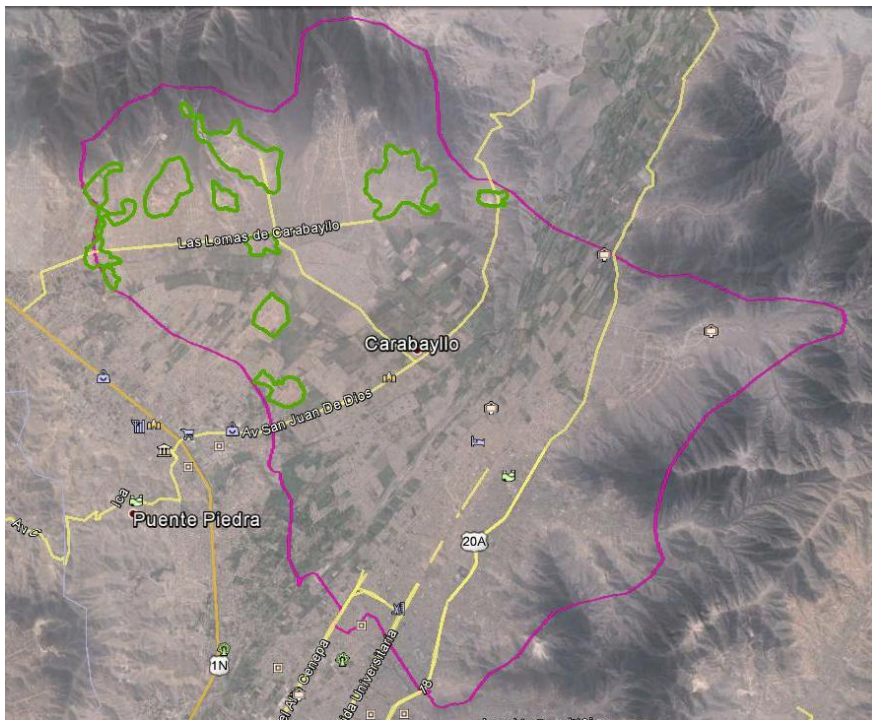


**UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA  
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL  
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES**



**“ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN GEOTÉCNICA SÍSMICA Y EVALUACIÓN DEL RIESGO EN ZONAS UBICADAS EN LOS DISTRITOS DE CARABAYLLO Y EL AGUSTINO (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE LIMA); DISTRITO DEL CUSCO (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DEL CUSCO); Y DISTRITO DE ALTO SELVA ALEGRE (PROVINCIA Y DEPARTAMENTO DE AREQUIPA)”**

***PRODUCTO 02 – DISTRITO DE CARABAYLLO - TOMO III***  
**ESTIMACIÓN DEL RIESGO**



**LIMA – NOVIEMBRE 2013**



PRODUCTO 02 – DISTRITO DE CARABAYLLO - TOMO III – ESTIMACIÓN DEL RIESGO

ÍNDICE

<b>1. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....</b>	<b>8</b>
1.1. Mapas de Zonas de Isoperiodos .....	8
1.2. Mapa de Microzonificación Sísmica .....	8
1.3. Mapas de Zonas de Aceleraciones .....	9
1.4. Zonas de Velocidades .....	9
<b>2. MAPAS DE VULNERABILIDAD.....</b>	<b>10</b>
2.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral .....	10
2.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal .....	10
2.1.2. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo .....	12
2.1.3. Procedimiento y Control de Calidad de Datos de Campo.....	12
2.1.4. Georreferenciación y Compatibilización de Planos .....	13
2.1.5. Sistematización de la Información .....	13
2.1.6. Ubicación de las manzanas a evaluar.....	13
2.2. Base de datos geo-espacial .....	15
2.2.1. Mapa de Uso de Suelo .....	17
2.2.2. Mapa de Materiales Predominantes.....	18
2.2.3. Mapa de Alturas de Edificación .....	18
2.2.4. Mapa de Tipologías Estructurales .....	19
2.2.5. Mapa de Estado de Conservación .....	20
2.2.6. Mapa de Vulnerabilidad.....	20
<b>3. MAPAS DE RIESGO .....</b>	<b>88</b>
3.1. ESTUDIO DE RIESGO PARA UN ESCENARIO SÍSMICO .....	88
3.2. MAPA DE SECTORES CRÍTICOS .....	91
<b>4. ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA</b>	<b>99</b>
4.1. Acerca de la Vulnerabilidad de sistemas de agua .....	99
4.2. Planta de Tratamiento de la Atarjea .....	99
4.3. Sistema de Agua .....	102
4.4. Mapa de Tipo de Tubería de Agua.....	107



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

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



---

4.5. Mapa de Roturas para un Escenario Sísmico .....	108
<b>5. REFERENCIAS .....</b>	<b>112</b>



## Índice de Figuras

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote. ....	11
Figura 2. Formato para vivienda representativa de la manzana. ....	11
Figura 3. Sectores del distrito de Carabaylo. ....	12
Figura 4. Manzanas totales (4317) versus manzanas seleccionadas (751). ....	14
Figura 5. Base de datos de los lotes representativos por manzana. ....	15
Figura 6. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento. ...	17
Figura 7. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Carabaylo. ....	18
Figura 8. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de Carabaylo. ....	18
Figura 9. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Carabaylo. ....	19
Figura 10. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Carabaylo. ....	19
Figura 11 - Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Carabaylo. ....	20
Figura 12. Viviendas típicas del Sector 01. ....	23
Figura 13. Zona comercial del Sector 02. ....	24
Figura 14. Edificaciones del sector 2, de dos y tres pisos. ....	24
Figura 15. Viviendas sin tarrajeo del sector 2. ....	24
Figura 16. Viviendas - comercio y mercado local San Pedro. ....	25
Figura 17. Edificaciones del sector 3, de dos y tres pisos, viviendas y comercio (en avenidas). ....	25
Figura 18. Terrenos sin construir del sector 3. ....	26
Figura 19. Conjunto habitacional y construcciones recientes. ....	26
Figura 20. Edificaciones del sector 4, de dos y tres pisos, viviendas y comercio hasta 4 pisos (en avenidas). ....	27
Figura 21. Uso de ladrillo artesanal y tubular en los muros de algunas edificaciones del sector 4. ....	27
Figura 22. Uso de cobertura liviana sobre las paredes del último nivel. ....	27
Figura 23. Viviendas típicas del Sector 05. ....	28
Figura 24. Viviendas típicas del Sector 06. ....	28
Figura 25. Zona comercial del Sector 06. ....	29
Figura 26. Viviendas típicas del Sector 07. ....	29
Figura 27. Zona comercial del Sector 07. ....	30
Figura 28. Viviendas típicas del Sector 08. ....	30
Figura 29. Viviendas de adobe y construcciones informales en albañilería. ....	30
Figura 30. Zona comercial del Sector 08. ....	31
Figura 31. Edificaciones del sector 9, de albañilería. ....	31
Figura 32. Edificaciones con cobertura ligera. ....	32
Figura 33. Viviendas en zonas de pendiente elevada. ....	32
Figura 34. Edificaciones del sector 10, de dos pisos de techo aligerado y cobertura ligera. ....	32
Figura 35. Edificaciones de un piso de techo aligerado y cobertura ligera. ....	33
Figura 36. Viviendas en zonas de pendiente elevada y en quebradas. ....	33
Figura 37. Edificaciones del sector 11, de dos niveles de techo aligerado y cobertura ligera. ....	34
Figura 38. Edificaciones de un piso de techo aligerado y cobertura ligera. ....	34
Figura 39. Viviendas comercio y comercio en la avenida Túpac Amaru y en sus alrededores. ....	34
Figura 40. Viviendas típicas del Sector 12. ....	35
Figura 41. Viviendas de madera del sector. ....	35
Figura 42. Zona comercial del Sector 12. ....	36
Figura 43. Viviendas típicas del Sector 13. ....	36
Figura 44. Viviendas de adobe. ....	36
Figura 45. Zona comercial del Sector 13. ....	37
Figura 46. Viviendas típicas del Sector 14. ....	37
Figura 47. Viviendas informales de albañilería. ....	38
Figura 48. Viviendas típicas del Sector 15. ....	38



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Figura 49. Viviendas típicas del Sector 16. ....	39
Figura 50. Viviendas típicas del Sector 17. ....	39
Figura 51. Viviendas informales en albañilería. ....	39
Figura 52. Viviendas típicas del Sector 18. ....	40
Figura 53. Viviendas de adobe y albañilería informal. ....	40
Figura 54. Viviendas típicas del Sector 19. ....	41
Figura 55. Viviendas de adobe y albañilería informal. ....	41
Figura 56. Viviendas típicas del Sector 20. ....	41
Figura 57. Viviendas de madera y muros de contención en piedra. ....	42
Figura 58. Viviendas típicas del Sector 21. ....	42
Figura 59. Viviendas en albañilería informal en laderas. ....	43
Figura 60. Viviendas típicas del Sector 22. ....	43
Figura 61. Zona industrial y comercial del sector. ....	43
Figura 62. Viviendas típicas del Sector 24. ....	44
Figura 63. Viviendas de albañilería informal. ....	44
Figura 64. Viviendas típicas del Sector 25. ....	45
Figura 65. Viviendas de albañilería informal y adobe. ....	45
Figura 66. Viviendas típicas del Sector 27. ....	46
Figura 67. Viviendas de albañilería informal. ....	46
Figura 68. Viviendas típicas del Sector 28. ....	47
Figura 69. Urbanizaciones nuevas del sector y lotes baldíos. ....	47
Figura 70. Viviendas típicas del Sector 29. ....	48
Figura 71. Edificios multifamiliares. ....	48
Figura 72. Mapa de Niveles de Vulnerabilidad del Distrito de Carabaylo. ....	49
Figura 73. I.E.I. N°359. ....	50
Figura 74. I.E. Tungasuca. ....	50
Figura 75. I.E. N°3079 Nuestra Señora de Las Mercedes. ....	50
Figura 76. Colegio Monserrat. ....	51
Figura 77. Academia Preuniversitaria A. Ingenio. ....	51
Figura 78. I.E.P. Jesús Niño. ....	52
Figura 79. Colegio Gauss. ....	52
Figura 80. I.E.P. Montecarlo. ....	52
Figura 81. Colegio San Ignacio de Carabaylo. ....	53
Figura 82. I.E.P. Santa María Reyna. ....	53
Figura 83. Colegio Pamer. ....	54
Figura 84. I.E.P. Científica del Norte. ....	54
Figura 85. Puesto de Salud Los Geranios – MINSA. ....	55
Figura 86. Clínicas Médicas Peruanas. ....	55
Figura 87. Iglesia Salón del Reino de los Testigos de Jehova. ....	55
Figura 88. Mercado. ....	56
Figura 89. Colegios privados y estatales. ....	56
Figura 90. Comisaría y estación de bomberos CGBVP N° 164. ....	57
Figura 91. Tanque de Agua. ....	57
Figura 92. Colegios privados (nido) y estatales. ....	58
Figura 93. Colegio privado e Instituto Superior Técnico. ....	58
Figura 94. Colegios estatales: infraestructura clásica aporticada de dos niveles. ....	58
Figura 95. Colegios privados: de educación inicial y secundaria. ....	59
Figura 96. I.E.P. San Pedro Primaria. ....	59
Figura 97. I.E.P. San Pablo Peregrino. ....	60



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

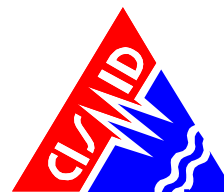


Figura 98. I.E.P. Divino Niño Jesús.....	60
Figura 99. Colegio La Unión Inicial.....	60
Figura 100. I.E.P. Sagrado Corazón de Jesús.....	61
Figura 101. I.E. N°8182 Juan Valer Sandoval.....	61
Figura 102. I.E.I. N°894.....	62
Figura 103. I.E.I. N°893.....	62
Figura 104. I.E. N°3507 Caudivilla.....	62
Figura 105. Colegio Sir Isaac Newton.....	63
Figura 106. Municipalidad de Carabayllo.....	63
Figura 107. Mercado Mayorista Tres Regiones.....	64
Figura 108. Parque Zonal Manco Cápac.....	64
Figura 109. Colegio Iniciativa.....	64
Figura 110. Colegio La Católica.....	65
Figura 111. I.E.P. ICM.....	65
Figura 112. I.E.P. Stephen Hawking.....	66
Figura 113. I.E.P. Virgen de la Puerta.....	66
Figura 114. I.E.I. Niño Jesús del Gran Poder.....	67
Figura 115. Institución Educativa los Ángeles de Naranjal e Institución Educativa La Flor.....	67
Figura 116. Centro de Salud La Flor.....	68
Figura 117. Institución Educativa Privada Mi Jesús del Progreso y IEI José Saco Rojas.....	68
Figura 118. Institución Educativa John Dalton.....	68
Figura 119. Instituciones educativas de albañilería.....	69
Figura 120. Institución Educativa Andrés Bello e Institución Educativa Villa Esperanza.....	69
Figura 121. Institución Educativa Virgen de la Victoria.....	70
Figura 122. Puesto de Salud del Ministerio de Salud Villa Esperanza.....	70
Figura 123. Reservorio en el sector 10.....	70
Figura 124. Institución Educativa Privada Mi Jesús del Progreso y IEI José Saco Rojas.....	71
Figura 125. Institución Educativa Jorge Lingan e Institución Educativa de menores Ciro Alegría.....	71
Figura 126. Puesto de Salud Jorge Lingan.....	71
Figura 127. I.E. 2025.....	72
Figura 128. I.E. Industrial Santiago Antunez de Mayolo.....	72
Figura 129. I.E.P. Happy Garden.....	73
Figura 130. I.E.P. Albert Einstein.....	73
Figura 131. C.E.E. El Progreso.....	73
Figura 132. Institución Educativa.....	74
Figura 133. I.E. N°8190 Sol Naciente.....	74
Figura 134. I.E. N°2051 El Progreso.....	75
Figura 135. Puesto de Salud Su Majestad Hiroito – MINSA.....	75
Figura 136. I.E.P. Makarenko.....	75
Figura 137. I.E.P. Jesús Educador.....	76
Figura 138. Colegio Mariscal A. Cáceres.....	76
Figura 139. I.E.P. San Antonio de Carabayllo.....	77
Figura 140. I.E.I. Progreso 1.....	77
Figura 141. I.E. N°3057 El Progreso.....	77
Figura 142. Centro de Salud El Progreso – MINSA.....	78
Figura 143. Iglesia.....	78
Figura 144. Iglesia.....	79
Figura 145. I.E.I. Santa Rosa de Ponte.....	79
Figura 146. Colegio Skinner.....	79



