existente con el concreto nuevo, formando un suplemento de la columna con deficiencia estructural. En la Figura 115 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 epóxica, 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

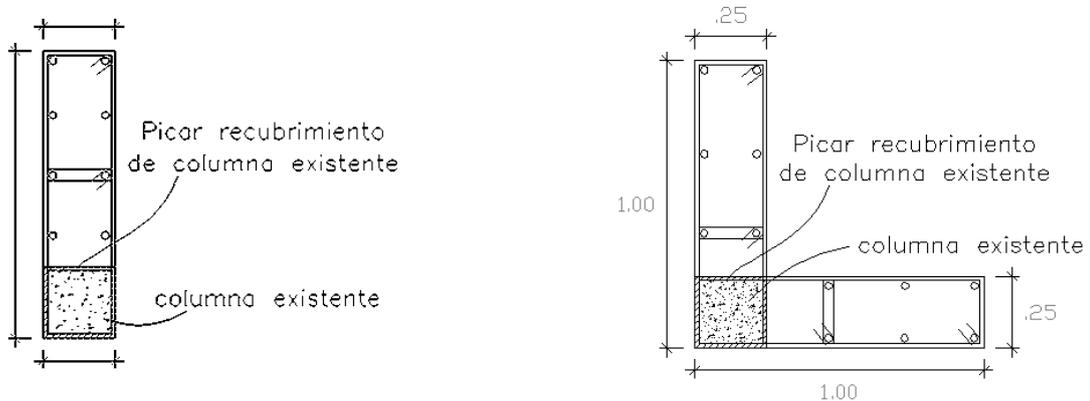


Figura 115. Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera.

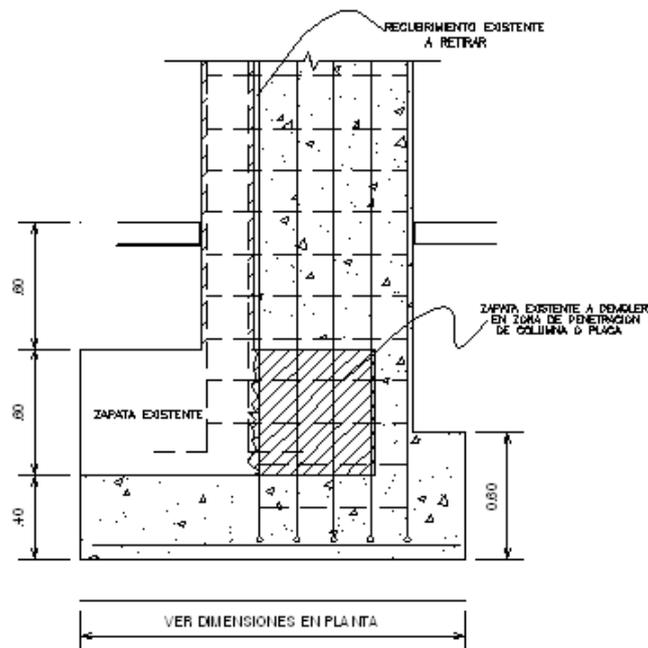


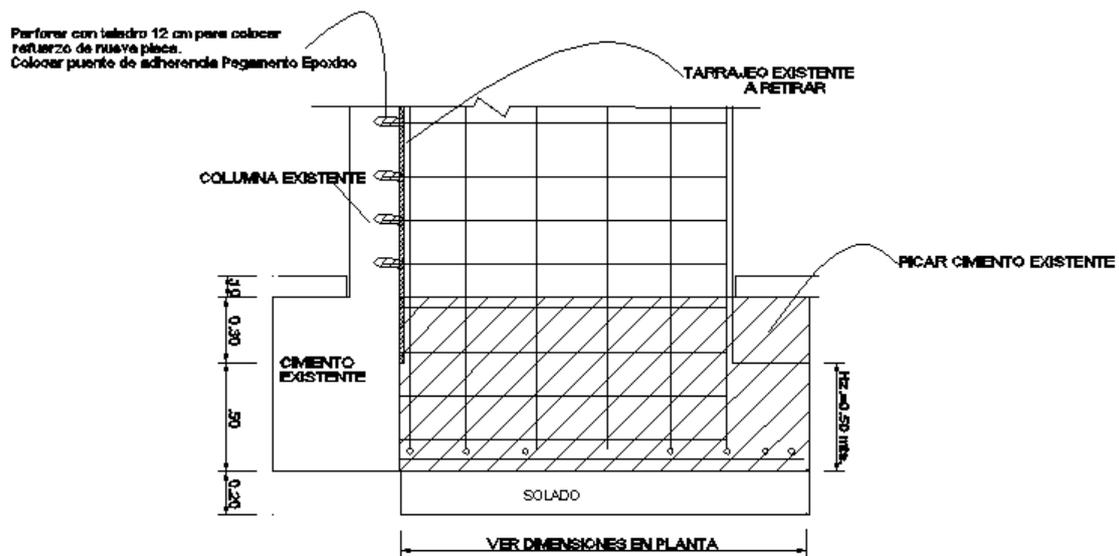
Figura 116. Detalle de reforzamiento de zapata para columna.

10.3 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 116 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 epóxicas para pegar el concreto existente con el nuevo concreto, al igual que la fijación de la nueva armadura del elemento a reforzar.

10.4 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 117 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 118 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 117. Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación.

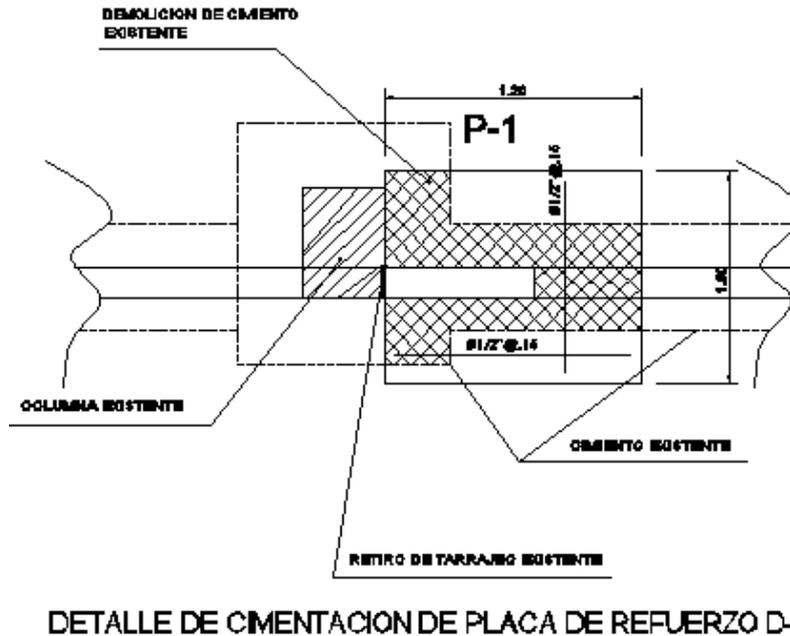


Figura 118. Detalle de la cimentación de la placa visto en planta.

10.5 Conclusiones y recomendaciones para el reforzamiento de edificaciones

- Considerando los resultados del estudio de vulnerabilidad sísmica, se encontró que el 86% de las edificaciones del distrito de Lurín son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 5% 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 refuerzo. Así por ejemplo de las 301 manzanas estudiadas para edificaciones de mampostería, 214 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto 17 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 183 manzanas requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. Estas edificaciones son aquellas cuyo costo de reparación es superior al 65% 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.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID

- 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] Miranda, E. y Reyes C., Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness - Journal of Structural Engineering ASCE, Julio 2002.
- [2] Miranda, E., Approximate Lateral Deformation Demands In Multistory Buildings, Journal of Structural Engineering ASCE, 1999.
- [3] Zavala, C. y Proaño, R., Estimación Rápida de la Respuesta Sísmica en Base a Sistemas de un Grado de Libertad para el Cálculo de Vulnerabilidad, XIV Congreso de Ingeniería Civil Iquitos Perú, Octubre 2003.
- [4] Scaletti, H., Estimación Rápida de Desplazamientos Laterales Producidos por Sismo, FIC – UNI, 2003.
- [5] Zavala, C., Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño – SRSND, CISMID/FIC/UNI, Noviembre 2007.
- [6] Pallawlecial, E., Efectos del Terremoto de Managua en los efectos de agua y alcantarillado, IX Seminario Centroamericano de Ingenieros Sanitarios Panamá, Septiembre 1973.
- [7] Organización Panamericana de la Salud (OPS), American Water Works Association (AWWA), Reducción del Daño Sísmico – Guía para Empresas de Agua, 2003.
- [8] Maruyama, Y. y Yamazaki, F., Damage Estimation of Water Distribution Pipes following recent earthquakes in Japan, Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE), Marzo 2010.
- [9] Zavala, C., Aguilar, Z., and Estrada, M., Post Quake Microzoning Study On Pisco and Tambo De Mora Due To August 15th 2007 Pisco Quake, Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUEE), March 2010.



11 EVALUACIÓN DE LA AMENAZA FRENTE A TSUNAMI PARA EL DISTRITO DE LURÍN, LIMA

11.1 Objetivo

Analizar el riesgo de tsunami para la costa del distrito de Lurín, estimando la altura máxima de ola y el tiempo de llegada de la primera ola desde el epicentro hasta la costa, a partir de tres escenarios sísmicos y finalmente determinar las zonas susceptibles a sufrir inundación debido al tsunami.

11.2 Sismicidad en el Perú

El Perú está ubicado en una zona altamente sísmica, donde la principal fuente de la alta sísmica es la interacción de la Placa de Nazca y la Placa Suramericana y como resultado de esta interacción el Perú ha experimentado numerosos terremotos a lo largo de su historia. La Figura 119 muestra los sismos históricos alrededor del Perú con magnitudes mayores a 5, desde el año 1973 al año 2010 según la base de datos de la United States Geological Survey (USGS) esta figura muestra que la zona sísmicamente más activa en el Perú es la que corresponde a la zona sur entre Lima y Tacna, también se observa que una gran cantidad de los sismos tienen una profundidad focal que varía entre 0 km a 50 km, de acuerdo a su profundidad estos sismos están definidos como sismos superficiales. De la Figura 119 también se puede observar que tanto la zona norte del país, desde Lima hasta Tumbes, la actividad sísmica es mucho menor comparado con la zona sur, sin embargo se sabe que toda la zona occidental de América del Sur es una zona altamente sísmica, lo que se conoce como parte del Círculo del Fuego.