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Figura 147. Pronoei Inmaculada Concepción.....	80
Figura 148. Colegio Maeztu. ....	80
Figura 149. I.E.P. Mi Pequeño Mundo. ....	81
Figura 150. Colegio Leonard Euler School.....	81
Figura 151. Ludo Bebeteca Fantasía Infantil – Ministerio de Educación.....	81
Figura 152. I.E.P. Neumann School.....	82
Figura 153. Pronoei Vista Alegre.....	82
Figura 154. I.E.P.C. Montecarlo. ....	83
Figura 155. I.E.P. Hijos del Sol.....	83
Figura 156. Centro de Emergencia Mujer (CEM). ....	83
Figura 157. I.E.P. Manuel Scorza Torres. ....	84
Figura 158. I.E.P. Santo Domingo El Maestro.....	84
Figura 159. I.E. Manuel Scorza.....	85
Figura 160. I.E.N°5174 Juan Pablo II.....	85
Figura 161. Red de Energía del Perú.....	86
Figura 162. I.E.N°3074 Pedro Ruiz Gallo.....	86
Figura 163. Colegio Matemático San Rafael.....	87
Figura 164. I.E.N°2050 República de Argentina. ....	87
Figura 165. Proceso de generación del mapa de riesgo. ....	89
Figura 166. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas. ....	89
Figura 167. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW).....	90
Figura 168. Ubicación de manzanas a intervenir. ....	93
Figura 169. Detalle de inclusión de columnas de reforzamiento en muro sin confinamiento existente.....	94
Figura 170. Detalle de refuerzo sobre las caras del muro.....	95
Figura 171. Reforzamiento con bandas de refuerzo. ....	95
Figura 172: Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera.....	96
Figura 173: Detalle de reforzamiento de zapata para columna.....	96
Figura 174. Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación.....	97
Figura 175. Detalle de la cimentación de la placa visto en planta.....	98
Figura 176. Esquema de la planta de tratamiento de la Atarjea.....	100
Figura 177. Extracción de testigos de concreto endurecido. Obsérvese la corrosión en el muro. ....	101
Figura 178. Corrosión del refuerzo en los muros de los decantadores. ....	101
Figura 179. Vista de un decantador. ....	101
Figura 180. Fisuras en canal de salida del decantador.....	101
Figura 181. Idealización matemática del decantador. ....	102
Figura 182. Roturas por Km en tubos CIP y PVC. ....	105
Figura 183. Roturas por Km. En tubos de acero dúctil.....	105
Figura 184. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC. ....	106
Figura 185. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil.....	106
Figura 186. Distribución de las redes de agua. ....	108
Figura 187. Roturas por criterio de Yamazaki (2008).....	109
Figura 188. Roturas por criterio de Isoyama (2000).....	110

## Índice de Tablas

Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos.....	16
Tabla 2. Resultados del daño en el distrito de Carabaylo para un escenario de sismo severo.....	90
Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales.....	91
Tabla 4. Composición por material de la muestra estudiada.....	91



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

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



---

Tabla 5. Composición de la muestra por nivel de daño esperado.....	92
Tabla 6. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de Carabaylo....	104
Tabla 7. Tipo de tuberías de agua en el distrito de Carabaylo. ....	107
Tabla 8: Respuesta de las tuberías frente a un evento sísmico severo en el Distrito de Carabaylo .....	108





## Producto 02 – Distrito de Carabaylo - Tomo III: Estimación del Riesgo

### 1. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

#### 1.1. Mapas de Zonas de Isoperiodos

El mapa III-1 del presente Tomo III muestra el mapa de isoperiodos para el distrito de Carabaylo, el cual presenta dos zonas que se detallan a continuación;

La zona I de color verde oscuro abarca todas las laderas de los cerros, así como también gran parte del distrito de Carabaylo, y de acuerdo a los resultados de exploración geotécnica en la parte sur predominan superficialmente los suelos finos y arenas limosas y debajo de estos se observa la presencia de suelos gravosos pobremente gradados. Los períodos de vibración de esta zona varían entre 0.1 y 0.2 s. De los cuales los periodos más bajos se ubican en las laderas de los cerros, lo cual se asocia a un depósito de suelo de poco espesor que subyace a material rocoso; mientras que gran parte del distrito corresponde a un depósito de suelo gravoso pobremente gradado.

La zona II mostrada en color verde medio abarca la parte oeste de distrito de Carabaylo el cual limita con el distrito de Puente Piedra. En esta zona, los periodos de vibración varían entre 0.2 y 0.3 s, y corresponden a un depósito de suelo medianamente rígido, con capas poco profundas de arenas de compacidad semi compacta.

#### 1.2. Mapa de Microzonificación Sísmica

Para determinar el comportamiento de un suelo ante la ocurrencia de un sismo, se tienen que tomar en cuenta las características mecánicas y dinámicas que presentan los diferentes materiales del terreno. Estas características han sido determinadas para el distrito de Carabaylo y representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica (Mapa II-3, Tomo II) y de Isoperiodos (Mapa III-1 del presente Tomo III) respectivamente. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo identificar dos zonas en el Mapa de Microzonificación Sísmica (Mapa III-2 del presente Tomo III). A continuación se describen estas zonas:

##### Zona I

Esta zona incluye a las formaciones rocosas, que se encuentran en los cerros, y a los depósitos de gravas, que se registran en gran parte del distrito Carabaylo. Los tipos de materiales descritos en esta zona presentan las mejores características geotécnicas para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, varía entre 2.0 y 4.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la grava a una profundidad mínima de 0.8 m; y mayor a 5.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana a una profundidad mínima de 0.4 m. Se



considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtemores del suelo en esta zona predominan en el intervalo de 0.10 s a 0.15 s

## Zona II

Esta zona se encuentra en el sector este del distrito, incluye, predominantemente, a los depósitos de arenas de compacidad media a densa, de espesores mayores a 2.5 m y a los depósitos de limos y arcillas de consistencia media, de espesores mayores a 2.5 m. Por debajo de estos materiales se encuentran los depósitos de gravas. Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y a una profundidad mínima de 0.80 m, varía entre 1.0 y 3.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre la arena; y entre 0.7 y 1.0 kg/cm<sup>2</sup>, si se desplanta sobre los limos o las arcillas. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtemores del suelo en esta zona predominan en el intervalo de 0.15 s a 0.26 s

### 1.3. Mapas de Zonas de Aceleraciones

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativamente estimando el valor de aceleración horizontal máximo esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico para el distrito de Carabaylo (ver ítem 6.5, Tomo II) que corresponde para un suelo "Tipo C" (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 0.425 g; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica III-3 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente por la aceleración máxima PGA de 0.425g de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración Máxima
I	1.0	417 cm/s <sup>2</sup>
II	1.2	501 cm/s <sup>2</sup>

Los valores obtenidos para cada zona son mostrados en el mapa III-3 del presente Tomo III

### 1.4. Zonas de Velocidades

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



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

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

Donde la velocidad máxima esperada del suelo ( $V_{max}$ ) se expresa en función de la aceleración máxima esperada del suelo ( $A_{max}$ ) y del periodo de oscilación del suelo ( $T_s$ ) para sismos de tipo subducción. Entonces para determinar el mapa de velocidades máximas del suelo para el distrito de Carabayllo, se deberá utilizar como datos de entrada la aceleración máxima del suelo y el periodo de oscilación del suelo estimados anteriormente y representados en el mapa III-3 y el mapa III-1 del presente informe, respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de Carabayllo se muestran en el mapa III-4 del presente Tomo III.

## 2. MAPAS DE VULNERABILIDAD

### 2.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral

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

Para el desarrollo de las actividades de toma de datos de campo, se inició el trabajo con la selección de los ingenieros coordinadores, responsabilidad que recayó en el Ing. Patricia Gibu, Ing. Francisco Ríos, Dr. Miguel Estrada y el Dr. Carlos Zavala. Se organizaron 8 grupos de trabajo seleccionándose tres personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo, contado con un total de 24 personas para el levantamiento de la información. El personal seleccionado fue formado por un grupo de jóvenes Ingenieros, Estudiantes de Post grado, Bachilleres y Estudiantes del último año de ingeniería que laboran como asistentes de investigación o realizan su tesis de antegrado o post grado en nuestro Centro. Este personal recibió un entrenamiento basado en el procedimiento de evaluación. Este procedimiento ha sido diseñado para nuestra realidad a fin que sea utilizado en los sistemas constructivos predominantes en la zona de estudio.

#### a) Metodología de toma de datos

Este procedimiento se basa en la toma de información rápida en edificaciones de adobe, albañilería, quincha y concreto. La metodología consiste en una inspección visual rápida de las edificaciones identificando las debilidades aparentes en las edificaciones de una manzana. De acuerdo al porcentaje de lotes visualmente evaluados, se determina el lote representativo de la manzana el estado de conservación del sistema representativo.

#### b) Plantilla para la encuesta

Para tal efecto se utiliza una ficha de evaluación de daños utilizada por nuestra Institución en la evaluación rápida de estructuras, la cual se presenta en la Figura 2

La Ficha está dividida en cinco áreas:



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

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



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

Esta información es complementada con la toma de una fotografía del lote representativo de la manzana, donde se pueda identificar a la estructura. Asimismo debido a la prohibición dada por algunos vecinos no se tomaron fotos en aquellas zonas con alta seguridad, se utilizará la imagen satelital para mostrar en el sistema de información la ubicación y estado de la estructura.

CONVENIO CISMID/FIC/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE COMAS					
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)	Vivienda (V)	S	Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo		(B) Bueno
Mampostería (M)	Vivienda y Comercio (Y)	M	Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Rígidos		(R) Regular
Concreto (C)	Comercio (C)	N	Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Flexibles		(M) Malo
Quincha (Q)	Multi-familiar (M)	L	Construcción Informal en Albañilería		
Acero (S)	Policia o Bomberos (B)	A	Adobe y Quincha		
Madera (W)	Educativo (E)	C	Pórticos de Concreto		
Otro (O)	Hospital (H)	W	Estructura de Concreto Armado con Placas		
	Industrial (I)	I	Pórticos de Concreto con Vanos Rigidizados con Mampostería		
	Baldio (B)	L	Estructura Celular de Concreto		
	Otros (O)	F	Pórtico de Acero Resistentes a Momento		
		B	Pórtico de Acero Arriostrados con Diagonales		
		U	Estructura de Perfiles Livianos		
		W	Entramados de Madera		
		T	Estructuras Industriales / Comerciales		
*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)		
1AVSR			1PISOS + ADOBE + USO VIVIENDA + MAMPOSTERIA DE ARCILLA SIN REFUERZO + REGULAR		
Foto 1 - Numero	Foto 5 - Numero				Foto 2 - Numero
	Adjuntar foto representativa				
	2MCM/B	1AVSR			
Foto 3 - Numero	2BVS/R	3MCM/B			Foto 4 - Numero
		1AVSR			

Figura 1. Formato de Ayuda para Codificación del Lote.

CONVENIO CISMID/FIC/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCION Y SANEAMIENTO ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL DISTRITO DE COMAS					
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)	Vivienda (V)	S	Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo		(B) Bueno
Mampostería (M)	Vivienda y Comercio (Y)	M	Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Rígidos		(R) Regular
Concreto (C)	Comercio (C)	N	Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Flexibles		(M) Malo
Quincha (Q)	Multi-familiar (M)	L	Construcción Informal en Albañilería		
Acero (S)	Policia o Bomberos (B)	A	Adobe y Quincha		
Madera (W)	Educativo (E)	C	Pórticos de Concreto		
Otro (O)	Hospital (H)	W	Estructura de Concreto Armado con Placas		
	Industrial (I)	I	Pórticos de Concreto con Vanos Rigidizados con Mampostería		
	Baldio (B)	L	Estructura Celular de Concreto		
	Otros (O)	F	Pórtico de Acero Resistentes a Momento		
		B	Pórtico de Acero Arriostrados con Diagonales		
		U	Estructura de Perfiles Livianos		
		W	Entramados de Madera		
		T	Estructuras Industriales / Comerciales		
*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)		
1AVSR			1PISOS + ADOBE + USO VIVIENDA + MAMPOSTERIA DE ARCILLA SIN REFUERZO + REGULAR		
Foto 1 - Numero	Foto 5 - Numero				Foto 2 - Numero
	Adjuntar foto representativa				
	2MCM/B	1AVSR			
Foto 3 - Numero	2BVS/R	3MCM/B			Foto 4 - Numero
		1AVSR			

Figura 2. Formato para vivienda representativa de la manzana.

**2.1.2. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo**

- Preparación de planos para la toma de datos: Basado en la información de planos georeferenciados del INEI del último censo de vivienda del año 2007 y aquellos proporcionados por la Municipalidad de Carabayllo, se imprimieron los planos para la elaboración de los trabajos de campo en las zonas de estudio. A partir de la información suministrada el distrito se dividió en 29 sectores, tal como se muestra en el Mapa No. E-01.
- Para tener una mejor referencia de las zonas a las cuales se va a levantar la información y disponer los equipos para este fin, se elaboró una imagen satelital de alta resolución a través de la información encontrada en Google Maps.
- Distribución de coordinadores responsables de los equipos de evaluadores: Con los ocho equipos de tres evaluadores cada uno se realizaron salidas periódicas de campo por un espacio de cuatro semanas, trabajándose inclusive días no laborales y feriados. Los coordinadores de grupo, sectorizaron el distrito, para que cada grupo de tres personas trabajase en zonas involucradas reportando la información levantada a los coordinadores, quienes con sus asistentes, transfirieron la información generada en las fichas a una base de datos utilizando una hoja de cálculo con campos similares al de la ficha. Esta información fue introducida a un sistema de información geográfica (SIG) para su georeferenciación espacial.

La sectorización del distrito se muestra en la Figura 3, que se adjunta a continuación, en donde son identificados los 29 sectores en que se dividió el distrito de Carabayllo.

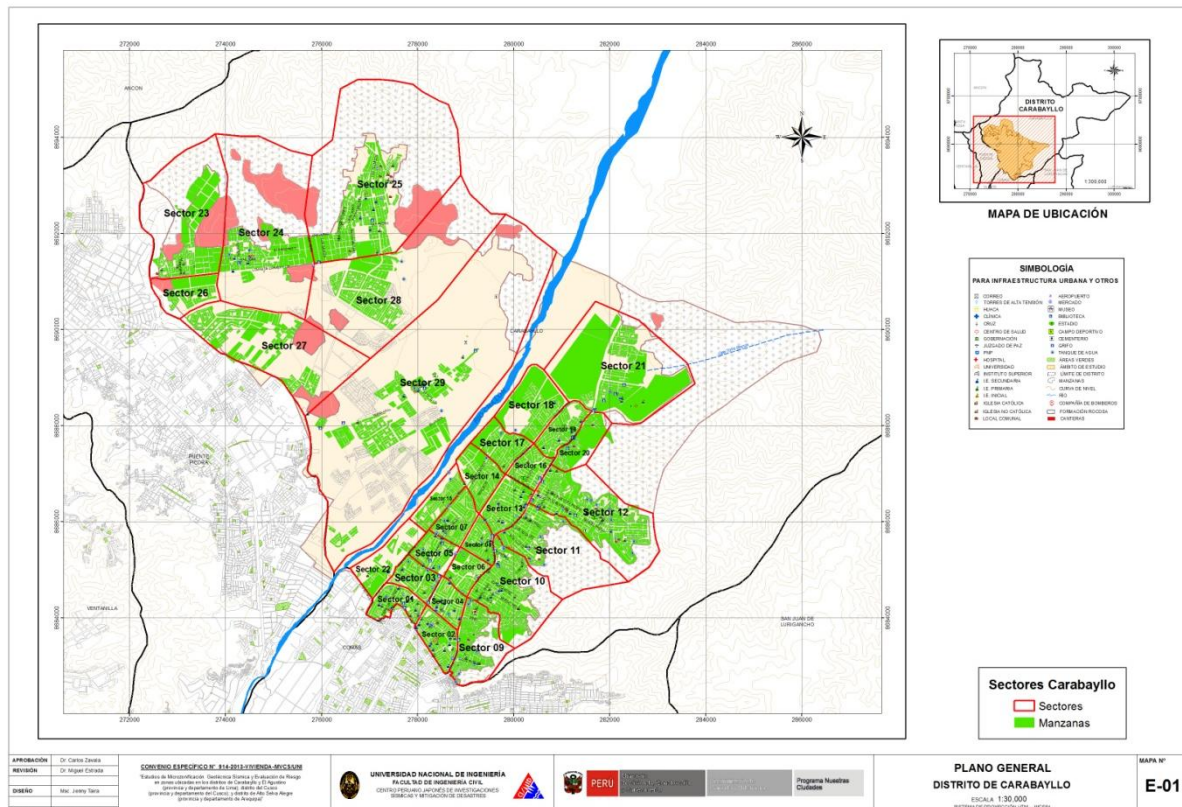


Figura 3. Sectores del distrito de Carabayllo.

**2.1.3. 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 vertida en una base de datos en formato SHAPE, la cual fue procesada por el programa ArcGIS. La digitalización fue desarrollada por cuatro asistentes y un supervisor, quienes procesaron la información de campo.
- b) Clasificación de datos  
Se clasificó la base de datos según las características físicas de los predios levantados como: material predominante, número de pisos, uso y estado de conservación.
- c) Verificación de los datos recogidos  
Se llevaron a cabo dos niveles de control de calidad:
  - c1 - Un control de calidad en campo:  
Donde los coordinadores realizaron visitas de campo para verificar la información recolectada por los diferentes equipos tomándose al azar manzanas y lotes que fueron verificadas en el campo. Se realizó el control de calidad durante la campaña de levantamiento de datos por 4 profesionales.
  - c2 – Un control de calidad en gabinete:  
El método de verificación usado fue mediante la comparación de los formatos llenados en campo con las fotografías digitales tomadas en el lugar, la verificación se hace comparando la foto con los atributos de los lotes, por ejemplo observando el número de pisos en la foto y comparándolo con el valor almacenado en la base de datos.

#### **2.1.4. Georreferenciación y Compatibilización de Planos**

- a) Definición del sistema de georreferenciación  
Según normatividad actual, todos los planos producidos deben estar georreferenciados usando la proyección del sistema de coordenadas planas UTM, teniendo como base el DATUM WGS84.
- b) Compatibilización de planos provenientes de diferentes fuentes sobre la misma base cartográfica  
Los planos que estuvieron en otro sistema de coordenadas fueron convertidos al sistema en mención mediante los parámetros por defecto que otorga el programa ArcGIS.

#### **2.1.5. Sistematización de la Información**

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

La evaluación de las edificaciones, si bien es cierto que se identificó una evaluación genérica a nivel de lote, la presentación de los resultados se basa en la identificación del lote representativo de la manzana. Para realizar la evaluación y trabajo de campo se seleccionó una muestra estadística distribuida espacialmente entre todas las manzanas del distrito. Para la selección de manzanas se definió que por lo menos el 14% del total de manzanas debe ser evaluado.

#### **2.1.6. Ubicación de las manzanas a evaluar**



# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

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



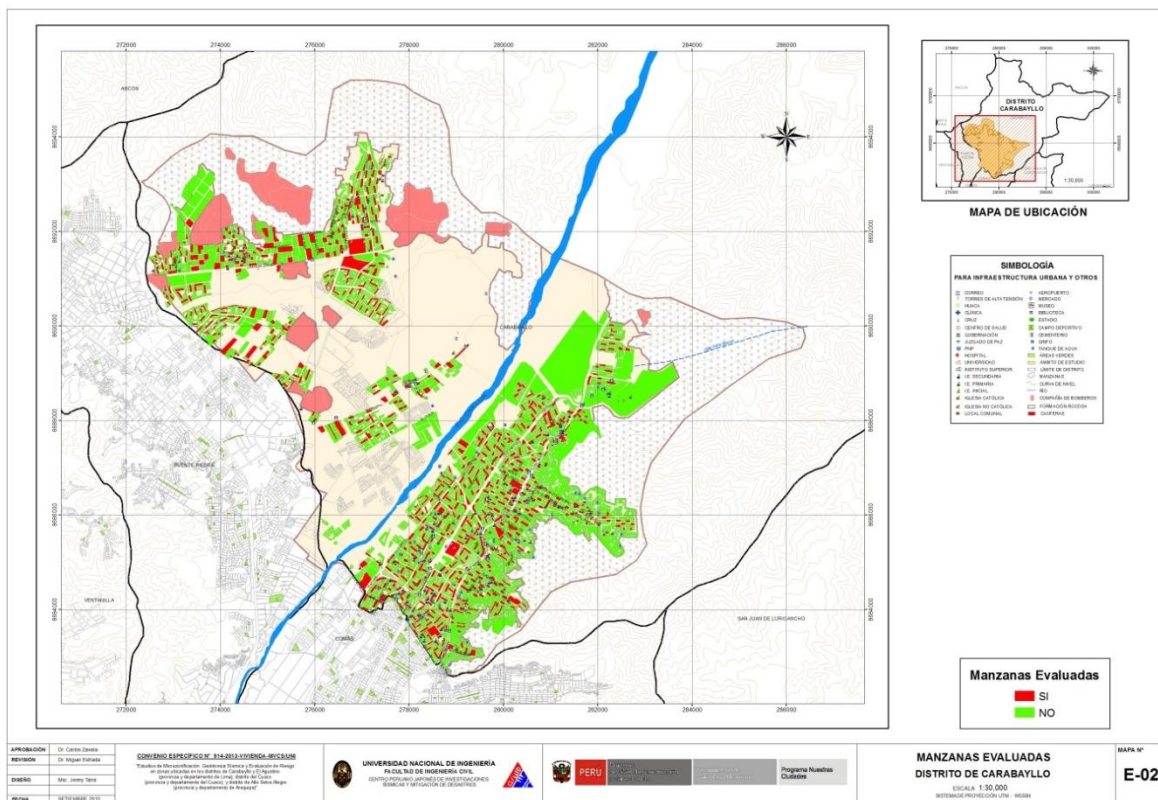
Para la selección de la ubicación de las manzanas a evaluar se utilizó una función estadística de distribución continua. La distribución que se utilizó fue la distribución uniforme. En estadística la distribución uniforme es una distribución de probabilidad cuyos valores tienen la misma probabilidad.

Se define la función de probabilidad uniforme como:

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

Donde:  $a$  y  $b$  son los límites geográficos para el distrito de Carabayllo y  $x$  toma los valores para las coordenadas Norte y Este. Esta función tiene como característica que su media es  $(a + b)/2$ .

Es decir, si bien la ubicación de la distribución sigue un valor aleatorio tanto para las coordenadas Norte como Este, en un sistema de referencia UTM, esta ubicación tiene límites de borde, los cuales son los límites del distrito que son respetados al momento de generar las coordenadas de las selección de las manzanas. Es así que se generaron número aleatorios que siguen una distribución uniforme. En la Figura 4 se presenta el total de las 4317 manzanas del área estudiada del distrito, en color rojo las evaluadas y en color verde las no evaluadas. Se presentan las 751 manzanas evaluadas en color rojo y las no evaluadas en color verde. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 17%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle las manzanas que fueron evaluadas.



**Figura 4. Manzanas totales (4317) versus manzanas seleccionadas (751).**

En el presente trabajo se optó por considerar un nivel de confianza del 97% bajo el supuesto que exista un error del orden del 3% en la desviación estándar, dando como resultado que el tamaño de la muestra es del 17% de población total de las manzanas. Esto produce un tamaño muestral calculado en función del tamaño de la población (N), el error en la desviación estándar ( $\alpha$ ) y el número de unidades de desviación estándar para alcanzar el nivel de confianza deseado (z).

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

Esto produce un tamaño muestral mínimo de 432 manzanas. En el presente estudio se mejoró este valor al considerar una muestra de 751 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.