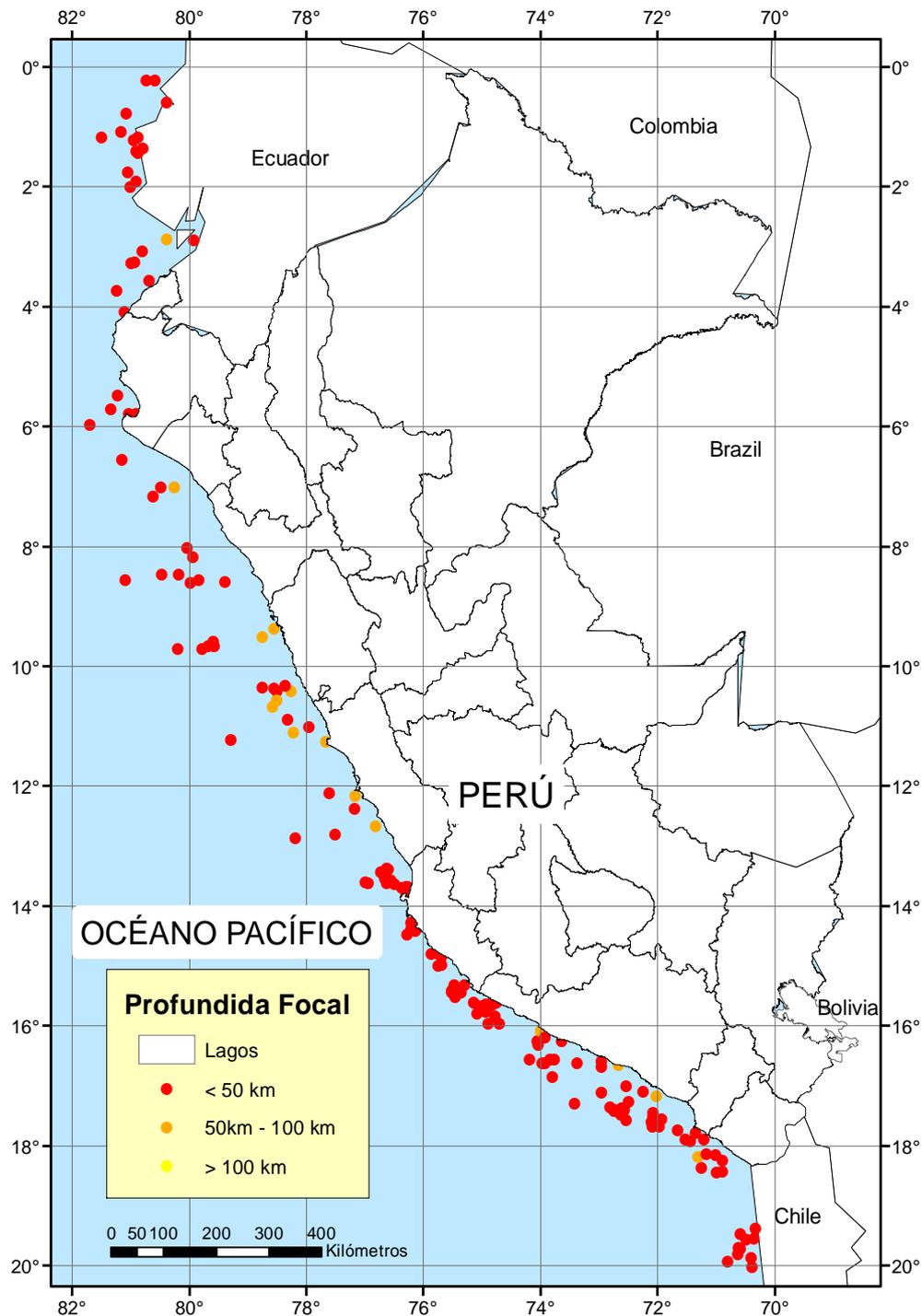


Figura 119. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2010 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).

Por otro lado, la zona centro del Perú especialmente el área frente a Lima y Callao, estaría experimentando el fenómeno llamado Silencio Sísmico, que es la falta de eventos sísmicos de considerable magnitud en una zona sísmicamente activa, lo

que significa que la energía que se debería estar liberando a través de eventos sísmicos o terremotos se está acumulando. Entonces, de acuerdo a este concepto, la probabilidad de que ocurra un sismo de gran magnitud frente a las costas de Lima y Callao es muy alto.

Un fundamento más cuantitativo se puede observar en [5], donde se presenta una evaluación de los terremotos históricos de gran magnitud ocurridos en el Perú, la Figura 120, modificada de [5], muestra los sismos de gran magnitud o terremotos ocurridos en el Perú a lo largo del tiempo, donde las líneas continuas representan terremotos que causaron tsunamis así como la longitud aproximada del área de la falla, mientras que las líneas punteadas representan terremotos que no produjeron tsunamis. Teniendo en cuenta que las ciudades de Lima y Callao se encuentran ubicadas aproximadamente en la latitud 12°S, el último terremoto importante ocurrido en esta zona fue en 1974, lo que significa 37 años con ausencia de eventos sísmicos de gran magnitud o 37 años de energía sísmica acumulada, por lo tanto estas condiciones hacen suponer la ocurrencia de un terremoto que libere toda esta energía acumulada que estaría afectando en mayor magnitud a la ciudad de Lima y Callao.

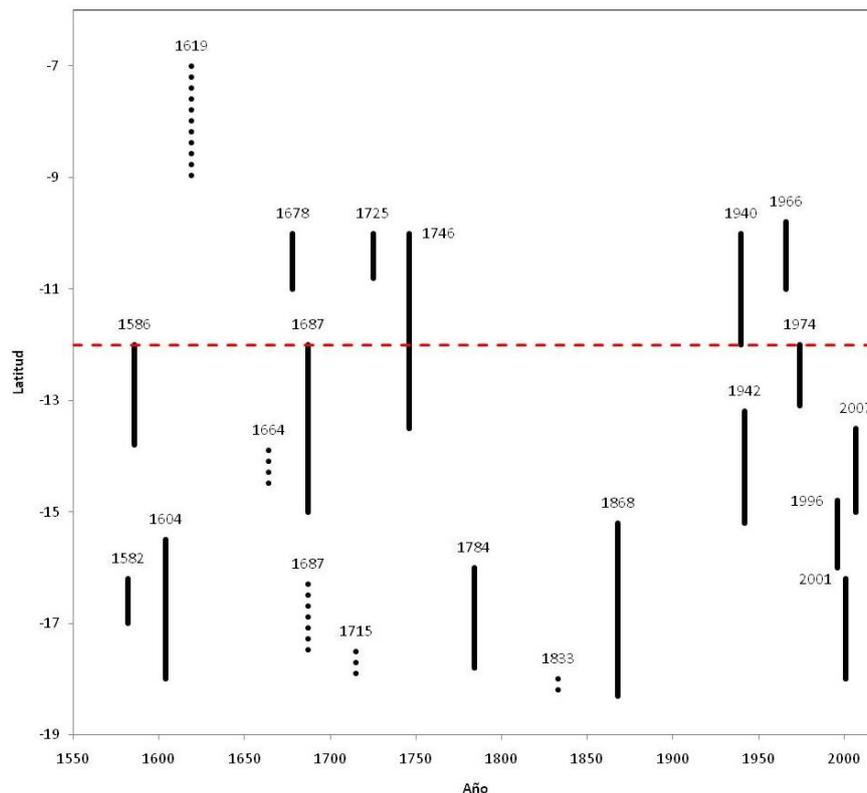


Figura 120. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Figura original de [5]).

11.3 Tsunamis históricos en Lima

Debido su ubicación, el Perú ha experimentado algunos de los más grandes tsunamis que han ocurrido en el mundo, de acuerdo con la base de tsunami tomada de la National Geographic Data Center (NGDC) Tsunami Database, son 4 los grandes tsunamis que han afectado las cosas peruanas y que han sido registrados también en otros países (Tabla 6 y Figura 121).

Tabla 6. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database.

Fecha	Magnitud (M_w)	Área afectada
21/02/1996	7.5	Chimbote, Callao
12/11/1996	7.7	Chincha alta, Arica, Nazca, Marcona
23/06/2001	8.4	Camaná, Moquegua, Tacna,
15/08/2007	8.0	Nazca, Pisco, Lima

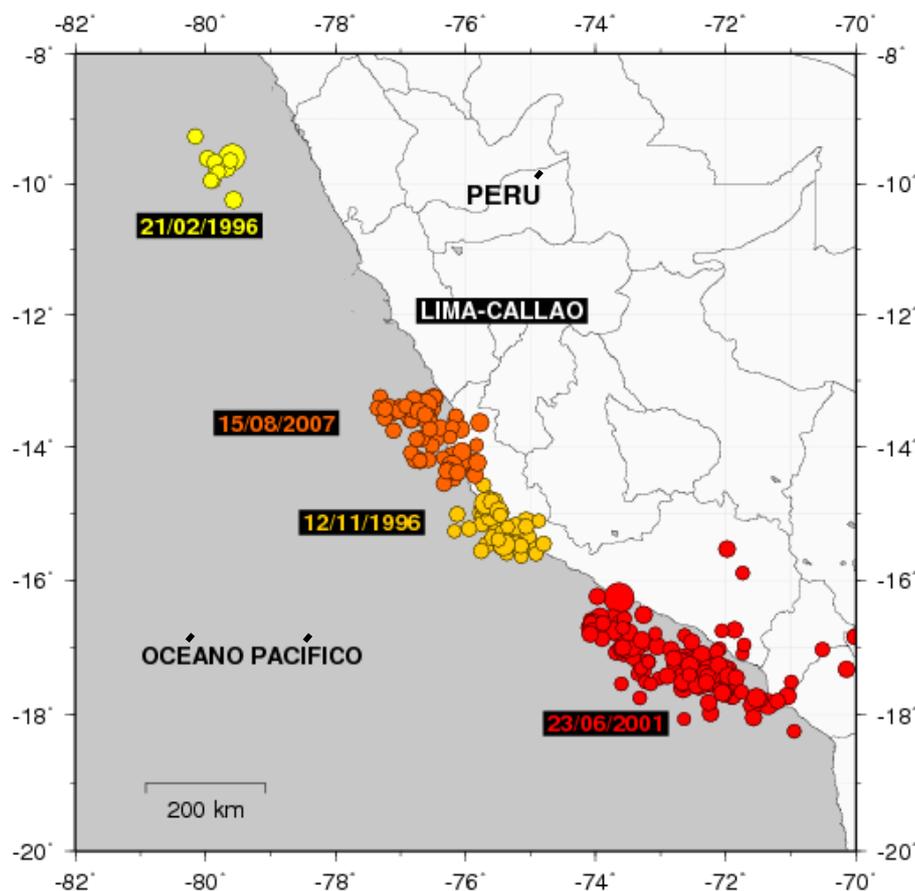


Figura 121. Ubicación de los terremotos que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.

Por ejemplo, el tsunami que ocurrió el 23 de Junio del año 2001 en la zona sur del Perú fue generado por un sismo de magnitud M_w 8.4 con epicentro $16.26^\circ S$ $73.64^\circ O$. De acuerdo a USGS por lo menos 75 personas fallecieron, donde 26 a causa del tsunami producido, 2687 personas heridas, 17510 viviendas fueron destruidas y 35549 viviendas fueron afectadas en las aéreas de Arequipa, Camaná y Tacna. Otro ejemplo más reciente es el tsunami que ocurrió el 15 de Agosto del año 2007, donde las áreas costeras de Chincha y Paracas fueron las más afectadas, por otro lado en Camaná se entrevistó a los pobladores en las cercanías a las zonas costeras afectadas, quienes manifestaron que 20 minutos después de ocurrido el sismo, arribaron a la costa una serie de olas que inundaron sus viviendas. Según el reporte de Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), las olas alcanzaron alturas máximas de inundación (run-up) de hasta 2.91m y para unas distancias de 102.7m. (Ver la Figura 122).



Figura 122. La erosión producto del tsunami del 23 de Junio del año 2001 en la playa la Punta-Camaná, la altura máxima de ola en esta zona fue hasta de 7.5m (izquierda) [2]. Un bote pesquero arrastrado 1.3km en la zona donde la inundación llegó a 2km producto del tsunami del 15 de Agosto de 2007 (derecha) [3].

Sin embargo según crónicas históricas el Callao fue afectado por un tsunami el 28 de Octubre de 1746 que produjo la muerte de más del 96% de la población en ese entonces, según estas crónicas este tsunami produjo una ola de más de 21m de alturas y la primera ola arribó a las costas treinta minutos después de ocurrido el terremoto.

11.4 Ámbito de Estudio

El ámbito de análisis de este estudio cubre el distrito de Lurín, teniendo como límite por el norte el distrito de Villa el Salvador y por el sur el distrito de Punta Hermosa, exclusivamente en lo que corresponde a las áreas que se determinen como zonas inundables. Ver Figura 123.