## 2.2. Base de datos geo-espacial

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

En cada manzana seleccionada se levantó los datos de todos los lotes que se encuentran en esa manzana, indicándose las características de la edificación así como el código de la manzana. De todos estos lotes se seleccionó uno representativo el cual es llevado a una base de datos separada para luego ser incorporada a la plataforma SIG. En la 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 5 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

CONVENIO CISMID/FIC/UNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO - BID ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO EN EL DISTRITO DE CARABAYLLO														
Levantamiento de Información - CARABAYLLO														
Num	Num_Mza	CodMza	LoteRepre	Cond. De Cimentación		Techo	Fisuras			Muros				
				CimentA	CimentH		FisuraCol	FisuraVig	FisuraMur	FabricaAlb	TipoAlb	Confina	Tarrajeo	
1	S01_1	765	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
2	S01_2	803	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
3	S01_3	849	01MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
4	S01_4	804	01MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
5	S01_5	773	01MCMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
6	S01_6	786	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
7	S01_7	863	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
8	S01_8	703	03CECR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
9	S01_9	619	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50
10	S01_10	517	02MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	SI	SI	.\Fotos\Fotos_50

**Figura 5.** Base de datos de los lotes representativos por manzana.

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

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





# UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES  
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



La Tabla 1 presenta la base de datos descriptiva. En esta tabla se muestran todos los campos ordenados alfabéticamente. Esta base de datos contiene la integración de todos los datos, es decir de los datos levantados en campo así como los valores obtenidos del procesamiento de la información, para finalizar con el valor del costo de reparación, que es explicado más adelante.

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

Nombre del Campo	Descripción
AcelMax	Aceleración máxima del terreno en cm/s <sup>2</sup>
Avg_GRID_C	Promedio del porcentaje del costo de reapración
CimentA	Asentamiento en la cimentación
CimentH	Humedad en la cimentación
Codaza	Código de la manzana
Confin	Confinamiento en muros
CostRep3	Porcentaje del costo de reparación calculado
Esen_Dano	Uso de suelo y nivel de daño
Estado	Estado de la edificación
FabricaAlb	Tipo de unidad de albañilería
FID	Identificador de elemento
FisuraCol	Fisuras en las columnas
FisuraMur	Fisuras en muros
FisuraVig	Fisuras en vigas
FotoEsq1	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq2	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq3	Foto de una esquina de la manzana
FotoEsq4	Foto de una esquina de la manzana
FotoRepres	Foto del lote representativo
LoteRepre	Característica del lote representativo
Material	Tipo de material construcción
MatNivDan	Tipo de material y nivel de daño
Max_GRID_C	Valor máximo del porcentaje del costo de reparación interpolado
Min_GRID_C	Valor mínimo del porcentaje del costo de reparación interpolado
Num	Número de manzana interpolada
NumMza	Número de sector y manzana
Pisos	Número de pisos promedio en la manzana
Rango_Dano	Nivel de daño final
SD_GRID_CO	Desviación estándar de los valores del porcentaje de reparación interpolados
Shape	Tipo de entidad geométrica
Sist_Est	Sistema estructural
Tarrajeo	Existencia de tartajeo
Techo	Tipo de techo
TipoAlb	Tipo de unidad de albañilería
Uso	Tipo de uso
Verifica	Se evalúa

La Figura 6 muestra el detalle de los datos de una manzana evaluada. Como se puede apreciar en esta base de datos geo-espacial se ha integrado una imagen de satélite, obtenida desde Google Earth, la

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

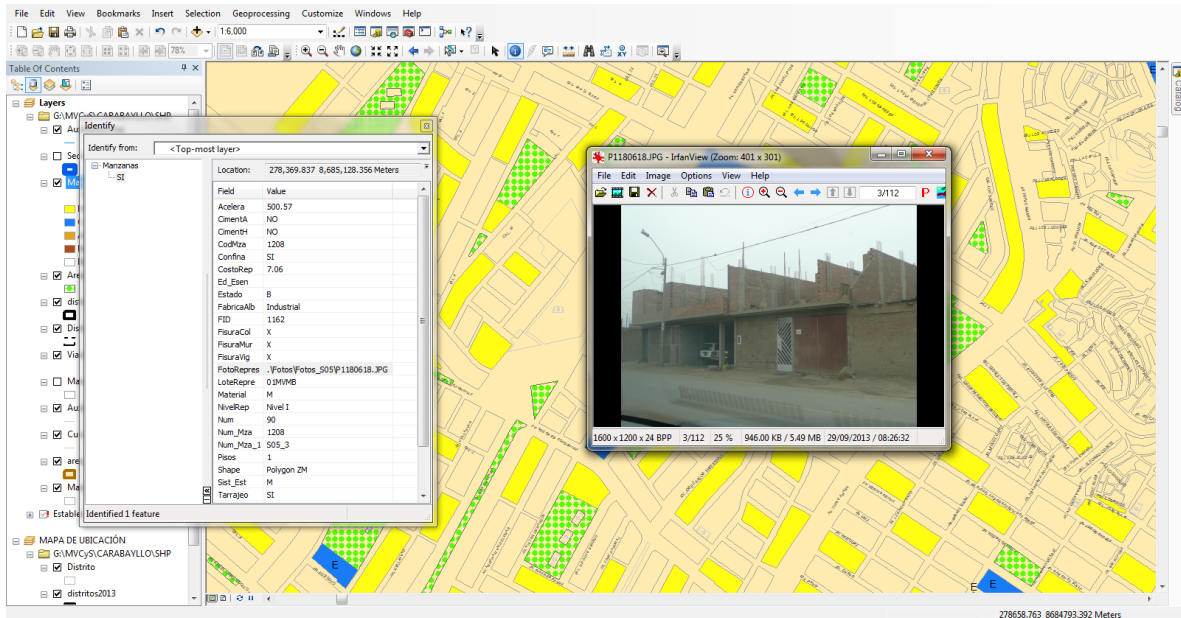


Figura 6. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento.

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

### 2.2.1. Mapa de Uso de Suelo

En el mapa E05 se presenta las manzanas evaluadas y clasificadas de acuerdo al uso del suelo de las edificaciones. En la Figura 7 se presenta el análisis estadístico de la muestra en lo referente al uso del suelo o uso de la edificación de la muestra estudiada. Puede leerse que es predominante el uso en viviendas que ocupan un 87% de la muestra, seguido de viviendas comercio que representan el 7% de la muestra, los colegios que representan un 3% y el comercio representa el 2% de las edificaciones en el área estudiada.

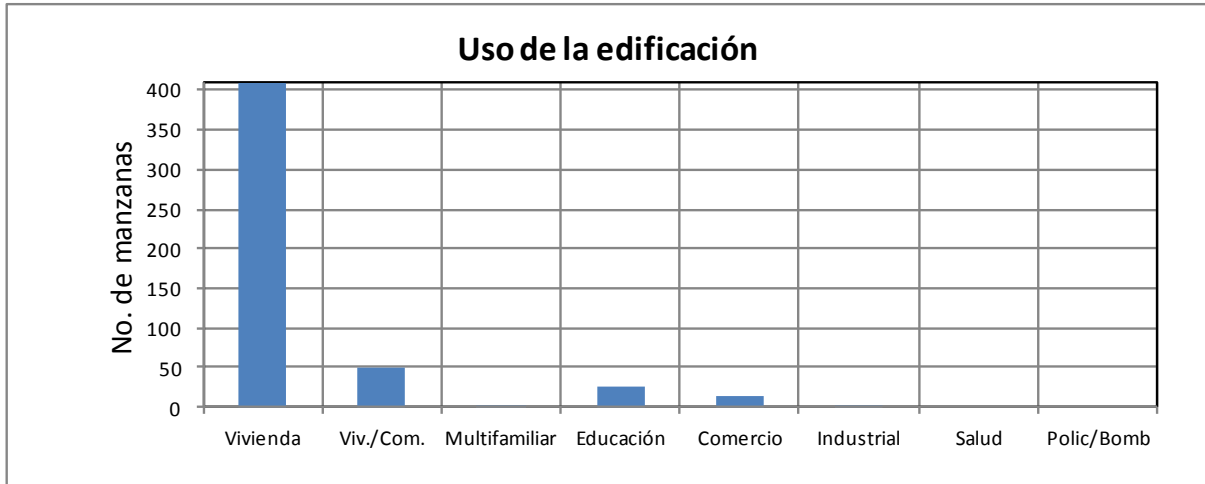


Figura 7. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de Carabaylo.

### 2.2.2. Mapa de Materiales Predominantes

En el mapa No. E04, referente a los materiales existentes en las edificaciones del distrito de Carabaylo, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 8, donde es notorio que el material predominante es la mampostería de ladrillo que representa el 92% de la muestra. Debe destacarse que existen edificaciones de concreto que representan un 4% de la muestra, así como viviendas de adobe que representan el 2% de las edificaciones muestreadas y viviendas de madera que representan el 3% de la muestra.

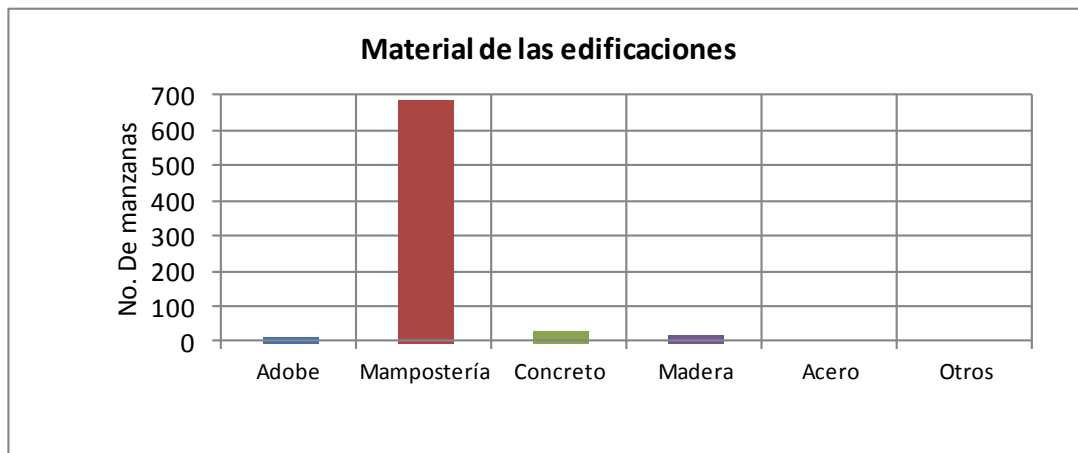
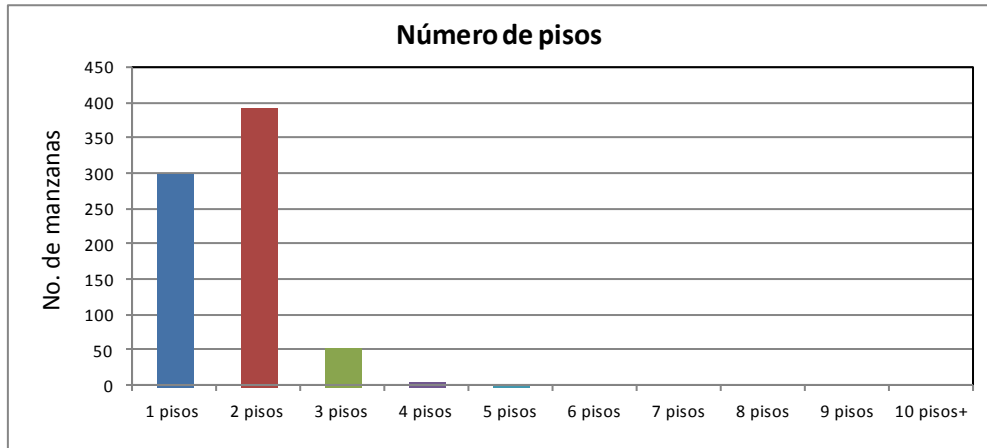


Figura 8. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de Carabaylo.

### 2.2.3. Mapa de Alturas de Edificación

En el mapa E03 se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el número de pisos de las edificaciones representativas de las manzanas. Esta distribución de alturas se resume en la Figura 9, donde se puede apreciar que en el Distrito de Carabaylo, predominan las edificaciones de 2 pisos que corresponde al 52% del total de las edificaciones evaluadas y es la tendencia general en el distrito. En segundo lugar de repetición de niveles de altura son las edificaciones de un piso y que corresponde al 40% del total de las edificaciones evaluadas. Este distrito también cuenta con edificaciones de 3 y cuatro pisos, pero en

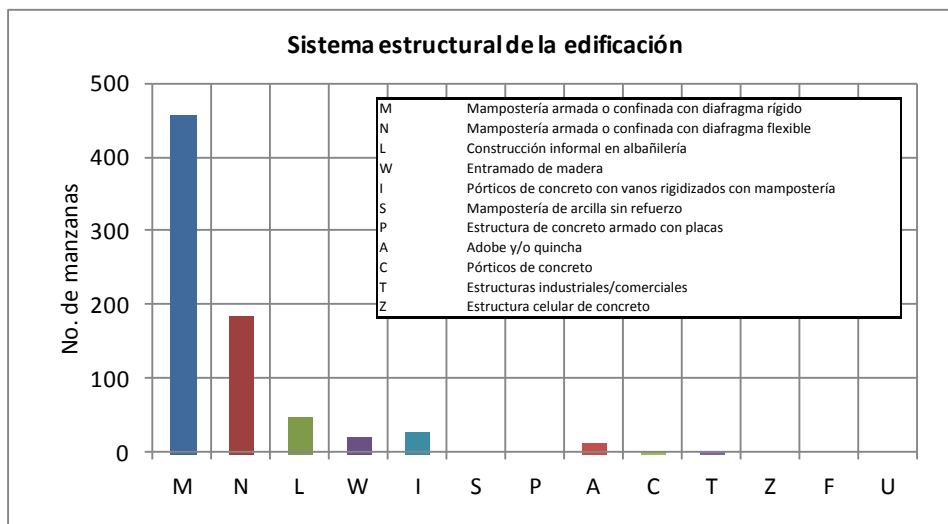
un porcentaje mucho menor, equivalente al 7% y 1% respectivamente del total de las edificaciones evaluadas. Este número relativamente bajo de altura de edificaciones se debe a que el Distrito de Carabayllo, es un distrito que está en pleno desarrollo y por lo tanto aún no se encuentran edificaciones de gran altura relativa.



**Figura 9.** Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de Carabayllo.

#### 2.2.4. Mapa de Tipologías Estructurales

En el mapa E06 se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La Figura 10 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que arroja la estadística de la muestra usada en el distrito de Carabayllo. 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 7% de la muestra está representado por la albañilería de construcción informal. Las estructuras de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados por muros de albañilería representan un 4% de la muestra estudiada.



**Figura 10.** Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de Carabayllo.



### 2.2.5. Mapa de Estado de Conservación

El mapa temático E07 presenta el estado de conservación de las viviendas del distrito de Carabaylo. La Figura 11 presenta los resultados estadísticos de la muestra analizada. El 43.7% de las edificaciones se encuentra en buen estado de conservación, mientras que el 44.2% de la muestra presenta un estado regular de conservación, en contra de un 12.1% que presenta un mal estado de conservación.

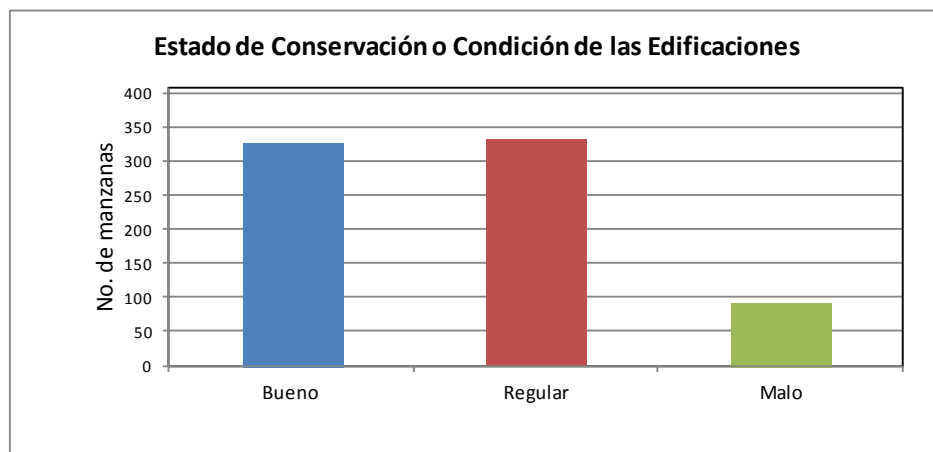


Figura 11 - Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de Carabaylo.

### 2.2.6. Mapa de Vulnerabilidad

#### Conceptos Generales

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

#### Formas de Evaluación

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

#### Método Determinístico

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

#### Método por Criterio

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



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

Considerando la muestra de manzanas y lotes representativos se implementó una base de datos con la finalidad de determinar mediante el uso del método de estimación rápida de la respuesta sísmica de edificaciones [3] y [4], basado en la metodología propuesta por Miranda [2] para la estimación rápida de desplazamientos máximos y distorsiones de entrepiso, que ha sido adaptado en el CISMID para estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones 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 Anexo adjunto a este informe y el catálogo de tipologías de edificaciones representativas del distrito. Con este propósito se consideran variables claves como aceleración de demanda sísmica, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros datos recabados en el levantamiento de campo lote a lote en la ciudad. Seguidamente se utiliza la metodología de índices  $\beta_i$ , que considera que la respuesta sísmica de una estructura se encuentra en base al producto de los índices  $\beta_i$  por el desplazamiento espectral ( $S_d$ ) para el periodo predominante de la estructura entre la altura del edificio ( $H$ ), dando una aproximación de la distorsión del entrepiso:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

El periodo que sirve de base en el diagnóstico, es dependiente de la tipología estructural y del número de pisos, que produce una diagnosis del desplazamiento y distorsiones de cada piso. De esta manera se estiman las distorsiones de entrepiso que diagnostican el estado de la edificación basado en los límites de distorsión máxima de la norma de diseño sismorresistente NTE-030-RNE y ajustada en base la base de datos de experimentación



muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 23 años de experiencia de laboratorio.

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

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

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

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

- Edificaciones de adobe antiguas debilitadas por la humedad, erosión, o sismos anteriores; y ubicados sobre suelos flexibles.
- Edificaciones de ladrillo sin refuerzo ni confinamiento, con poca densidad de muros; ubicados sobre suelos blandos.
- Muros altos de ladrillo o adobe, de poco espesor y sin ningún arriostre.
- Edificaciones construidas con materiales inestables y provisionales, sin ningún tipo de arriostamiento o 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.

### Evaluación y análisis estadístico de las edificaciones evaluadas

- a) **Lotes:** Se evaluaron la totalidad de los lotes representativos de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 92% de los lotes.
- b) **Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 92% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de 1 piso (38%), 2 pisos (55%) y 3 pisos (7%). 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 93% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes, de este grupo de edificaciones aproximadamente el 30% presentan elementos de refuerzo vertical.
- c) **Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes representativos inspeccionados, el 61% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 25%, 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 43.7% es aceptable y bueno. Un 44.2% de las viviendas muestran un estado de conservación regular y otro 12.1% 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.

### RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PRINCIPALES SECTORES

#### SECTOR 01

El Sector 01 se encuentra ubicado entre las avenidas Universitaria, Chimu Oclo, Héroes del Alto Cenepa y San Felipe. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de uno, tres y cuatro pisos como se muestra en la Figura 12. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo aligerado.



Figura 12. Viviendas típicas del Sector 01.

En la avenida Condorcanqui se encuentra una zona comercial como se muestra en la Figura 13. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.





Figura 13. Zona comercial del Sector 02.

## SECTOR 2

El Sector 2 está ubicado en la parte Sur del distrito, entre las Av. Universitaria y Av. Túpac Amaru y entre San Pedro y la Av. Chimu Oclo. En este sector se evaluaron 31 manzanas. Las edificaciones de este sector son de dos y tres pisos en mayoría cuyo material es albañilería y dedicado a viviendas, como puede apreciarse en la Figura 14.



Figura 14. Edificaciones del sector 2, de dos y tres pisos.

Predomina el sistema estructural de albañilería en buen estado de conservación, en algunos casos humedad en la base de los muros, pero en ningún caso asentamientos. Es en general un sector consolidado, hay pocos casos en proceso de ampliación, con muros de pisos superiores sin tarrajeo pero la mayoría no parecen de reciente construcción tal como se ve en la Figura 15.



Figura 15. Viviendas sin tarrajeo del sector 2.

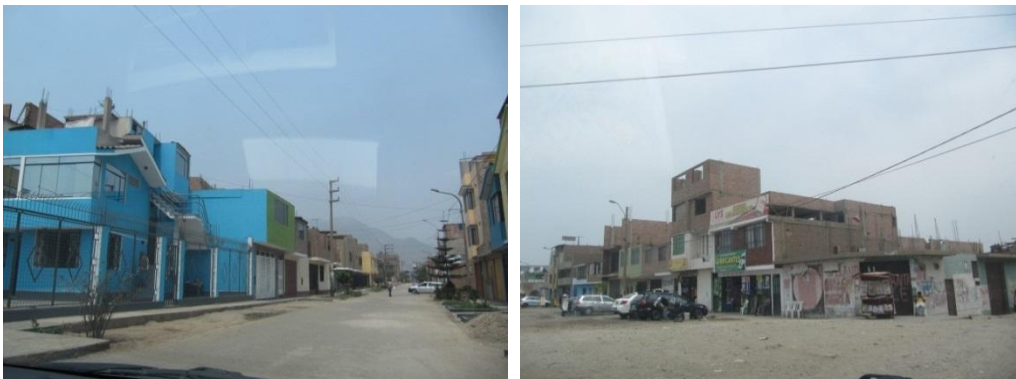
En este sector se puede apreciar edificaciones para uso de viviendas y de vivienda-comercio en las zonas adyacentes a las avenidas o cerca de la zona de mercado tal como se ve en la Figura 16.



**Figura 16.** Viviendas - comercio y mercado local San Pedro.

### SECTOR 3

El Sector 3 está ubicado, entre la Av. Trapiche y Av. Universitaria y entre la Av. Chimpu Oclo y Av. Sr. Caudivilla. En este sector se evaluaron 18 manzanas. Las edificaciones de este sector son de dos y tres pisos en mayoría, cuyo material es albañilería y dedicado a viviendas, o comercio local, especialmente en las avenidas principales, como se puede apreciar en la Figura 17.



**Figura 17.** Edificaciones del sector 3, de dos y tres pisos, viviendas y comercio (en avenidas).

Predomina el sistema estructural de albañilería en buen estado de conservación. Se ha observado mayor cantidad de terrenos sin construir en relación a sectores cercanos, en especial en las manzanas 1006, 1087 y 1055, hacia el Oeste del sector, tal como se ve en la Figura 18.



Figura 18. Terrenos sin construir del sector 3.

En este sector se pudo observar dos conjuntos habitacionales de edificios multifamiliares en albañilería confinada de 4 y 5 pisos. También hay recientes ampliaciones o crecimiento de las viviendas en altura. Esto se ve en la Figura 19.



Figura 19. Conjunto habitacional y construcciones recientes.

#### SECTOR 4

El Sector 4 está ubicado entre las Avenidas Universitaria y Túpac Amaru, en la franja comprendida entre la Av. Chimpu Oclo y la Av. Señor de Caudivilla. En este sector se evaluaron 17 manzanas. Las edificaciones de este sector son de dos y tres pisos en mayoría, cuyo material es albañilería y dedicado a viviendas o vivienda-comercio local (hasta 4 pisos), especialmente en las avenidas principales, como puede apreciarse en la Figura 20.



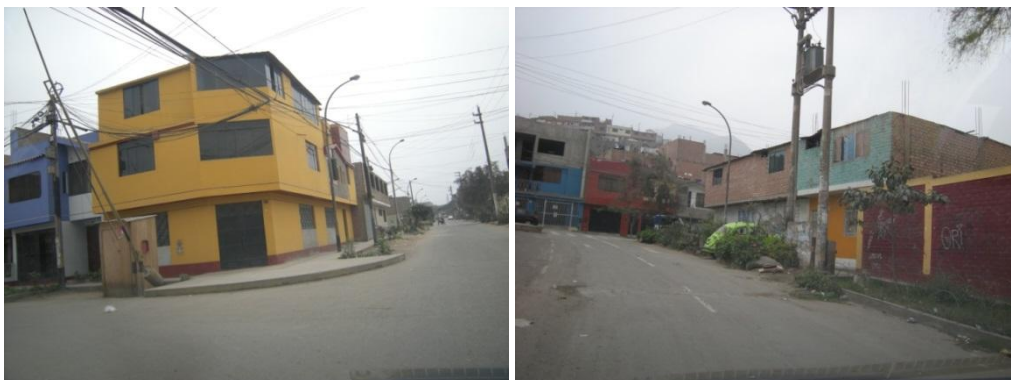
**Figura 20.** Edificaciones del sector 4, de dos y tres pisos, viviendas y comercio hasta 4 pisos (en avenidas).

Predomina el sistema estructural de albañilería en buen estado de conservación. En este sector, con mayor frecuencia se han observado predios en construcción o sin tarrajeo, lo cual ha permitido observar el uso de unidades de albañilería artesanal y en algunos casos ladrillos tubulares, cual se ve en la Figura 21.



**Figura 21.** Uso de ladrillo artesanal y tubular en los muros de algunas edificaciones del sector 4.

Ya sea de uno o tres niveles, el crecimiento en altura es progresivo y (provisional o permanentemente) se observa el uso de cobertura de plancha ondulada (liviana) en los niveles más altos. Esto se ve en la Figura 22.



**Figura 22.** Uso de cobertura liviana sobre las paredes del último nivel.

### SECTOR 05

El Sector 05 se encuentra ubicado entre las avenidas Universitaria, Santa Clara, Santo Domingo y Señor de Caudivilla. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de uno, tres y cuatro pisos como se muestra en la Figura 23. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido y pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo aligerado. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 23. Viviendas típicas del Sector 05.

### SECTOR 06

El Sector 06 se encuentra ubicado entre las avenidas Universitaria, Manco Cápac, Túpac Amaru y Señor de Caudivilla. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de uno, tres pisos como se muestra en la Figura 24. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido y pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo aligerado.