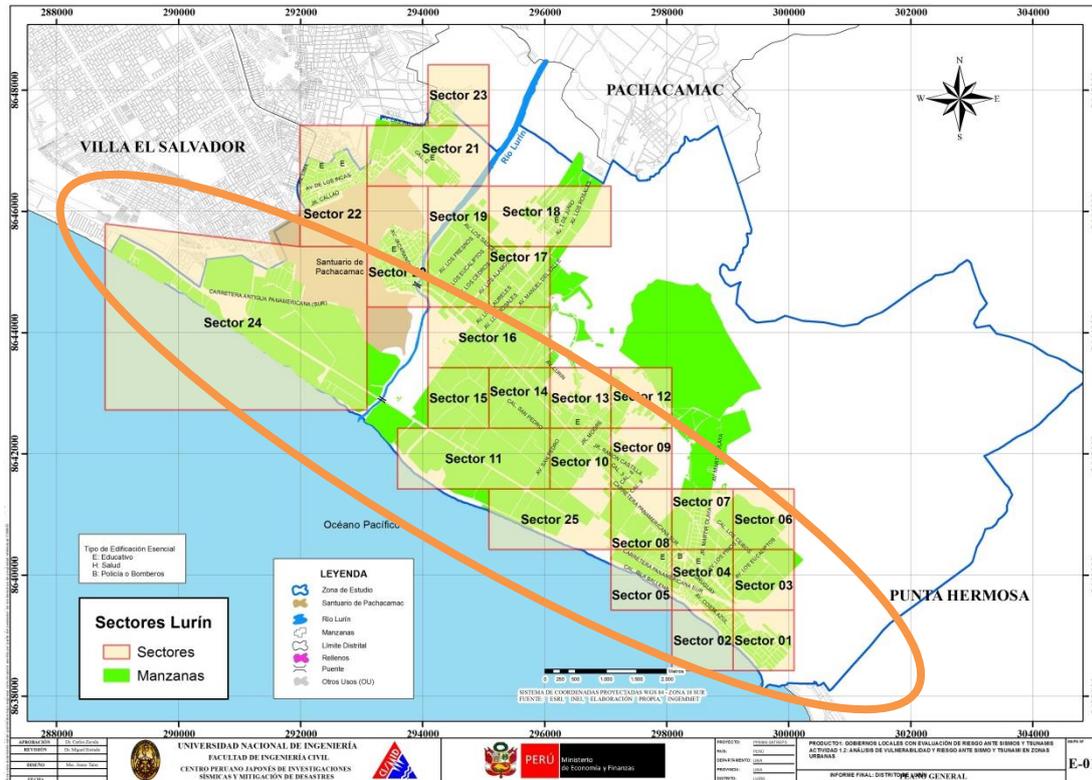


Figura 123. Zona costera del Distrito de Lurín.

11.5 Procedimiento de Análisis

En este estudio para determinar la amenaza frente a tsunamis para el distrito de Lurín, se realiza una revisión de la sismicidad histórica del área de estudio con el fin de determinar los escenarios sísmicos con más probabilidad de ocurrencia. Con esta información se establecen los parámetros de la fuente sísmica para calcular la deformación inicial de la superficie del océano. Seguidamente, se realiza la simulación numérica del tsunami. Como resultado de este análisis se obtiene el tiempo de arribo de la primera ola y las alturas máximas de las olas en las costas del área de estudio, estos cálculos numéricos se basan en la teoría de aguas poco profundas, como resultado de este análisis se propone el mapa de inundación y la estadística de las zonas urbanas afectadas por el tsunami.

11.6 Consideraciones Teóricas

11.6.1 Conceptos Básicos

11.6.1.1 Tsunami

Un tsunami es generado por perturbaciones de un volumen de agua en el mar, asociadas en la mayoría de los casos, con la ocurrencia de violentos sismos cuyos epicentros están en el lecho del océano o cerca de él. En el caso que un



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



tsunami sea producido por un terremoto, éste producirá un levantamiento o hundimiento abrupto de un gran sector del fondo marino, lo que generará desplazamientos verticales repentinos de grandes volúmenes de agua. Esta alteración del nivel del mar, posteriormente al tender al equilibrio, generará una serie de ondas en todas direcciones a través del océano.

Existen otros tipos de perturbaciones del fondo del mar causadas por erupciones volcánicas, derrumbes o avalanchas submarinas y derrumbes costeros, los cuales podrían transmitir energía al océano y de esta forma generar ondas de tsunami.

De todos estos fenómenos, los más frecuentes en nuestro país, son los sismos submarinos, y por lo demás, son los únicos que provocan extensos desplazamientos del fondo del mar, lo que se traduce en una mayor energía cinética en el tsunami generado. Por esta razón, los efectos de este último tipo de tsunami son los más espectaculares y catastróficos, ya que ellos afectan a extensas áreas costeras.

11.6.1.2 Tipos

Según la distancia desde el punto de generación a la zona de interés, se tienen tres tipos de tsunami:

- De Origen Local, son aquellos que tienen su punto de generación muy cercana a la costa ya sea por deslizamientos submarinos, como el ocurrido en las bahías de Alaska, EE.UU. (1964), o sismos en el litoral, como el de Lima, Perú (1940). En estos casos el ataque es inmediato a la generación.
- De Origen Cercano, aquellos que tienen su origen a pocos kilómetros de la costa, es decir, menor a 1000 Km aproximadamente, estos eventos producen olas con tiempos de arribo a la costa de 10 a 30 minutos, según las condiciones locales del fondo marino.
- Origen Lejano, aquellos cuyo origen se encuentra a más de 1000 km de la zona de interés, su arribo se produce en tiempos que van desde 2 a 22 horas.

11.6.1.3 Características

Las características comunes a las ondas son aplicables a las presentadas por las olas pertenecientes a un tsunami. Estas características son:

- Período, tiempo que sucede entre el paso de dos ondas sucesivas.
- Longitud de Onda, distancia entre dos crestas sucesivas.

- Altura de Onda, distancia vertical entre el seno o valle y la cresta.

11.6.2 Teoría de Aguas Poco Profundas

Para el modelamiento de tsunamis se usa la teoría de aguas poco profundas, esta teoría considera que la profundidad característica es mucho menor que la longitud de onda de las olas en el mar, teniendo en cuenta esta asunción y considerando el agua de mar como un fluido incompresible de densidad ρ la ecuación de continuidad (Eq. 3.1) y las ecuaciones de cantidad de movimiento (Eq. 3.2 y Eq. 3.3) describe cómo las velocidad y la presión de un fluido en movimiento están relacionadas. Estas ecuaciones son resueltas Imamura (1995 referencia [4]). Las dos básicas expresiones son mostradas a continuación.

La ecuación de continuidad puede ser expresada como:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

Donde,

- η : amplitud de la onda
- M y N : flujo de descarga en las direcciones x y y ,
- t : tiempo,

La ecuación de momento incluyendo la fricción en el fondo puede ser expresada como:

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad (2)$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad (3)$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} (\eta + h) \quad (4)$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} (\eta + h) \quad (5)$$

$$D = \eta + h \quad (6)$$

Donde,

$$\frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2}, \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} : \text{Fricción en el fondo de océano,}$$

- D : profundidad total del océano
- n : coeficiente de rugosidad de Manning
- u y v : vector de velocidad en las direcciones x e y
- \bar{u} y \bar{v} : velocidad promedio en las direcciones x e y
- g : aceleración de la gravedad
- h : profundidad del mar

La estabilidad numérica es definida como el tiempo que asegura que la velocidad de propagación numérica no exceda a la velocidad de propagación del medio físico o velocidad del tsunami, esta condición se define con la ecuación Eq. 3.7.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}} \quad (7)$$

Donde,

- Δt : intervalo de tiempo para la simulación,
- Δx : resolución espacial de la batimetría,
- g : aceleración de la gravedad.

11.6.3 Parámetros de Fuente Sísmica

La fuente sísmica de los terremotos para la generación de la condición inicial del tsunami o la deformación inicial de la superficie del océano, puede describirse teóricamente usando nueve parámetros, estos son mostrados en la Figura 124.

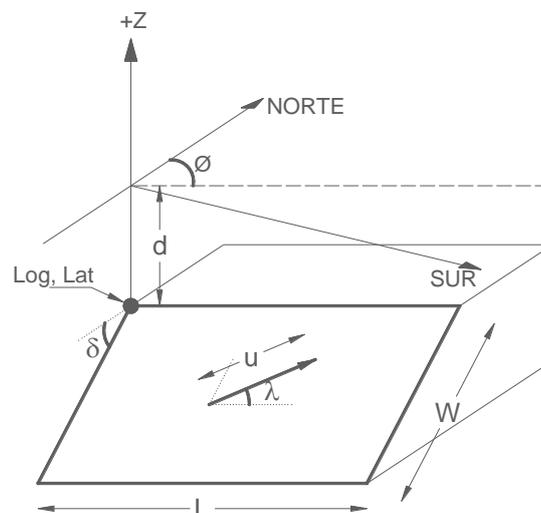


Figura 124. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.



Donde,

Log, Lat : Ubicación en el plano de la esquina superior izquierda del área de la falla,

d : Profundidad de la esquina superior izquierda del área de la falla,

L : Longitud del área de la falla,

W : Ancho del área de la falla,

Φ : Dirección (Azimut) de la falla,

λ : Ángulo de deslizamiento,

δ : Ángulo de inmersión de la falla,

u : Dislocación,

11.7 Escenario Sísmico

En este estudio el escenario sísmico para la generación del tsunami se basa en la información histórica sísmica del Perú desde 1973 hasta 2010 (ver Figura 119). Los parámetros sísmicos utilizados se describen a continuación.

11.7.1 Magnitud

De lo discutido en el punto 1.2, se espera un evento sísmico de gran magnitud para la ciudad de Lima y Callao, considerando el previo análisis, en el presente estudio se asumen 3 probables escenarios sísmicos con magnitudes de M_w 8, M_w 8.5 y M_w 8.7, estas tres magnitudes están dentro de nuestra realidad sísmica. Por ejemplo, para el primer escenario sísmico, el 15 de agosto, 2007 de acuerdo al USGS en zona sur del Perú ocurrió un terremoto de M_w 8, para los otros dos escenarios sísmicos, de acuerdo a Dorbath, Cisternas y Dorbath (1990), donde se hace una evaluación de los sismos históricos de gran magnitud ocurridos en Perú, y hace referencia que en 1746 ocurrió un terremoto de M_w 8.6 en la parte norte del Perú y en 1868 ocurrió un terremoto de M_w 8.8 en la parte sur del Perú.

11.7.2 Ubicación del Epicentro

La Figura 125 muestra la sismicidad alrededor de Lima y el epicentro del sismo que es usado como escenario para el presente análisis, la ubicación del epicentro se fija siguiendo la mayor densidad espacial de la distribución de los sismos históricos ocurridos frente a las costas de Lima-Callao (parte superior de Figura 125), de acuerdo a esta análisis la ubicación probable del epicentro es:

- Latitud 12.3°S
- Longitud 78°W.

11.7.3 Profundidad Epicentral

La profundidad epicentral se fija siguiendo la mayor densidad espacial, respecto a la profundidad de los sismos históricos alrededor de Lima-Callao (parte inferior izquierda de la Figura 125) y al número de sismos ocurridos de acuerdo a la profundidad (figura inferior derecha de la Figura 125), de acuerdo a este análisis la profundidad del epicentro probable es de 25km.

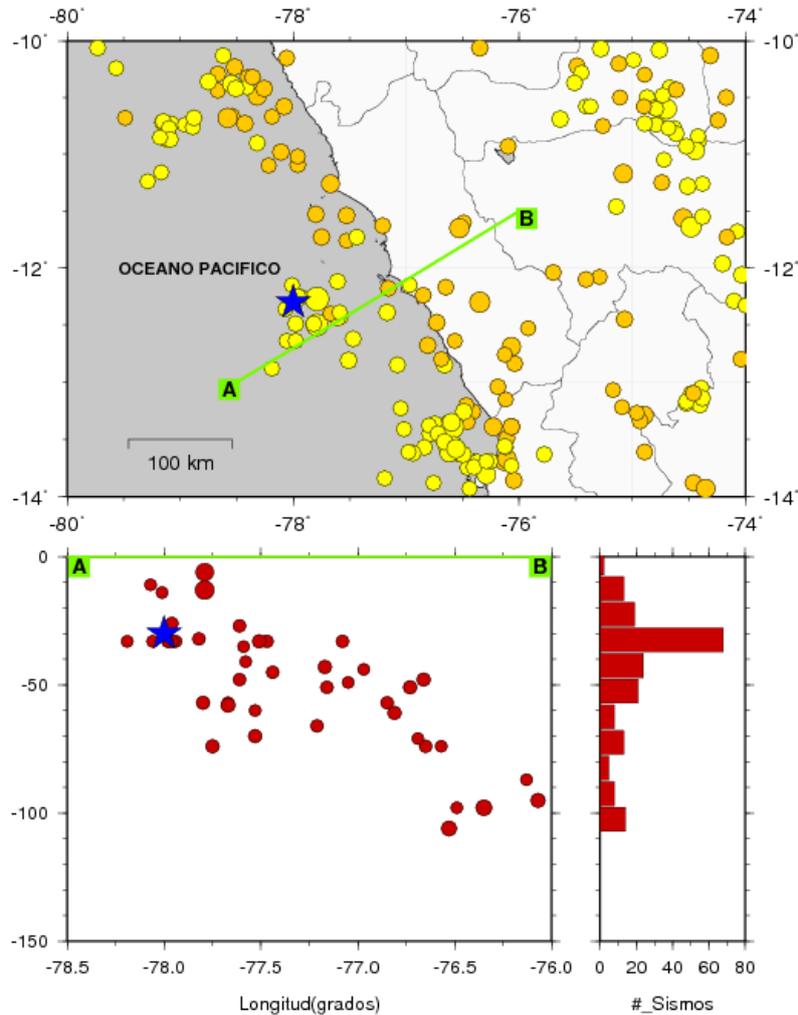


Figura 125. Sismicidad alrededor de Lima y Callao (parte superior), sección transversal a lo largo del eje AB (parte inferior izquierda) y número de eventos sísmicos en la sección transversal AB (parte inferior derecha).