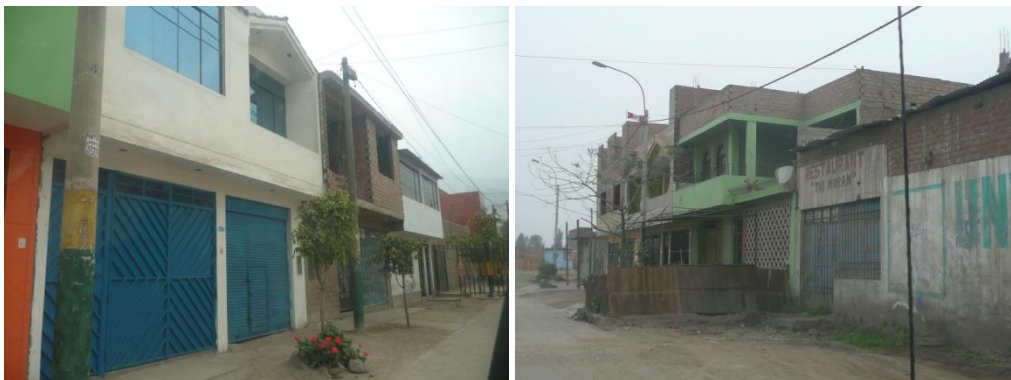


Figura 24. Viviendas típicas del Sector 06.

En la avenida Túpac Amaru se encuentra una zona comercial como se muestra en la Figura 25. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 25. Zona comercial del Sector 06.

### SECTOR 07

El Sector 07 se encuentra ubicado entre las avenidas Universitaria, Camino Real, Santo Domingo y Santa Clara. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial y comercial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de uno, tres pisos como se muestra en la Figura 26. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido y pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo aligerado.



Figura 26. Viviendas típicas del Sector 07.

En las avenidas Camino Real, Santo Domingo y Santa Clara se observa una zona comercial como se muestra en la Figura 27. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 27. Zona comercial del Sector 07.

### SECTOR 08

El Sector 08 se encuentra ubicado entre las avenidas Universitaria, Camino Real, Túpac Amaru y Manco Cápac. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de uno, tres pisos como se muestra en la Figura 28. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido y pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo aligerado.



Figura 28. Viviendas típicas del Sector 08.

Durante el recorrido se observaron varias viviendas en adobe o construcciones informales en albañilería con techos de cobertura ligera como se muestra en la Figura 29.



Figura 29. Viviendas de adobe y construcciones informales en albañilería.

En la avenida Túpac Amaru se observa una zona comercial como se muestra en la Figura 30. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



**Figura 30.** Zona comercial del Sector 08.

### SECTOR 9

El Sector 09 está ubicado entre las Av. Túpac Amaru y Moquegua. En este sector se evaluaron 19 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 31.



**Figura 31.** Edificaciones del sector 9, de albañilería.

Predomina el sistema estructural de albañilería de dos niveles con cobertura ligera tal como se ve en la Figura 32.





Figura 32. Edificaciones con cobertura ligera.

En este sector se puede apreciar edificaciones de viviendas en zonas de quebradas y de gran pendiente como se ve en la Figura 33.



Figura 33. Viviendas en zonas de pendiente elevada.

#### SECTOR 10

El Sector 10 está ubicado entre las Av. Túpac Amaru, Los Florales, Chiclayo y Moquegua. En este sector se evaluaron 47 manzanas. En este sector predominan; como material de construcción la albañilería, como uso vivienda de uno y dos pisos, estado de conservación regular y bueno. Esto puede apreciarse en la Figura 34.



Figura 34. Edificaciones del sector 10, de dos pisos de techo aligerado y cobertura ligera.

Predomina el sistema estructural de albañilería con cobertura ligera tal como calamina y aligerado. Esto se puede apreciar en la Figura 35, no hay humedad en la base de las edificaciones tampoco asentamientos.



**Figura 35.** Edificaciones de un piso de techo aligerado y cobertura ligera.

En este sector se puede apreciar edificaciones de viviendas en zonas de quebradas y de gran pendiente como se ve en la Figura 36.



**Figura 36.** Viviendas en zonas de pendiente elevada y en quebradas.

### SECTOR 11

El Sector 11 está ubicado entre las Av. Túpac Amaru, Augusto B Leguía y Cuzco. En este sector se evaluaron 19 manzanas. En este sector predominan; como material de construcción la albañilería, como uso vivienda de dos niveles, estado de conservación bueno. Esto puede apreciarse en la Figura 37.



**Figura 37.** Edificaciones del sector 11, de dos niveles de techo aligerado y cobertura ligera.

Predomina el sistema estructural de albañilería con cobertura ligera tal como se ve en la Figura 38, se ha observado humedad en la base de las edificaciones en algunas zonas.



**Figura 38.** Edificaciones de un piso de techo aligerado y cobertura ligera.

En este sector se puede apreciar edificaciones con uso de viviendas comercio y comercio en la avenida Túpac Amaru y en sus alrededores como se ve en la Figura 39.



**Figura 39.** Viviendas comercio y comercio en la avenida Túpac Amaru y en sus alrededores.

## SECTOR 12

El Sector 12 se encuentra ubicado entre las avenidas Túpac Amaru, Augusto B. Leguía y Miguel Iglesias. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de uno y dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de tres pisos como se muestra en la Figura 40. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo aligerado o cobertura ligera.



**Figura 40.** Viviendas típicas del Sector 12.

En la parte este del sector y en las laderas de los cerros que lo rodean, se observaron viviendas construidas en madera y techos de cobertura ligera, como se muestra en la Figura 41. Las viviendas ubicadas en las laderas de los cerros han sido construidas sobre suelo cuyo muro de contención está hecho de piedras apiladas sin ningún tipo de junta.



**Figura 41.** Viviendas de madera del sector.

En la avenida Túpac Amaru se observa una zona comercial como se muestra en la Figura 42. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



Figura 42. Zona comercial del Sector 12.

### SECTOR 13

El Sector 13 se encuentra ubicado entre las avenidas Túpac Amaru, Camino Real, Universitaria y Manuel Prado. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de uno y tres pisos como se muestra en la Figura 43. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido y pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de losa aligerada y cobertura ligera.



Figura 43. Viviendas típicas del Sector 13.

Se observaron algunas viviendas de adobe y techo de cobertura ligera en mal estado de conservación, como se muestra en la Figura 44.



Figura 44. Viviendas de adobe.

En la avenida Túpac Amaru se observa una zona comercial como se muestra en la Figura 45. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



Figura 45. Zona comercial del Sector 13.

#### SECTOR 14

El Sector 14 se encuentra ubicado entre las avenidas Camino Real, Universitaria y Manuel Prado. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de un piso como se muestra en la Figura 46. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido y pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de losa aligerada y cobertura ligera.



Figura 46. Viviendas típicas del Sector 14.

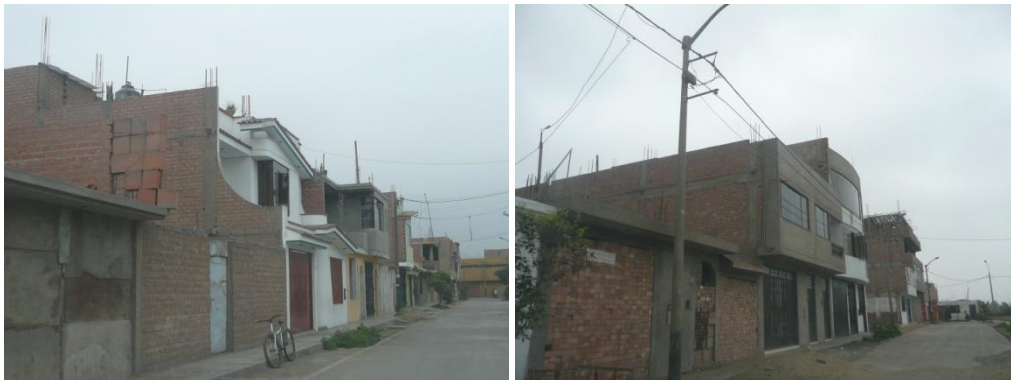
Durante el recorrido se observaron varias construcciones informales en albañilería con techos de cobertura ligera sin confinamiento en los muros, como se muestra en la Figura 47. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



**Figura 47.** Viviendas informales de albañilería.

### SECTOR 15

El Sector 15 se encuentra ubicado entre las avenidas Camino Real y Santo Domingo. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos y tres pisos en su mayoría como se muestra en la Figura 48. El material predominante es la albañilería de ladrillo pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de losa aligerada. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



**Figura 48.** Viviendas típicas del Sector 15.

### SECTOR 16

El Sector 16 se encuentra ubicado entre las avenidas Túpac Amaru, La Libertad, Universitaria y Manuel Prado. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de uno y tres pisos, como se muestra en la Figura 49. El material predominante es la albañilería de ladrillo pandereta y artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de cobertura ligera. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



Figura 49. Viviendas típicas del Sector 16.

### SECTOR 17

El Sector 17 se encuentra ubicado entre las avenidas Universitaria, La Libertad y Manuel Prado. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de uno y dos pisos en su mayoría, como se muestra en la Figura 50. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de losa aligerada y cobertura ligera.



Figura 50. Viviendas típicas del Sector 17.

Durante el recorrido se observaron varias construcciones informales en albañilería con techos de cobertura ligera y sin confinamiento en los muros, como se muestra en la Figura 51. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 51. Viviendas informales en albañilería.



### SECTOR 18

El Sector 18 se encuentra ubicado entre las avenidas Universitaria y La Libertad. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de un piso en su mayoría, seguida de viviendas de dos pisos, como se muestra en la Figura 52. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo de losa aligerada y cobertura ligera.



Figura 52. Viviendas típicas del Sector 18.

Se observaron algunas viviendas en adobe y albañilería informal de ladrillo artesanal sólido y muros sin confinamiento, con techos de cobertura ligera, en regular estado de conservación como se muestra en la Figura 53. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 53. Viviendas de adobe y albañilería informal.

### SECTOR 19

El Sector 19 se encuentra ubicado entre las avenidas Universitaria, La Libertad y Túpac Amaru. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de un piso en su mayoría, seguida de viviendas de dos pisos, como se muestra en la Figura 54. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido y pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos de losa aligerada y cobertura ligera.



**Figura 54.** Viviendas típicas del Sector 19.

Se observaron varias viviendas de adobe y albañilería informal de ladrillo artesanal sólido en el sector, con techos de cobertura ligera en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 55. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



**Figura 55.** Viviendas de adobe y albañilería informal.

## SECTOR 20

El Sector 20 se encuentra ubicado entre las avenidas Túpac Amaru y Miguel Iglesias en la ladera del cerro. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de uno y dos pisos en su mayoría, como se muestra en la Figura 56. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos de losa aligerada y cobertura ligera.



**Figura 56.** Viviendas típicas del Sector 20.

En la laderas de los cerros se pudo observar viviendas de madera cuyos muros de contención en la base están construidas con piedras apiladas sin ningún tipo de junta, como se muestra en la Figura 57. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



**Figura 57.** Viviendas de madera y muros de contención en piedra.

### SECTOR 21

El Sector 21 se encuentra ubicado a ambos lados de la avenida Túpac Amaru en el límite de la zona de estudio. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, como se muestra en la Figura 58. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido en el primer piso y ladrillo pandereta en los pisos superiores, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos de losa aligerada y cobertura ligera. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



**Figura 58.** Viviendas típicas del Sector 21.

Se observaron viviendas en albañilería informal en las laderas de los cerros que rodean al sector. Estas viviendas son de un piso y con techos de cobertura ligera.



Figura 59. Viviendas en albañilería informal en laderas.

## SECTOR 22

El Sector 22 se encuentra entre las avenida Trapiche y Los Rosales en el límite de la zona de estudio. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, como se muestra en la Figura 60. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos de losa aligerada y cobertura ligera. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 60. Viviendas típicas del Sector 22.

En la avenida Trapiche se observó una zona industrial y comercial como se muestra en la Figura 61.



Figura 61. Zona industrial y comercial del sector.

### SECTOR 23

El Sector 23 se encuentra al lado norte de la avenida Lomas de Carabaylo en el límite de la zona de estudio. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de un piso en su mayoría. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos de losa aligerada y cobertura ligera. Además se observaron viviendas de albañilería informal y de madera. En general, las edificaciones del sector se encuentran en mal estado de conservación.

### SECTOR 24

El Sector 24 se encuentra al lado norte de la avenida Lomas de Carabaylo y oeste de la calle 5 de Abril. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de un piso en su mayoría, como se muestra en la Figura 62. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos de losa aligerada y cobertura ligera. Además se observaron viviendas de albañilería informal y de madera. En general, las edificaciones del sector se encuentran en mal estado de conservación.



**Figura 62.** Viviendas típicas del Sector 24.

Además, se observaron viviendas de albañilería informal y adobe con techo de cobertura ligera en mal estado de conservación como se muestra en la Figura 63.



**Figura 63.** Viviendas de albañilería informal.

## SECTOR 25

El Sector 25 se encuentra al lado norte de las avenida Lomas de Carabayllo y este de la calle 5 de Abril. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de un piso en su mayoría, como se muestra en la Figura 64. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos de cobertura ligera. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



Figura 64. Viviendas típicas del Sector 25.

Además, durante el recorrido se observaron varias viviendas de un piso en albañilería informal y de adobe en mal estado de conservación, como se muestra en la Figura 65.



Figura 65. Viviendas de albañilería informal y adobe.

## SECTOR 26

El Sector 26 se encuentra al lado sur de las avenida Lomas de Carabayllo en el límite oeste de la zona de estudio. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de un piso en su mayoría. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema estructural de mampostería sin confinamiento y techos de cobertura ligera. En general, las edificaciones del sector se encuentran en mal estado de conservación.

## SECTOR 27

El Sector 27 se encuentra en el lado oeste de la zona de estudio, en el límite con el distrito de Puente Piedra. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, como se muestra en la Figura 66. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido, con un sistema

estructural de mampostería confinada y techos aligerados. En general, las edificaciones del sector se encuentran en regular estado de conservación.



**Figura 66.** Viviendas típicas del Sector 27.

Se observaron varias viviendas de albañilería informal de un piso y techo de cobertura ligera en mal estado de conservación, como se muestra en la Figura 67.



**Figura 67.** Viviendas de albañilería informal.

## SECTOR 28

El Sector 28 se encuentra en el lado sur de avenida Lomas de Carabayllo al este de la zona de estudio. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, como se muestra en la Figura 68. El material predominante es la albañilería de ladrillo industrial tubular, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos aligerados. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 68. Viviendas típicas del Sector 28.

Se encontraron urbanizaciones nuevas en gran parte del sector, por lo que se observaron lotes baldíos o en construcción en varias de las manzanas evaluadas, como se muestra en la Figura 69.



Figura 69. Urbanizaciones nuevas del sector y lotes baldíos.

## SECTOR 29

El Sector 29 se encuentra al lado este del Río Chillón, donde la vía principal es la avenida San Juan de Dios o Huarangal. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de dos pisos en su mayoría, como se muestra en la Figura 70. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido e industrial tubular, con un sistema estructural de mampostería confinada y techos aligerados. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.





**Figura 70.** Viviendas típicas del Sector 29.

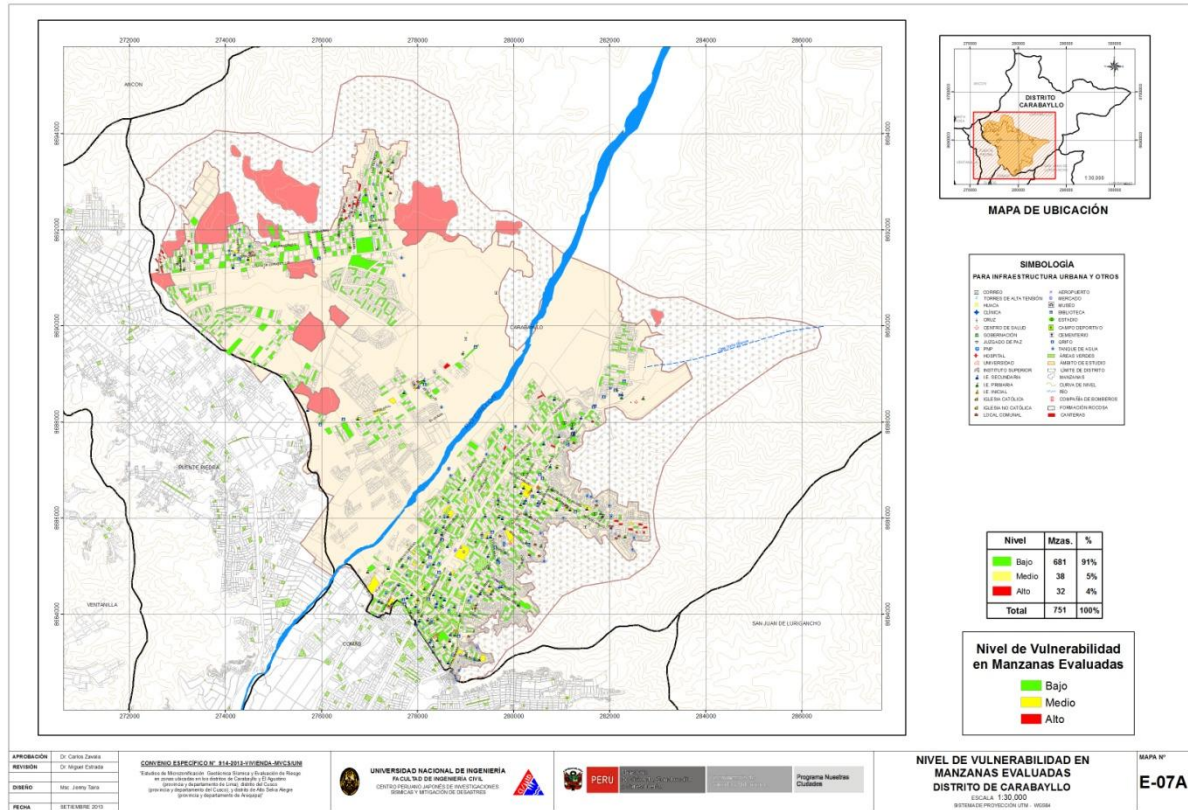
Se observaron edificios multifamiliares de 5 y 3 pisos en concreto armado en buen estado como se observa en la Figura 71. Además, existen urbanizaciones nuevas en el sector, por lo que se encontraron lotes baldíos en varias manzanas evaluadas.



**Figura 71.** Edificios multifamiliares.

En la Figura 72 se puede apreciar que el distrito de Carabaylo tiene una vulnerabilidad baja, donde casi el 98% de las edificaciones, de las evaluadas, tienen una baja vulnerabilidad, contra un 2% que tienen una vulnerabilidad media.

Este resultado se debe al reciente desarrollo del distrito, donde las áreas de expansión se están urbanizando con viviendas nuevas y todas ellas o en su mayoría de albañilería.



**Figura 72.** Mapa de Niveles de Vulnerabilidad del Distrito de Carabayllo.

### EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES

Para la evaluación de las edificaciones esenciales se consideró la edificación típica que formaba parte del complejo sea Colegio, Hospital, posta médica, comisaría, etc. de manera que fue tratada como una edificación sobre la cual deseamos conocer aproximadamente su respuesta sísmica. Bajo esta premisa, se encontró su demanda para las condiciones del estudio, de acuerdo a la demanda dada en el estudio de microzonificación geotécnica sísmica del distrito.

### SECTOR 01

- I.E.I. N°359, edificación de un piso de albañilería confinada con techo de calamina en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 73.



Figura 73. I.E.I. N°359.

- I.E. Tungasuca UGEL 04, consta de varias edificaciones de tres pisos con pórticos de concreto armado y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 74. En uno de los bloques se observa que los muros bajos de las ventanas están unidas a las columnas que podría causar el efecto de columna corta (Figura 74 derecha), ocasionando daños en la estructura en caso de un sismo de gran magnitud.



Figura 74. I.E. Tungasuca

- I.E. N°3079 Nuestra Señora de Las Mercedes, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con vanos de mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en la



Figura 75. I.E. N°3079 Nuestra Señora de Las Mercedes.

- Colegio Monserrat, edificación de cuatro pisos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 76.



Figura 76. Colegio Monserrat.

- Academia Preuniversitaria A. Ingenio, edificación de dos pisos en albañilería confinada con techo de losa aligerada en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 77.



Figura 77. Academia Preuniversitaria A. Ingenio.

- I.E.P. Jesús Niño, edificación de tres pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 78. Se observa el uso de ladrillo pandereta en la construcción de los muros.

-



Figura 78. I.E.P. Jesús Niño.

- Colegio Gauss, edificación de cuatro pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 79. Se observaron construcciones con material ligero en la azotea de la edificación.



Figura 79. Colegio Gauss.

- I.E.P. Montecarlo, edificación de dos pisos en mampostería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 80. Se puede observar una modificación en la estructura de la edificación mediante la construcción de pórticos de concreto en el segundo nivel.



Figura 80. I.E.P. Montecarlo.

- Colegio San Ignacio de Carabayllo, edificación de cuatro pisos de mampostería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 81. Se pudo observar el uso de ladrillo artesanal sólido en la construcción de los muros.



**Figura 81.** Colegio San Ignacio de Carabayllo.

- I.E.P. Santa María Reyna, edificación de dos pisos en mampostería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 82.



**Figura 82.** I.E.P. Santa María Reyna.

- Colegio Pamer, edificación de cuatro pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 83.



**Figura 83.** Colegio Pamer.

- I.E.P. Científica del Norte, edificación de cuatro pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 84. Se pudo observar la presencia de columnas cortas en la estructura y la construcción informal de un ambiente en albañilería y techo de calamina en la azotea de la edificación, ya que no cuenta con el confinamiento de los muros, además del uso de ladrillo pandereta.



**Figura 84.** I.E.P. Científica del Norte.

- Puesto de Salud Los Geranios – MINSA, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 85.



**Figura 85.** Puesto de Salud Los Geranios – MINSA.

- Clínicas Médicas Peruanas, edificación de tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 86.



**Figura 86.** Clínicas Médicas Peruanas.

- Iglesia Salón del Reino de los Testigos de Jehova, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 87.



**Figura 87.** Iglesia Salón del Reino de los Testigos de Jehova.



- Mercado, edificación de un piso en albañilería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 88.



Figura 88. Mercado.

## SECTOR 02

En este sector se encuentran edificaciones esenciales, entre las que destacan hasta 9 colegios, la mayoría privados dos de los cuales se muestran en la Figura 89. Algunos se han instalado en predios originalmente de viviendas y adaptados y en otros casos en edificios de 3 o más pisos de albañilería o pórticos de concreto con muros de ladrillo. Los colegios estatales por lo general hacen uso de manzanas completas y con pabellones de 2 pisos que albergan las aulas. Esta edificación se encuentra en buen estado de conservación.



Figura 89. Colegios privados y estatales.

Estas edificaciones están en buen estado de conservación, mientras que las tribunas del estadio son aporticadas de concreto armado, el Hospital de la solidaridad brinda servicio en sus instalaciones ya típicas de casetas de planchas acero, y llama la atención que las estructuras de la estación de bomberos es de varios domos. Las edificaciones de comisaría y serenazgo son más típicas de albañilería y concreto.



**Figura 90.** Comisaría y estación de bomberos CGBVP N° 164.

En un terreno elevado, adyacente a la Av. Túpac Amaru se encuentra un tanque de agua como se muestra a continuación en la Figura 91.



**Figura 91.** Tanque de Agua.

### SECTOR 03

En este sector se encuentran edificaciones esenciales, entre las que destacan hasta 9 colegios o institutos de educación (incluido nidos), dos de los cuales se muestran en la Figura 92. Algunos se han instalado en predios originalmente de viviendas y adaptados (los de educación inicial) y en otros casos en edificios de 3 o más pisos de albañilería o pórticos de concreto con muros de ladrillo (primaria, secundaria). Los colegios estatales por lo general hacen uso de manzanas completas y con pabellones de 2 pisos, de pórticos de concreto armado y tabiques de albañilería, que albergan las aulas. Estas edificaciones se encuentran, en general, en buen estado de conservación.



Figura 92. Colegios privados (nido) y estatales.

Algunos colegios privados secundarios tienen muy buena infraestructura, con mejor mantenimiento, habiendo un instituto superior que se muestran en la Figura 93.



Figura 93. Colegio privado e Instituto Superior Técnico.

#### SECTOR 04

En este sector 4 las edificaciones esenciales son básicamente los colegios, habiéndose identificado hasta 12 colegios o institutos de educación (incluidos nidos). En la Figura 94 se muestran dos locales de Colegios Estatales, con típicos pabellones de 2 pisos, de pórticos de concreto armado y tabiques de albañilería y con espacios abiertos ya que por lo general disponen de amplios terrenos, sino de toda la manzana.



Figura 94. Colegios estatales: infraestructura clásica aporticada de dos niveles.

En contraparte, los colegios privados secundarios desarrollan sus instalaciones en vertical, en edificios de 3 o 4 pisos. Para el caso de educación tienen muy buena infraestructura, con mejor mantenimiento, habiendo un instituto superior que se muestran en la Figura 95.



Figura 95. Colegios privados: de educación inicial y secundaria.

## SECTOR 05

- I.E.P. San Pedro Primaria, edificación de un piso en albañilería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 96.



Figura 96. I.E.P. San Pedro Primaria.

- I.E.P. San Pablo Peregrino, edificación de seis pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 97.



**Figura 97.** I.E.P. San Pablo Peregrino.

- I.E.P. Divino Niño Jesús, edificación de dos pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 98.



**Figura 98.** I.E.P. Divino Niño Jesús.

- Colegio La Unión Inicial, edificación de un piso en albañilería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 99.



**Figura 99.** Colegio La Unión Inicial.

- I.E.P. Sagrado Corazón de Jesús, edificación de tres pisos en albañilería confinada y techo de calamina en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 100.



**Figura 100.** I.E.P. Sagrado Corazón de Jesús.

- I.E. N°8182 Juan Valer Sandoval, no se pudo observar el tipo de edificación, como se muestra en la Figura 101.



**Figura 101.** I.E. N°8182 Juan Valer Sandoval.

- I.E.I. N°894, no se pudo observar el tipo de edificación, como se muestra en la Figura 102.