El ángulo de inmersión de la fuente sísmica es fijado en 18° , este valor sigue aproximadamente el ángulo de inmersión de la fosa de la Nazca, que en la zona frente a las costas de Lima y Callao varía aproximadamente entre 16° y 22° , esto último se puede observar en la sección transversal AB (ver Figura 125). La dirección o azimut de la fuente sísmica es fijado de acuerdo a la dirección de la fosa de Nazca, que en la zona de estudio varía aproximadamente entre 310° y

320°, el ángulo de deslizamiento de la fuente sísmica es fijado en 89° esto corresponde a la falla inversa entre la Placa de Nazca y la Placa Sudamericana.

11.8 Análisis del Tsunami Para las Costas de Lima y Lurín

11.8.1 Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano

El área de la falla y el deslizamiento son calculados usando las relaciones propuestas por Papazacho y colaboradores 2004, donde se estudia la relación entre los parámetros de fuente sísmica y la magnitud del correspondiente evento sísmico. Los eventos considerados en este estudio se presentan en la Figura 126.

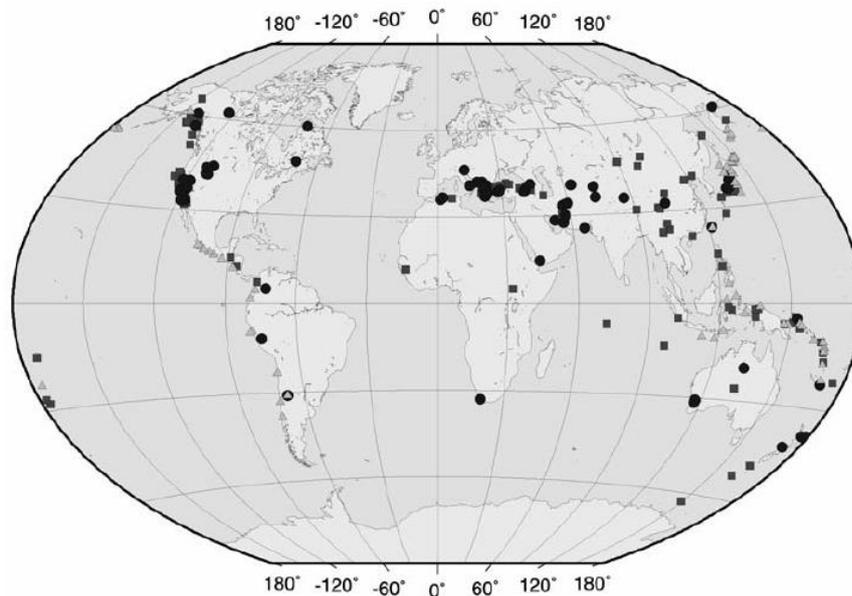


Figura 126. Mapa índice de los epicentros de los terremotos usados por Papazacho y colaboradores 2004. Rectángulos, círculos y triángulos muestran los terremotos con fallamiento de rumbo, fallamiento en pendiente en áreas continentales y fallamiento en pendiente en zonas de subducción, respectivamente.

Ellos analizaron los datos de parámetros sísmicos más confiables disponibles, producidos por otros investigadores en todo el mundo, y propusieron relaciones empíricas (Eq. 8, Eq. 9 y Eq. 10) para las fallas sísmicas de tipo pendiente en zonas de subducción. Estas relaciones pueden aplicar para los sismos que se generan frente a la costa peruano por ser producto del movimiento de subducción de la Placa de Nazca debajo la Placa sub-americana (Falla inversa tipo pendiente). La Figura 126 muestra la ubicación de los datos usados por Papazacho y colaboradores 2004.

$$\log L = 0.55M - 2.19 \quad (6.7 \leq M \leq 9.3) \quad (8)$$

$$\log W = 0.31M - 0.63 \quad (6.7 \leq M \leq 9.3) \quad (9)$$

$$\log u = 0.64M - 2.78 \quad (6.7 \leq M \leq 9.3) \quad (10)$$

Donde,

- L : Longitud de la falla en km,
- W : Ancho de la falla en km,
- u : Desplazamiento de la falla en cm,
- M : Magnitud de momento del terremoto,

Los parámetros de fuente sísmica para este estudio, calculados usando las Eq. 8, Eq. 9 y Eq. 10, son mostrados en la Tabla 7.

El desplazamiento inicial de la superficie del océano o condición inicial del tsunami es determinado calculando la deformación de la estructura del fondo del océano basado en relaciones propuestas en Okada, 1985. En este artículo se proponen ecuaciones para el cálculo del desplazamiento, esfuerzos e inclinación productos de la dislocación que sufre la estructura del fondo del océano durante un evento sísmico. Estas ecuaciones se basan en estudios previos, en un modelo realístico de la estructura de la tierra. Estos previos estudios revelan que el efecto de la curvatura de la tierra es depreciable para eventos a poca profundidad y a distancias menores a 20°, pero las capas verticales pueden algunas veces causar considerables efectos en los campos de deformación.

Entonces, el desplazamiento $u_i(x_1, x_2, x_3)$ debido a la dislocación $\Delta u_i(\xi_1, \xi_2, \xi_3)$ a través de la superficie Σ en un medio isotrópico es dado por:

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] \nu_k d\Sigma \quad (11)$$

Donde:

- δ_{jk} : Kronecker delta,
- λ y μ : Constantes de Lamé,
- ν_k : Dirección coseno de la normal al elemento de superficie $d\Sigma$,
- u_i^j : Componente "i" del desplazamiento en el punto (x_1, x_2, x_3) debido a la fuerza de magnitud "F" en la dirección "j" en (ξ_1, ξ_2, ξ_3) ,

La Tabla 7, Figura 127, Figura 128 y Figura 129 muestran el resultado de la condición inicial del tsunami para los tres escenarios sísmicos, calculados usando las ecuaciones Eq. 8, Eq. 9, Eq. 10 y Eq. 11 y con los datos de entrada mostrados



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



en la Tabla 7. Donde las líneas rojas continuas representan el desplazamiento vertical positivo (levantamiento) y las líneas azules punteadas representan el desplazamiento vertical negativo (hundimiento), ambas dibujadas a cada metro de elevación o hundimiento vertical.

Tabla 7. Parámetros de fuente sísmica para el cálculo de la deformación inicial de la superficie del océano, definidos en la **Figura 124**.

Parámetro	M _w 8.0	M _w 8.5	M _w 8.7
Longitud	-78.0°	-77.6°	-77.4°
Latitud	-12.3°	-13.6°	-13.9°
Profundidad	25 km	25 km	25 km
Longitud	165 km	305 km	394 km
Ancho	75 km	101 km	117 km
Dirección (Azimut)	325°	325°	325°
Ángulo de Inmersión	18°	18°	18°
Ángulo de deslizamiento	89°	89°	89°
Dislocación	2.2 m	4.6 m	6.1 m

En la simulación numérica de la propagación y inundación del tsunami, la línea costera es redefinida de acuerdo a la condición inicial del tsunami, Figura 127, Figura 128 y Figura 129 parte derecha. Esto significa, de acuerdo al análisis, que el nivel de la marea en la costa estaría descendiendo o comúnmente llamado “el retroceso del mar”, como condición inicial del tsunami y como una señal de alerta a la venida del tsunami.

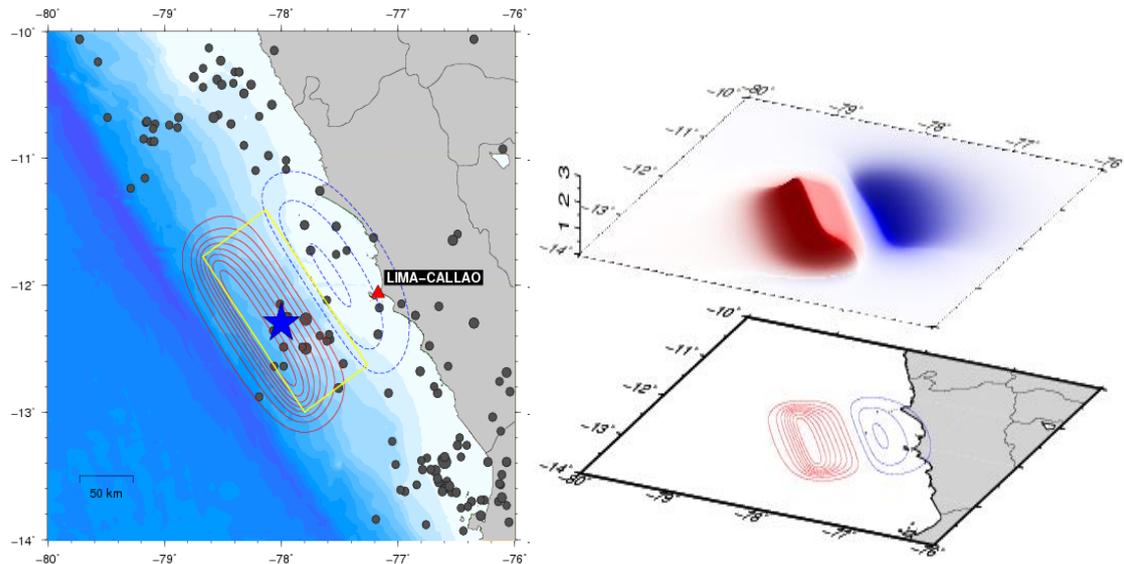


Figura 127. Deformación inicial de la superficie del océano para un sismo de M_w 8.0. Los puntos plomos representan la sismicidad histórica.

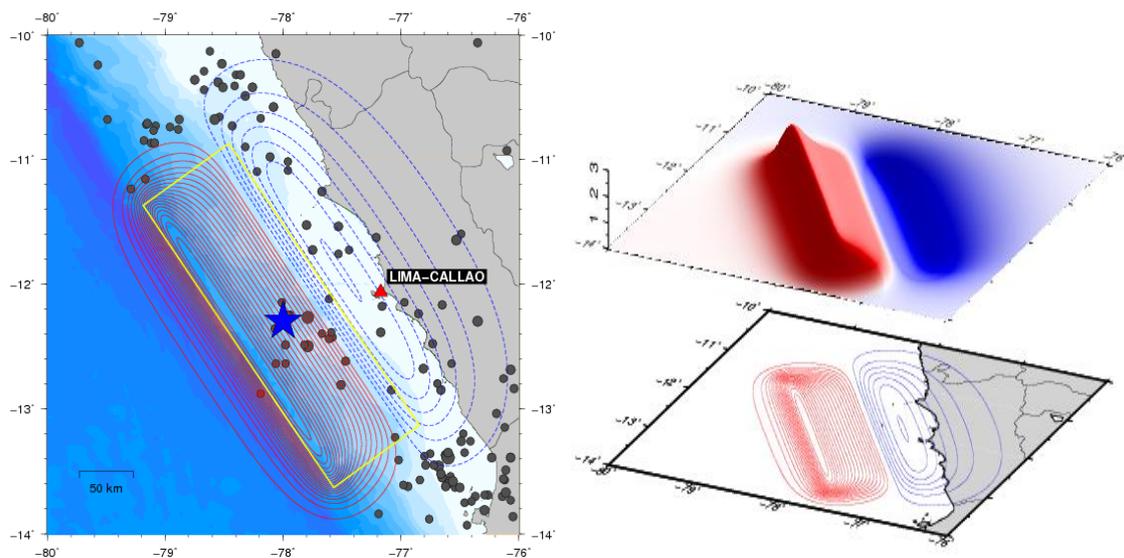


Figura 128. Deformación inicial de la superficie del océano para el sismo de M_w 8.5. Los puntos plomos representan la sismicidad histórica.

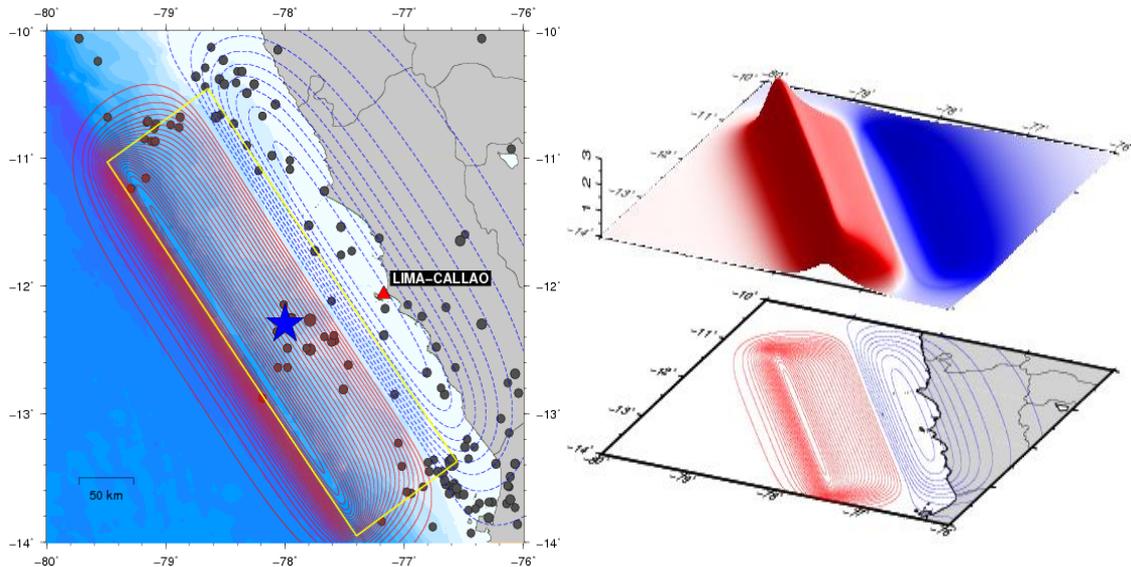


Figura 129. Deformación inicial de la superficie del océano para el sismo de M_w 8.7. Los puntos plomos representan la sismicidad histórica.

De las figuras anteriores se observa claramente que la deformación inicial es mayor en el escenario de M_w 8.7, los desplazamientos verticales iniciales positivos son 0.9m, 1.96m y 2.4m para los escenarios de M_w 8.0, M_w 8.5 y M_w 8.7 respectivamente.

11.8.2 Fase de la Propagación del Tsunami

La simulación numérica del tsunami es realizada usando TUNAMI-N2 (Tohoku University's Numerical Analysis Model for Investigation of Near-field Tsunami No.2) el código fuente está basado en la teoría de aguas poco profundas y fue desarrollado por el Disaster Control Research Center (DCRC – Tohoku University, Japan).

Para la simulación del tsunami la batimetría fue tomada de General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) con una resolución espacial de 30 segundos de arco, que para nuestra ubicación geográfica es aproximadamente 900 m. El tiempo total de simulación es de 3 horas (180 minutos) y el intervalo de tiempo para la simulación, con el fin de satisfacer la estabilidad numérica, es de 1 segundo.

La Figura 130, Figura 131 y Figura 132 muestran las capturas instantáneas de la propagación para los tiempos 0 minutos, tiempo en el que arriba la primera ola a la costa y las señales del tsunami sintéticos en los diferentes escenarios sísmicos, estas señales fueron registradas por la estación mareográfica virtual ubicada en La Punta – Callao, en las coordenadas 12.078°S 77.168°W .

En la Figura 130, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud $M_w=8.0$, donde la zona en rojo representa el desplazamiento vertical positivo del mar y la zonas en azul el desplazamiento vertical negativo del mar. b) muestra la propagación del tsunami en 39 minutos después del evento sísmico, en esta figura se observa el arribo de la primera ola la costa. c) muestra la señal sintética del tsunami registrado en La Punta, esta señal es el resultado de la sustracción de la señal astronómica de la señal mareográfica sintética del tsunami, la señal del tsunami muestra claramente que en este escenario la primera ola arriba a la punta con una amplitud mayor a 1.5m y en aproximadamente 39 min después del evento sísmico.

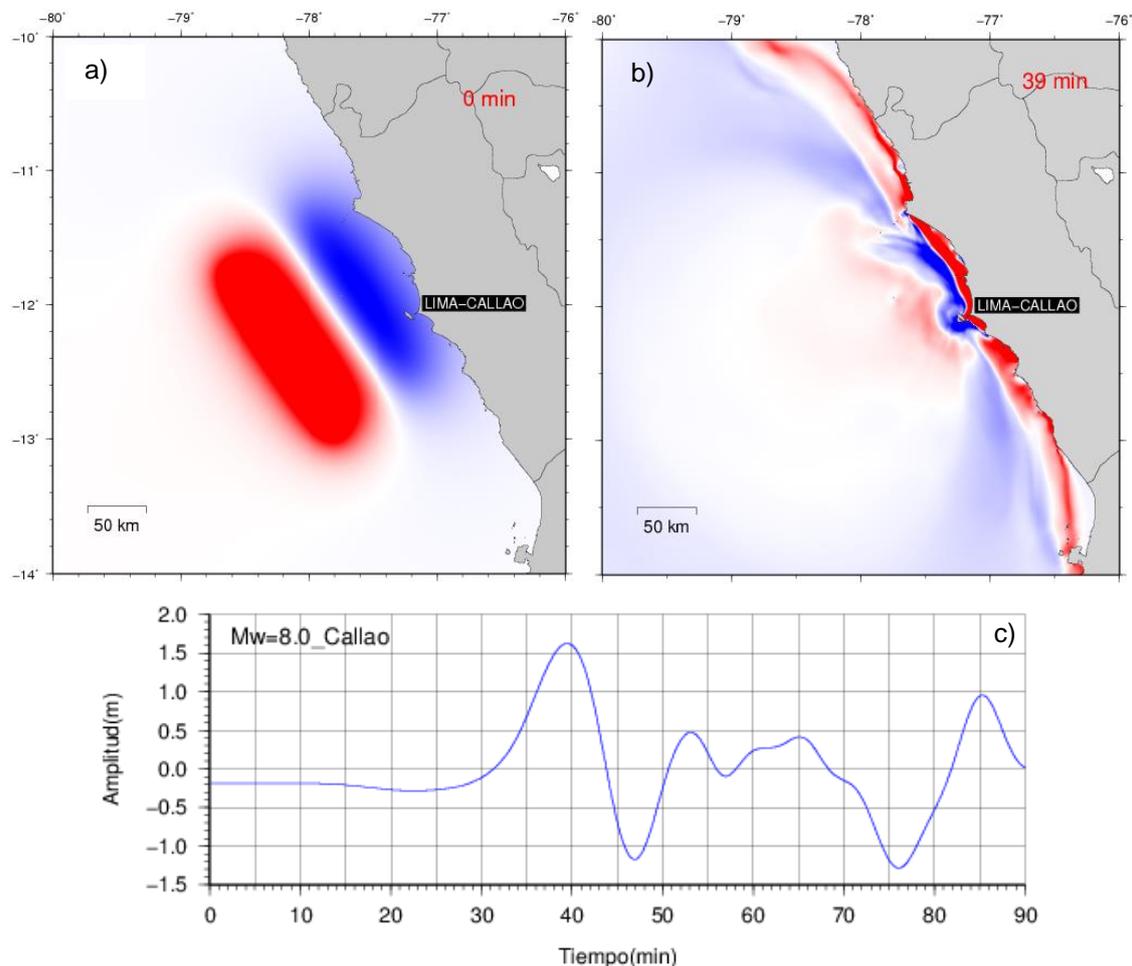


Figura 130. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo y el color azul desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario M_w 8.0. c) Señal sintética del tsunami para el escenario M_w 8.0.

En la Figura 131, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud $M_w=8.5$, donde la zona en rojo representa el desplazamiento vertical positivo del mar y la zonas en azul el desplazamiento vertical negativo del mar. b) muestra la propagación del tsunami en 41 minutos después del evento sísmico, en esta figura se observa el arribo de la primera ola la costa. c) muestra la señal sintética del tsunami registrado en La Punta, esta señal es el resultado de la sustracción de la señal astronómica de la señal mareográfica sintética del tsunami, la señal del tsunami muestra claramente que en este escenario la primera ola arriba a la punta con una amplitud mayor a 3.5m y en aproximadamente 41 min después del evento sísmico.

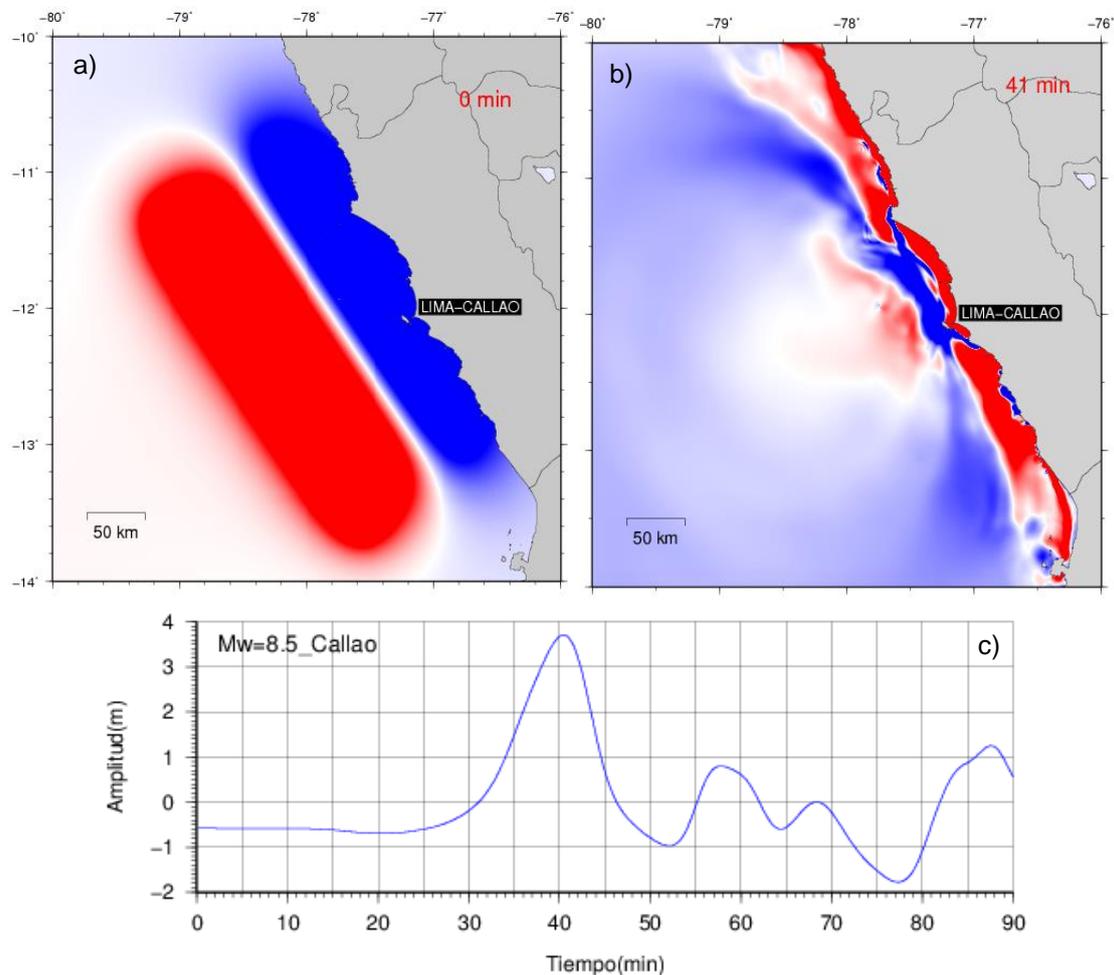


Figura 131. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo y el color azul desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario M_w 8.5. c) Señal sintética del tsunami para el escenario M_w 8.5.

En la Figura 132, a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud $M_w=8.7$, donde la zona en rojo representa el desplazamiento vertical positivo del mar y la zonas en azul el desplazamiento vertical negativo del mar. b) muestra la propagación del tsunami en 41 minutos después del evento sísmico, en esta figura se observa el arribo de la primera ola la costa. c) muestra la señal sintética del tsunami registrado en La Punta, esta señal es el resultado de la sustracción de la señal astronómica de la señal mareográfica sintética del tsunami, la señal del tsunami muestra claramente que en este escenario la primera ola arriba a la punta con una amplitud mayor a 5.0m y en aproximadamente 41 min después del evento sísmico.

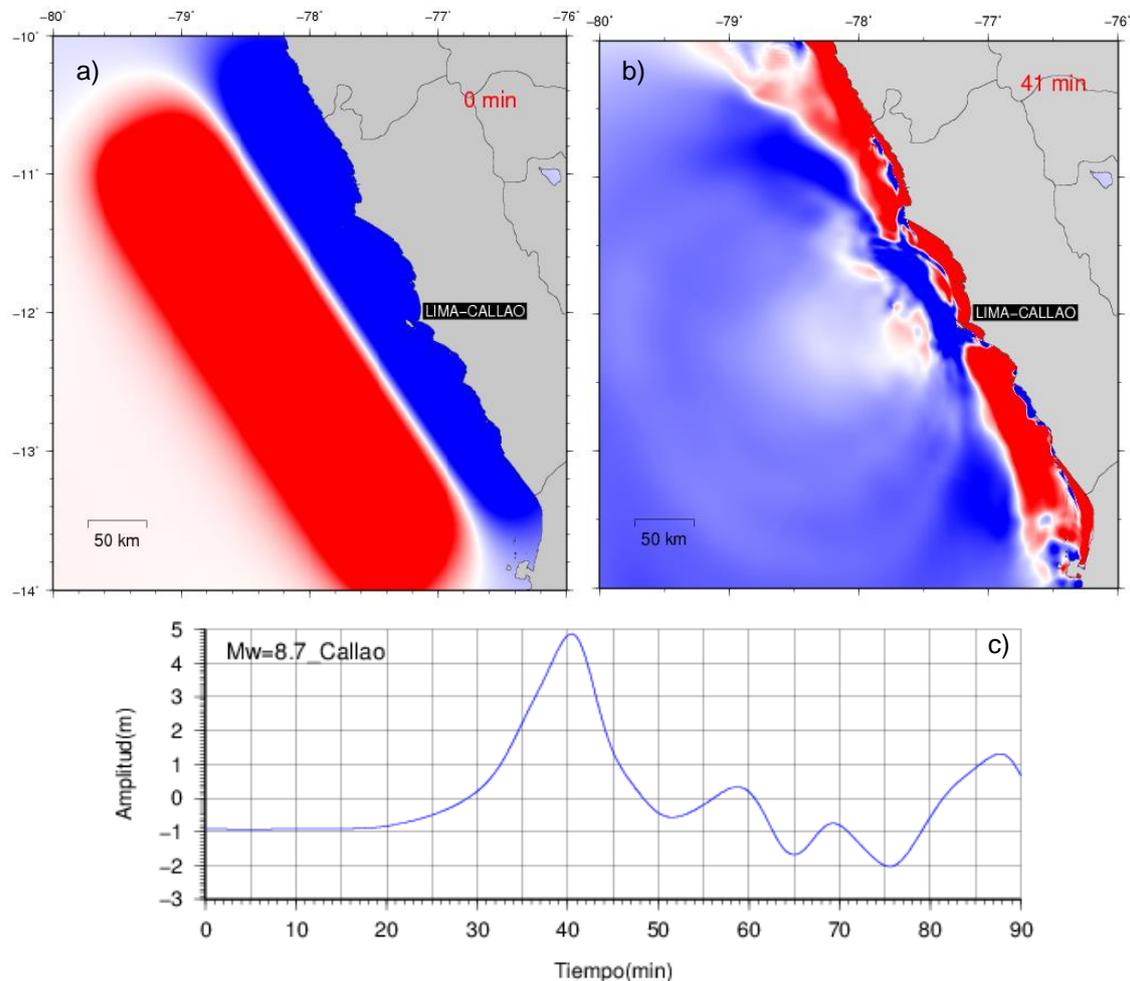


Figura 132. a) y b) Capturas instantáneas de la propagación del tsunami, donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo y el color azul desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario M_w 8.7. c) Señal sintética del tsunami para el escenario M_w 8.7.

De las figuras anteriores, se observa claramente que en la propagación del escenario Mw 8.7 la deformación del mar es más pronunciada comparada con los otros escenarios, otro punto importante es que el tiempo de llegada de la primera ola es menor, menor de 60 minutos.

11.8.3 Fase de Inundación

Para estimar la inundación probable producto del tsunami se establecieron 100 estaciones mareográficas virtuales a lo largo de la costa del área de estudio, en estas estaciones virtuales se puede registrar las variaciones en el nivel del mar producto del tsunami, los valores máximos de estos registros estarían dando las probables amplitudes máximas o altura de las olas máximas que estaría atacando las costas de Lima y Callao.

La Figura 133 y Figura 134 muestran las alturas máximas de olas esperadas producto del tsunami a lo largo de la costa de Lima y Callao, entre las latitudes $11^{\circ}40'S$ y $12^{\circ}30'S$ lo que estaría cubriendo el área de estudio (desde Ancón hasta Pucusana) de acuerdo a esta figura la mayor parte a lo largo de la costa presenta alturas de ola mayores a 2 metros y la altura máxima estaría ocurriendo en las costas del Callao, específicamente en La Punta, llegando a alcanzar alturas de aproximadas de 3m, lo que estaría indicando que el distrito de La Punta tiene un alto riesgo frente a tsunamis. También se encuentra en alto riesgo el distrito de Chorrillos donde las alturas de ola son importantes y sobre todo que el área cercana al litoral se encuentran pobladas, lo cual hace que el daño producido sea considerable.

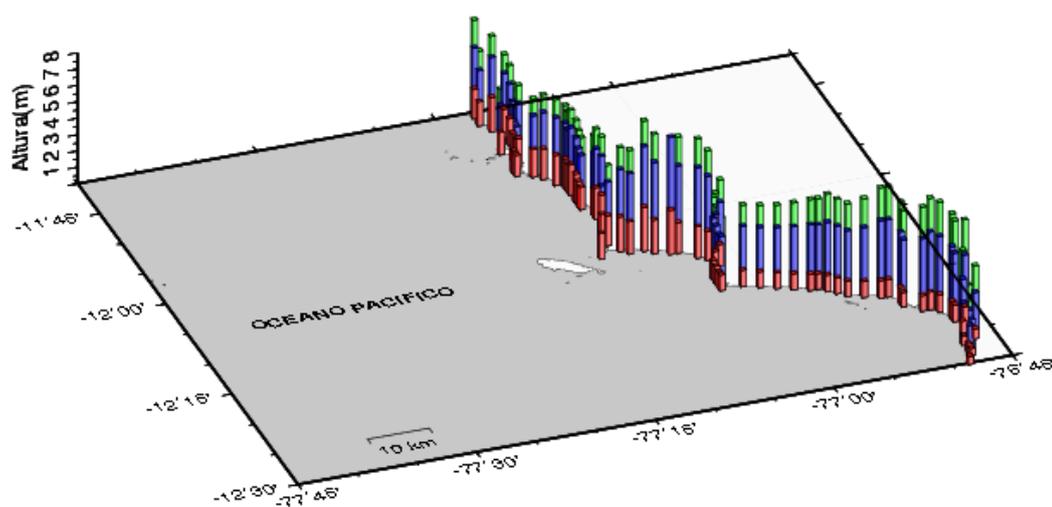


Figura 133. Vista en 3D de las alturas máximas a lo largo de la costa de Lima-Callao, las barras rojas, azules y verdes representan las alturas máximas de olas en la costa para los escenarios de Mw 8.0, Mw 8.5 y Mw 8.7 respectivamente.

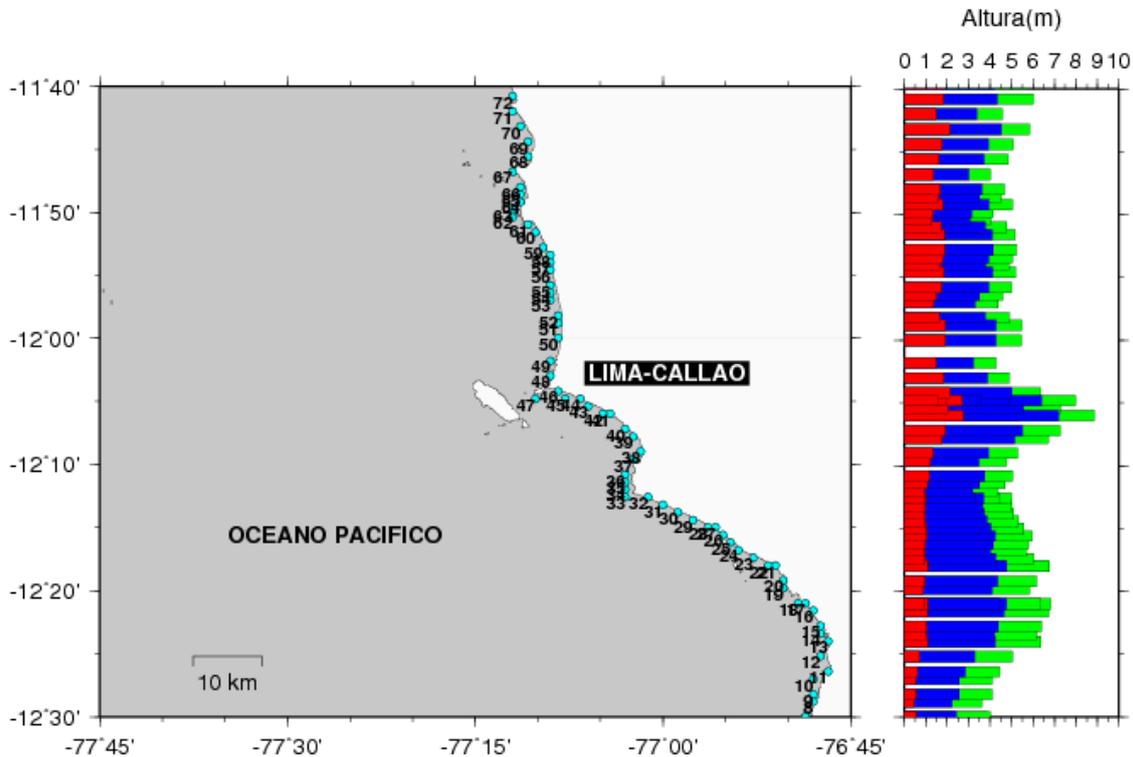


Figura 134. Alturas de olas máximas a lo largo de las costas de Lima-Callao. Las barras rojas, azules y verdes representan las alturas máximas de olas en la costa para los escenarios de M_w 8.0, M_w 8.5 y M_w 8.7 respectivamente. Los puntos celestes muestran la ubicación de las estaciones virtuales.

La Tabla 8 muestra las alturas finales de olas obtenidas del modelo numérico de simulación del tsunami para cada uno de los escenarios sísmicos. Los valores de altura máxima de ola por tsunami según su posición en latitud se pueden apreciar en la Figura 135.

Tabla 8. Tiempo de llegada y altura de ola en cada estación mareográfica virtual.

Estación	Mw 8.0		Mw 8.5		Mw 8.7		Coordenadas	
	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	Longitud (°)	Latitud (°)
1	68	0.60	68	3.10	69	4.96	-76.74	-12.55
2	67	0.58	67	3.10	68	4.95	-76.75	-12.54
3	67	0.59	67	3.14	68	5.04	-76.77	-12.53
4	65	0.49	65	2.64	66	4.29	-76.79	-12.52
5	72	0.63	70	3.20	70	5.05	-76.80	-12.51
6	63	0.47	64	2.37	65	3.87	-76.81	-12.50
7	153	0.55	66	2.42	66	3.99	-76.81	-12.50
8	64	0.44	65	2.22	66	3.61	-76.80	-12.48



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID

Estación	Mw 8.0		Mw 8.5		Mw 8.7		Coordenadas	
	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	Longitud (°)	Latitud (°)
9	66	0.52	67	2.56	68	4.08	-76.80	-12.47
10	67	0.51	68	2.57	69	4.09	-76.80	-12.45
11	69	0.59	70	2.83	71	4.45	-76.78	-12.44
12	72	0.70	73	3.28	73	5.04	-76.79	-12.42
13	77	1.07	78	4.24	78	6.37	-76.78	-12.40
14	76	1.02	77	4.21	78	6.19	-76.79	-12.39
15	77	1.04	78	4.38	78	6.39	-76.79	-12.38
16	77	1.08	78	4.64	79	6.73	-76.80	-12.36
17	77	1.09	78	4.76	79	6.84	-76.81	-12.35
18	76	0.96	77	4.42	78	6.37	-76.82	-12.35
19	75	0.86	76	4.08	77	5.85	-76.84	-12.33
20	75	0.95	77	4.33	78	6.17	-76.84	-12.32
21	77	1.08	78	4.73	79	6.75	-76.85	-12.30
22	76	1.09	78	4.76	79	6.75	-76.86	-12.30
23	75	0.97	77	4.26	77	6.03	-76.88	-12.29
24	73	0.93	75	4.00	76	5.67	-76.90	-12.28
25	73	0.98	75	4.14	75	5.79	-76.91	-12.27
26	73	1.03	75	4.24	76	5.95	-76.92	-12.26
27	72	0.96	75	3.94	75	5.55	-76.93	-12.25
28	72	1.01	74	4.02	75	5.57	-76.94	-12.25
29	70	0.98	73	3.85	73	5.31	-76.96	-12.24
30	69	0.96	72	3.73	72	5.11	-76.98	-12.23
31	69	0.97	71	3.67	72	5.02	-77.00	-12.22
32	68	1.00	71	3.68	71	4.99	-77.02	-12.21
33	67	0.94	69	3.29	70	4.47	-77.05	-12.21
34	67	0.94	70	3.20	70	4.33	-77.05	-12.20
35	69	1.05	72	3.51	72	4.69	-77.05	-12.19
36	123	1.15	75	3.74	75	5.03	-77.05	-12.18
37	80	1.20	82	3.47	82	4.77	-77.04	-12.16
38	82	1.33	84	3.91	83	5.28	-77.03	-12.15
39	86	1.76	86	5.14	86	6.70	-77.04	-12.13
40	88	1.91	88	5.51	88	7.27	-77.05	-12.12
41	88	1.87	88	5.34	88	7.12	-77.07	-12.10
42	94	2.72	91	7.17	90	8.85	-77.08	-12.10
43	88	2.04	89	5.57	88	7.28	-77.10	-12.09
44	90	2.68	89	6.40	88	7.97	-77.11	-12.08
45	86	1.96	86	4.90	85	6.34	-77.13	-12.08
46	86	2.11	86	5.01	86	6.35	-77.14	-12.07
47	79	1.55	81	3.57	80	4.68	-77.17	-12.08



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID

Estación	Mw 8.0		Mw 8.5		Mw 8.7		Coordenadas	
	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	Longitud (°)	Latitud (°)
48	80	1.82	82	3.88	82	4.90	-77.15	-12.05
49	174	1.46	83	3.22	175	4.28	-77.15	-12.03
50	88	1.91	88	4.28	87	5.46	-77.14	-12.00
51	86	1.91	87	4.28	86	5.49	-77.14	-11.98
52	84	1.62	86	3.77	86	4.89	-77.14	-11.97
53	81	1.36	84	3.31	83	4.39	-77.15	-11.95
54	82	1.49	84	3.51	84	4.59	-77.15	-11.94
55	83	1.74	85	3.93	84	5.00	-77.15	-11.93
56	83	1.84	85	4.11	84	5.19	-77.15	-11.91
57	81	1.67	84	3.79	83	4.86	-77.15	-11.90
58	82	1.78	84	3.94	84	5.03	-77.15	-11.89
59	82	1.86	83	4.14	83	5.23	-77.16	-11.88
60	81	1.86	83	4.09	83	5.17	-77.17	-11.86
61	80	1.71	82	3.76	82	4.79	-77.18	-11.85
62	77	1.30	80	3.04	80	4.03	-77.20	-11.84
63	77	1.34	80	3.13	80	4.14	-77.20	-11.83
64	81	1.78	83	3.93	83	5.03	-77.19	-11.82
65	80	1.59	82	3.51	82	4.53	-77.19	-11.81
66	80	1.67	83	3.61	83	4.66	-77.19	-11.80
67	81	1.35	83	3.01	84	4.01	-77.20	-11.78
68	89	1.60	91	3.70	91	4.84	-77.18	-11.76
69	88	1.75	90	3.92	90	5.08	-77.18	-11.74
70	90	2.09	92	4.54	92	5.84	-77.19	-11.72
71	87	1.46	90	3.37	90	4.57	-77.20	-11.70
72	95	1.79	97	4.32	96	6.02	-77.20	-11.68
73	93	1.82	95	4.22	95	5.71	-77.21	-11.66
74	95	2.27	97	4.94	96	6.41	-77.22	-11.64
75	93	1.90	95	4.43	94	5.89	-77.24	-11.63
76	90	1.69	93	3.77	93	5.20	-77.25	-11.62
77	89	1.49	91	3.46	92	4.77	-77.25	-11.61
78	89	1.52	91	3.67	91	5.05	-77.26	-11.60
79	88	1.37	90	3.32	90	4.60	-77.28	-11.60
80	91	1.86	93	4.09	93	5.48	-77.28	-11.58
81	88	1.37	90	3.34	90	4.56	-77.29	-11.59
82	91	2.00	94	4.42	94	5.91	-77.28	-11.57
83	91	1.92	93	4.27	93	5.71	-77.29	-11.56
84	91	1.86	93	4.20	93	5.64	-77.30	-11.55
85	90	1.74	93	4.04	93	5.48	-77.30	-11.54
86	89	1.63	92	3.81	92	5.20	-77.30	-11.53

Estación	Mw 8.0		Mw 8.5		Mw 8.7		Coordenadas	
	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	t (minutos)	h (m)	Longitud (°)	Latitud (°)
87	89	1.54	92	3.64	92	4.98	-77.31	-11.51
88	89	1.47	91	3.52	92	4.82	-77.32	-11.51
89	88	1.41	91	3.44	91	4.71	-77.33	-11.50
90	88	1.33	91	3.29	91	4.55	-77.35	-11.48
91	88	1.32	91	3.26	91	4.52	-77.36	-11.47
92	88	1.29	91	3.23	91	4.47	-77.37	-11.46
93	88	1.29	91	3.23	91	4.45	-77.38	-11.46
94	88	1.33	91	3.33	91	4.56	-77.39	-11.45
95	88	1.42	91	3.50	91	4.75	-77.40	-11.44
96	89	1.59	92	3.86	92	5.19	-77.42	-11.44
97	91	2.06	93	4.81	93	6.28	-77.43	-11.42

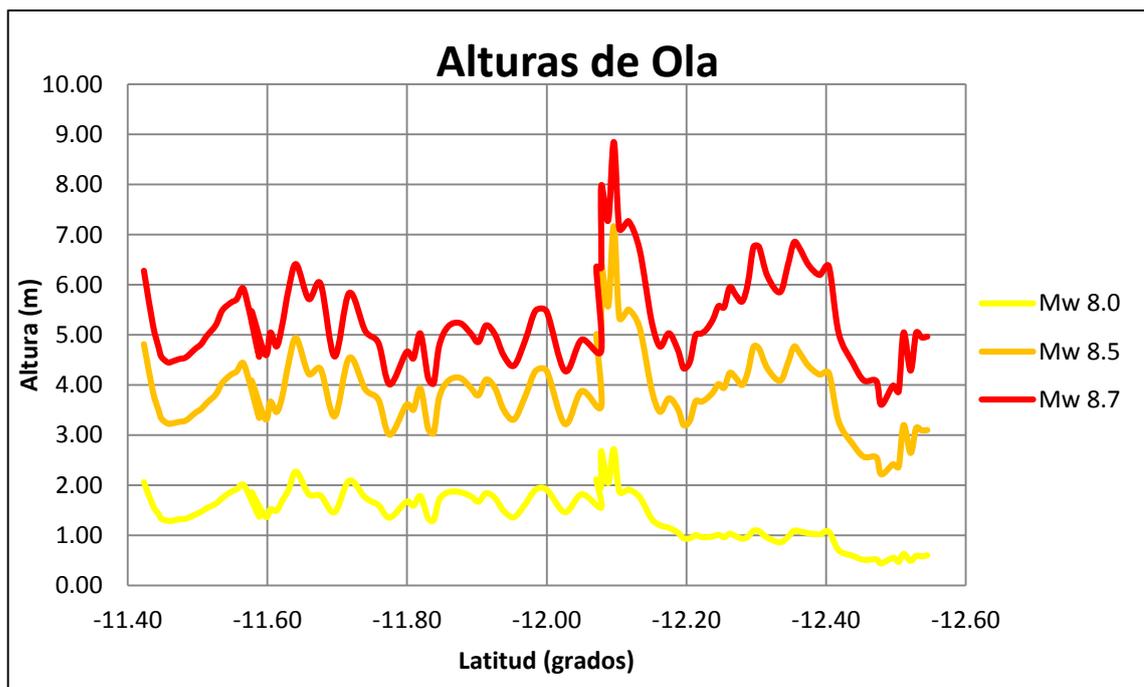


Figura 135. Alturas máximas de ola a lo largo de la costa de Lima de norte a sur.

Las alturas máximas de ola se resumen en la Tabla 9:

Tabla 9. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami

Magnitud (Mw)	Hmáx (m)
8.00	2.72
8.50	7.17
8.70	8.85



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



Finalmente estas alturas deberán ser corregidas por las alturas máximas de mareas. Para esta corrección se toman los datos del documento Tabla de Mareas 2014 Puertos de la Costa del Perú, Océano Pacífico, América del Sur, publicado por la Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN) de la Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, publicación anual para cada una de las principales ciudades del litoral peruano.

En este documento se puede encontrar que para el año 2014, en las costas del Callao, se tiene un valor de pleamar de 1.23 metros. Con este valor se corrigen los valores obtenidos de la simulación para asegurar una evaluación de daños en el caso más desfavorable.

Finalmente, los valores de altura con los cuales se han evaluado las áreas de inundación se presentan en la Tabla 10, los valores se presentan redondeados.

Tabla 10. Valores corregidos de alturas máximas de olas.

Magnitud (Mw)	Hmáx corregida (m)
8.00	4.00
8.50	8.40
8.70	10.10

11.9 Análisis de Resultados

Para cada uno de los distritos costeros se ha realizado un análisis del área inundada. Los resultados del área inundada por distrito se encuentran en la Tabla 11 y el mapa correspondiente al Distrito de Lurín se presenta en Figura 136.

Los datos base para realizar los análisis de áreas de inundación fueron obtenidos del Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) para la información cartográfica y la información topográfica se obtuvo de la aplicación Google Earth.

Como se puede apreciar en esta tabla los distritos más afectados son el Callao, Chorrillos y Lurín. En el caso del escenario sísmico con una magnitud $M_w = 8.7$, en el Callao se verían afectadas 881 manzanas (44% del total afectado) en Chorrillos se verían afectadas 409 manzanas (20% del total afectado) y en el distrito de Lurín se verían afectadas 233 manzanas (12% del total afectado).

Cabe resaltar que para los distrito de San Miguel, Magdalena, San Isidro, y Miraflores, si bien es cierto existen zonas pobladas, estas áreas no estaban



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES – CISMID



consideradas en la base de datos cartográfica que se obtuvo del INEI por eso en estos distritos el grado de afectación es cero.

Tabla 11. Valores Número de manzanas afectadas en los distritos costeros de Lima, según el escenario sísmico.

Nº	Distrito	Cantidad de Manzanas Afectadas			Porcentaje de Afectación		
		Mw 8.0	Mw 8.5	Mw 8.7	Mw 8.0	Mw 8.5	Mw 8.7
1	Ancón	9	57	92	2%	3%	5%
2	Santa Rosa	7	15	16	2%	1%	1%
3	Ventanilla	67	81	92	16%	5%	5%
4	Callao	110	751	881	26%	44%	44%
5	La Punta	31	54	54	7%	3%	3%
6	La Perla	0	5	13	0%	0%	1%
7	San Miguel	0	0	0	0%	0%	0%
8	Magdalena	0	0	0	0%	0%	0%
9	San Isidro	0	0	0	0%	0%	0%
10	Miraflores	0	0	0	0%	0%	0%
11	Barranco	0	5	5	0%	0%	0%
12	Chorrillos	110	368	409	26%	22%	20%
13	Villa el Salvador	43	76	78	10%	4%	4%
14	Lurín	35	176	233	8%	10%	12%
15	Punta Hermosa	2	23	37	0%	1%	2%
16	Punta Negra	5	42	64	1%	2%	3%
17	San Bartolo	2	8	11	0%	0%	1%
18	Santa María del Mar	0	9	10	0%	1%	0%
19	Pucusana	4	23	29	1%	1%	1%

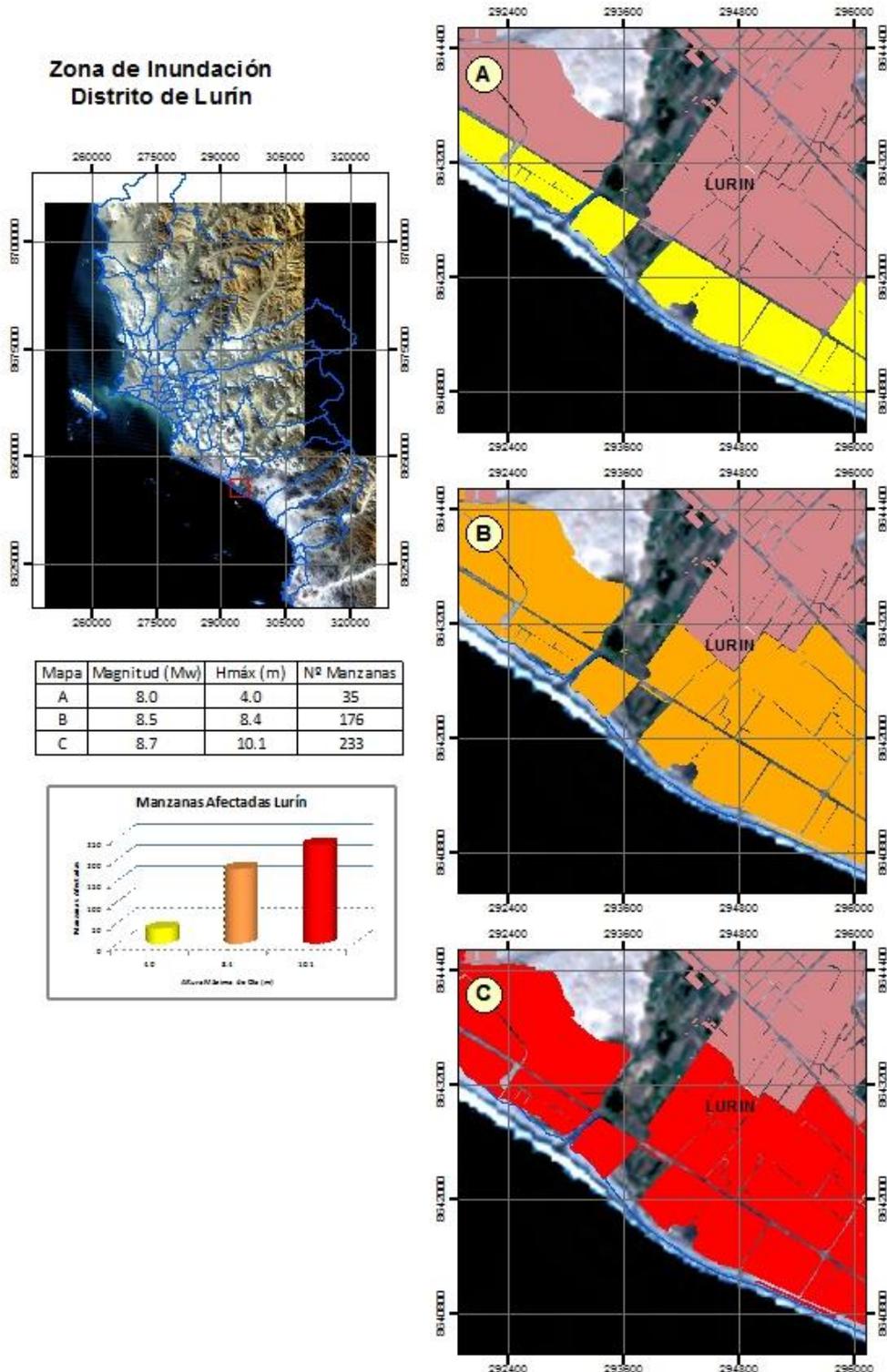


Figura 136. Zonas de Inundación en el Distrito de Lurín, para diferentes escenarios sísmicos.

11.10 Recomendaciones

Si bien el objetivo de los mapas de inundación es para proporcionar guías para la previsión y la evaluación del riesgo durante un posible evento, estos también ofrecen un punto de inicio para la planificación del uso del suelo y para la definición de medidas de mitigación. Básicamente existen dos enfoques para reducir el riesgo por tsunamis, estos son:

1. La construcción de obras de ingeniería que bloqueen y/o retarden el paso de olas del tsunami.
2. Proponer políticas del gestión del riesgo frente a tsunamis diseñadas para el control del peligro a través una planificación del uso del suelo.

El Primer enfoque pretende proveer protección a las viviendas costeras mediante estructuras como muros de defensa, diques, etc. Entre las principales medidas estructurales tenemos:

Refugios de Emergencia, El refugio debe ser capaz de resistir el sacudimiento sísmico del suelo y evaluarse para casos de resistencia a fallas estructurales, fallas de cimentación producto de licuefacción de suelos. El refugio debe resistir las fuerzas inducidas por tsunami, incluyendo los impactos de escombros de arrastre. Por otro lado, este debe proveer suficiente espacio para las personas evacuadas, en los pisos por encima de la elevación de inundación y debe ser a prueba de incendios.



Figura 137. Torre de evacuación prefectura de Mie, Japón.

Muros de Defensa, La construcción de muros frente a industrias e instalaciones importantes cercanas a la línea costera, es la mejor manera de prevenir la acción dinámica de un tsunami. Aún cuando la altura de un muro no sea suficiente para detener completamente la invasión de un tsunami, los daños pueden ser reducidos en forma apreciable.

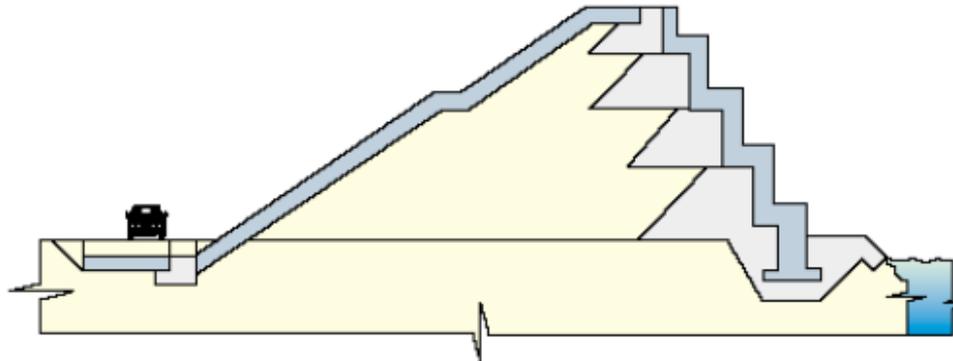


Figura 138. Esquema de muro de defensa en Taro y Yoshihama, Japón.

El segundo enfoque se recomienda basado en el principio que los posibles efectos del tsunami pueden ser mitigados con provención, autoportección y medidas prudentes. El plan de gestión del riesgo debe clasificar y delimitar las áreas para la construcción de las medidas de acuerdo con el uso de suelo, el tipo y la importancia de las estructuras y las actividades propuestas, y poner en funcionamiento a través de un sistema de información geográfica (SIG). Se debe delimitar las posibles alturas de inundación futuras; proteger las áreas ya existentes a través de un proceso de redesarrollo y esto deben tomar precauciones especiales en la localización de la infraestructura, las instalaciones esenciales y líneas de vida.

A continuación se proponen recomendaciones para mitigar el impacto de tsunamis. La efectividad de estas medidas recae en organismos técnicos y oficiales del Estado como a las autoridades civiles a quienes corresponda velar por la seguridad de las personas y bienes públicos.

- Identificar del riesgo de inundación por tsunami.
- Identificar el daño esperado, según el tipo de instalaciones y edificaciones.
- Proponer una planificación urbana a largo plazo, considerando el riesgo de inundación.
- Reforzar estructuras vulnerables, disponer arboledas y zanjas de protección, etc.
- Efectuar un plan de educación sistemático orientado a la comunidad.

En la Tabla 7.1 se presentan causas, efectos y medidas de mitigación que debieran adoptarse tanto en la planificación y diseño de futuras estructuras como en la actualización de las instalaciones costeras en operación.

Tabla 7.1. Matriz Causa-Efecto-Medidas de mitigación antes un tsunamis.

CAUSA	EFEECTO	MEDIDA DE MITIGACIÓN
INUNDACIÓN	<ul style="list-style-type: none"> • Cimentación y pisos inferiores inundados. • Fallas en sistemas mecánicos, eléctricos y comunicación. • Contaminación con materiales de alto contenido salino. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar edificaciones sobre el nivel de Inundación. • Instalar equipamientos importantes en piso altos. • Evaluar capacidad de soporte del suelo y usar materiales resistentes.
	Fuerzas hidrostáticas: Diferencias de niveles de agua a ambos lados de un muro	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar edificaciones sobre el nivel de Inundación • Diseñar muros para soportar fuerzas hidrostáticas
	Flotación	Ubicar las edificaciones en suelos altos y utilizar anclaje.
	Disminución de la capacidad del suelos	Evaluar la condición del suelo inundado.
CORRIENTES	Fuerzas hidrodinámicas de impacto y de arrastre	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar edificaciones sobre el nivel de Inundación • Diseño considerando fuerzas hidrodinámicas y usar anclajes.
	Impactos de escombros	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar edificaciones sobre el nivel de Inundación • Diseño considerando fuerzas hidrodinámicas e impacto.
	Socavación	Utilizar cimentaciones profundas
ROMPIMINETO	Fuerzas hidrostáticas	Diseño para oleaje rompiente
	Impacto de escombros	<ul style="list-style-type: none"> • Ubicar edificaciones sobre el nivel de Inundación Diseño considerando fuerzas hidrodinámicas e impacto.
INCENDIO	Ignición de materiales inflamables	Ubicar contenedores en zonas seguras y usar materiales resistentes al fuego



11.11 Referencias para el Estudio de Tsunamis

[1]. Silgado F., E., (1992). Investigaciones de sismicidad histórica en la América del Sur en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, Perú.

[2]. ITST, 2001a, Report of the June 23, 2001 Peruvian Tsunami Field Survey of the International Tsunami Survey Team (ITST).

[3]. Fritz, H. M., Kalligeris, N., Borrero, J. C., Broncano, P., and Ortega, E., 2008, The 15 August 2007 Peru tsunami run-up observations and modeling, Geophysical Research Letters, vol. 35, L10604, doi: 10.1029/2008GL033494.

[4]. Imamura, F., 1995, Review of the tsunami simulation with a finite difference method, Long Wave Run-up Models, Word Science, 25-42.

[5]. Dorbath L., Cisternas A., y Dorbath C., 1990, Assessment of the Size of Large and Great Historical Earthquakes in Peru, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 80, No. 3, pp. 551-576.

[6]. Okada, Y., 1985, Surface Deformation Due to shear and Tensile Faults in Half-space, Bulletin Seismological Society of America. Vol. 75, No. 4, 1135-1154.

[7]. Papazachos, B. C., Scordilis E. M., Panagiotopoulos D. G., and Karakaisis G. F., 2004, Global Relation Between Seismic Fault Parameter and Moment Magnitude of Earthquake, Bulletin of the Geological Society of Greece Vol. XXXVI Proceedings of the 10th International Congress, Thessaloniki, April 2004.

[8]. Kuroiwa J., Reducción de Desastres, Viviendo en Armonía con la Naturaleza, 2002

[9] Evaluación del Riesgo de Tsunamis en Quintero Chile, En revista chilena de ingeniería (ISSN0370-4009). No 453, abril 2008.

[10] “Estudio de Tsunamis de Origen Cercano en el Callao Centro – Norte, Planes de Evacuación y Uso de Suelo”, 2008, E. Mas y V Jácome. Faculta de Ingenieria Civil – Universidad Nacional de Ingenia.