Figura 102. I.E.I. N°894.

### SECTOR 06

- I.E.I. N°893, edificación de un piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de cobertura ligera en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 103.



Figura 103. I.E.I. N°893.

- I.E. N°3507 Caudivilla, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 104.



Figura 104. I.E. N°3507 Caudivilla.

- Colegio Sir Isaac Newton, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 105.



**Figura 105.** Colegio Sir Isaac Newton.

- Municipalidad de Carabaylo, edificación de dos pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 106.



**Figura 106.** Municipalidad de Carabaylo.

- Mercado Mayorista Tres Regiones, edificación de un piso con pórticos de concreto y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 107.





Figura 107. Mercado Mayorista Tres Regiones.

- Parque Zonal Manco Cápac, probable zona de refugio en caso de sismo, como se muestra en la Figura 108.



Figura 108. Parque Zonal Manco Cápac.

## SECTOR 07

- Colegio Iniciativa, edificación de un piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 109.



Figura 109. Colegio Iniciativa.

- Colegio La Católica, edificaciones de uno y dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 110. Se pudo observar la presencia de columnas cortas en la estructura de las edificaciones.



**Figura 110.** Colegio La Católica.

- I.E.P. ICM, edificación de tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 111. Se pudo observar la presencia de columnas cortas en la estructura de la edificación.



**Figura 111.** I.E.P. ICM.

- I.E.P. Stephen Hawking, edificación de cuatro pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 112.



Figura 112. I.E.P. Stephen Hawking.

### SECTOR 08

- I.E.P. Virgen de la Puerta, edificación de tres pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 113. Se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en los muros de la estructura.



Figura 113. I.E.P. Virgen de la Puerta.

- I.E.I. Niño Jesús del Gran Poder, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 114. Se pudo observar la presencia de columnas cortas en la estructura de la edificación.



Figura 114. I.E.I. Niño Jesús del Gran Poder.

### SECTOR 09

- Institución Educativa los Ángeles de Naranjal y la Institución Educativa La Flor, construidos con un sistema de pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería, de 2 niveles. Ambos colegios se muestran en la Figura 115. Estas edificaciones se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 115. Institución Educativa los Ángeles de Naranjal e Institución Educativa La Flor.

- Centro de Salud La Flor, del Ministerio de Salud con edificaciones de uno y dos niveles sistema estructural aporticado en buen estado de conservación. Se muestra en la Figura 116.



Figura 116. Centro de Salud La Flor.

## SECTOR 10

- Institución Educativa Raul Porras Barrenechea y la Institución Educativa Virgen de Fatima construidas con un sistema de pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería, de 2 niveles. Ambos colegios se muestran en la Figura 117. Estas edificaciones se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 117. Institución Educativa Privada Mi Jesús del Progreso y IEl José Saco Rojas.

- Institución Educativa Jhon Dalton construida con un sistema de albañilería de 2 niveles y un colegio cuyas características estructurales no se pudieron identificar desde afuera de la edificación. Ambos colegios se muestran en la Figura 118.



Figura 118. Institución Educativa John Dalton.

- En este sector se encontraron dos instituciones educativas de albañilería en regular estado de conservación. Ambos colegios se muestran en la Figura 119.



**Figura 119.** Instituciones educativas de albañilería.

- Institución Educativa Andrés Bello e Institución Educativa Villa Esperanza ambas construida con un sistema de pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería, de 2 niveles. Ambos colegios se muestran en la Figura 120.



**Figura 120.** Institución Educativa Andrés Bello e Institución Educativa Villa Esperanza.

- Institución Educativa Virgen de la Victoria construida con un sistema de albañilería de 3 niveles, tal como se muestra en la Figura 121.



**Figura 121.** Institución Educativa Virgen de la Victoria.

- Puesto de Salud Villa Esperanza, del Ministerio de Salud, construida con sistema de albañilería, de dos niveles y techo aligerado, en buen estado de conservación y que se presenta en la Figura 122.



**Figura 122.** Puesto de Salud del Ministerio de Salud Villa Esperanza.



**Figura 123.** Reservorio en el sector 10.

## SECTOR 11

- Institución Educativa Privada Mi Jesús del Progreso construida con un sistema de pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería, de 2 niveles, y la IEI José Saco Rojas construida con un sistema de

albañilería. Ambos colegios se muestran en la Figura 124. Esta edificación se encuentra en buen estado de conservación.



**Figura 124.** Institución Educativa Privada Mi Jesús del Progreso y IEI José Saco Rojas.

- Institución Educativa Jorge Lingan construida con un sistema de albañilería de 2 niveles, y la Institución Educativa de menores Ciro Alegría construida con un sistema de pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería. Ambos colegios se muestran en la Figura 125.



**Figura 125.** Institución Educativa Jorge Lingan e Institución Educativa de menores Ciro Alegría.

- Puesto de Salud del Ministerio de Salud Jorge Lingan, edificación de dos niveles, construida con sistema de albañilería y techo de cobertura ligera, en buen estado de conservación y que se presenta en la Figura 126.



**Figura 126.** Puesto de Salud Jorge Lingan.



## SECTOR 12

- I.E. 2025, cuenta con edificaciones de dos y tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 127.



Figura 127. I.E. 2025.

- I.E. Industrial Santiago Antunez de Mayolo, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 128.



Figura 128. I.E. Industrial Santiago Antunez de Mayolo.

- I.E.P. Happy Garden, edificación de dos pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 129.



Figura 129. I.E.P. Happy Garden.

- I.E.P. Albert Einstein, edificación de cuatro pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 130. Se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en la construcción de los muros de la estructura.



Figura 130. I.E.P. Albert Einstein.

- C.E.E. El Progreso, no se pudo observar el tipo de edificación, como se muestra en la Figura 131.



Figura 131. C.E.E. El Progreso.

- Institución Educativa, edificación de un piso en albañilería y drywall con techo de cobertura ligera en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 132.



Figura 132. Institución Educativa.

- I.E. N°8190 Sol Naciente, cuenta con varias edificaciones de un piso de albañilería confinada y techo de losa aligerada y calamina en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 133.



Figura 133. I.E. N°8190 Sol Naciente.

- I.E. N°2051 El Progreso, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de cobertura ligera en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 134.



Figura 134. I.E. N°2051 El Progreso.

- Puesto de Salud Su Majestad Hiroito – MINSA, edificación de un piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 135



Figura 135. Puesto de Salud Su Majestad Hiroito – MINSA.

### SECTOR 13

- I.E.P. Makarenko, edificación de tres pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 136.



Figura 136. I.E.P. Makarenko.

- I.E.P. Jesús Educador, cuenta con dos edificaciones de cinco pisos con mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 137. Se observa el uso de ladrillo artesanal sólido en los primeros pisos y ladrillo pandereta en los pisos superiores para la construcción de los muros de la estructura.



**Figura 137.** I.E.P. Jesús Educador.

- Colegio Mariscal A. Cáceres, edificación de cuatro pisos con mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 138.



**Figura 138.** Colegio Mariscal A. Cáceres.

- I.E.P. San Antonio de Carabayllo, edificación de cuatro pisos con mampostería confinada y techo de cobertura ligera en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 139. Se observa el uso de ladrillo pandereta para los muros de la estructura.



Figura 139. I.E.P. San Antonio de Carabayllo.

- I.E.I. Progreso 1, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de cobertura ligera en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 140.



Figura 140. I.E.I. Progreso 1.

- I.E. N°3057 El Progreso, cuenta con edificaciones de dos y tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 141.



Figura 141. I.E. N°3057 El Progreso.

- Centro de Salud El Progreso – MINSA, edificaciones hechas en drywall como se muestra en la Figura 142.



**Figura 142.** Centro de Salud El Progreso – MINSA.

- Iglesia, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 143.



**Figura 143.** Iglesia.

- Iglesia, edificación de un piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 144.



Figura 144. Iglesia.

#### SECTOR 14

- I.E.I. Santa Rosa de Ponte, edificación de un piso con mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 145.



Figura 145. I.E.I. Santa Rosa de Ponte.

- Colegio Skinner, edificación de un piso con mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 146.



Figura 146. Colegio Skinner.



- Pronoei Inmaculada Concepción, cuenta con edificaciones de albañilería informal, ya que no se observa confinamiento en los muros, y construcciones en madera con techo de cobertura ligera, como se muestra en la Figura 147.



**Figura 147.** Pronoei Inmaculada Concepción.

#### **SECTOR 15**

- Colegio Maeztu, edificación de dos pisos con mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 148.



**Figura 148.** Colegio Maeztu.

#### **SECTOR 16**

- I.E.P. Mi Pequeño Mundo, edificación de dos pisos de albañilería informal, ya que los muros del segundo nivel no cuentan con confinamiento, como se muestra en la Figura 149. Además, se pudo observar el uso de ladrillo pandereta en el segundo nivel y techo de cobertura ligera.



**Figura 149.** I.E.P. Mi Pequeño Mundo.

- Colegio Leonard Euler School, edificación de dos pisos con mampostería confinada y techo aligerado en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 150.



**Figura 150.** Colegio Leonard Euler School.

- Ludo Bebeteca Fantasía Infantil – Ministerio de Educación, edificación de un piso con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de cobertura ligera en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 151.



**Figura 151.** Ludo Bebeteca Fantasía Infantil – Ministerio de Educación.

## SECTOR 17

- I.E.P. Neumann School, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 152.



**Figura 152.** I.E.P. Neumann School.

- Pronoei Vista Alegre, cuenta con edificaciones de albañilería informal en ladrillo artesanal sólido y techo de cobertura ligera, ya que no se observa confinamiento en los muros, como se muestra en la Figura 153.



**Figura 153.** Pronoei Vista Alegre.

## SECTOR 18

- I.E.P.C. Montecarlo, edificación de dos pisos en mampostería confinada y techo aligerado en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 154.



Figura 154. I.E.P.C. Montecarlo.

### SECTOR 19

- I.E.P. Hijos del Sol, no se pudo observar el tipo de edificación, como se muestra en la Figura 155.



Figura 155. I.E.P. Hijos del Sol.

### SECTOR 20

- Centro de Emergencia Mujer (CEM), edificación de tres pisos en mampostería confinada y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 156.



Figura 156. Centro de Emergencia Mujer (CEM).

### Sector 21

- I.E.P. Manuel Scorza Torres, edificación de cuatro pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 157.



Figura 157. I.E.P. Manuel Scorza Torres.

- I.E.P. Santo Domingo El Maestro, edificación de tres pisos con pórticos de concreto armado y mampostería confinada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 158.



Figura 158. I.E.P. Santo Domingo El Maestro.

### Sector 22

No se encontraron edificaciones esenciales en el sector.

### Sector 23

- I.E.I. Rayito de Luz, edificación de un piso de madera y techo de cobertura ligera en regular estado de conservación.

### Sector 24

- I.E. Manuel Scorza, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 159. Se observa la presencia de columnas cortas en la edificación.



**Figura 159.** I.E. Manuel Scorza.

- I.E.N°5174 Juan Pablo II, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 160. Se observa la presencia de columnas cortas en la edificación.



**Figura 160.** I.E.N°5174 Juan Pablo II.

### Sector 25

- Red de Energía del Perú, Figura 161.



Figura 161. Red de Energía del Perú.

### Sector 26

No se encontraron edificaciones esenciales en el sector.

### Sector 27

- I.E.N°3074 Pedro Ruiz Gallo, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 162. Se observa la presencia de columnas cortas en la edificación.



Figura 162. I.E.N°3074 Pedro Ruiz Gallo.

### Sector 28

- Colegio Matemático San Rafael, edificación de un piso de albañilería confinada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 163.



Figura 163. Colegio Matemático San Rafael.

### Sector 29

- I.E.N°2050 República de Argentina, edificación de dos pisos con pórticos de concreto armado rigidizado con vanos de mampostería en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 164. Se observa la presencia de columnas cortas en la edificación.



Figura 164. I.E.N°2050 República de Argentina.





### 3. MAPAS DE RIESGO

#### 3.1. ESTUDIO DE RIESGO PARA UN ESCENARIO SÍSMICO

##### Definición de Riesgo Sísmico

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

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

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

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

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

Asimismo existen métodos basados en la evaluación de la respuesta sísmica de los sistemas estructurales bajo cierto nivel de aceleración inducida y la estimación de su nivel de daño. Este tipo de metodología ha sido adoptada en el presente estudio.

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

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

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

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

El desarrollo de este diagnóstico se realizó mediante el proceso que se presenta en la Figura 165.

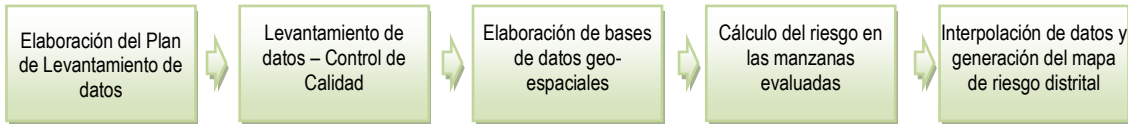


Figura 165. Proceso de generación del mapa de riesgo.

Basados en la información de campo se evaluaron 423 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 166.

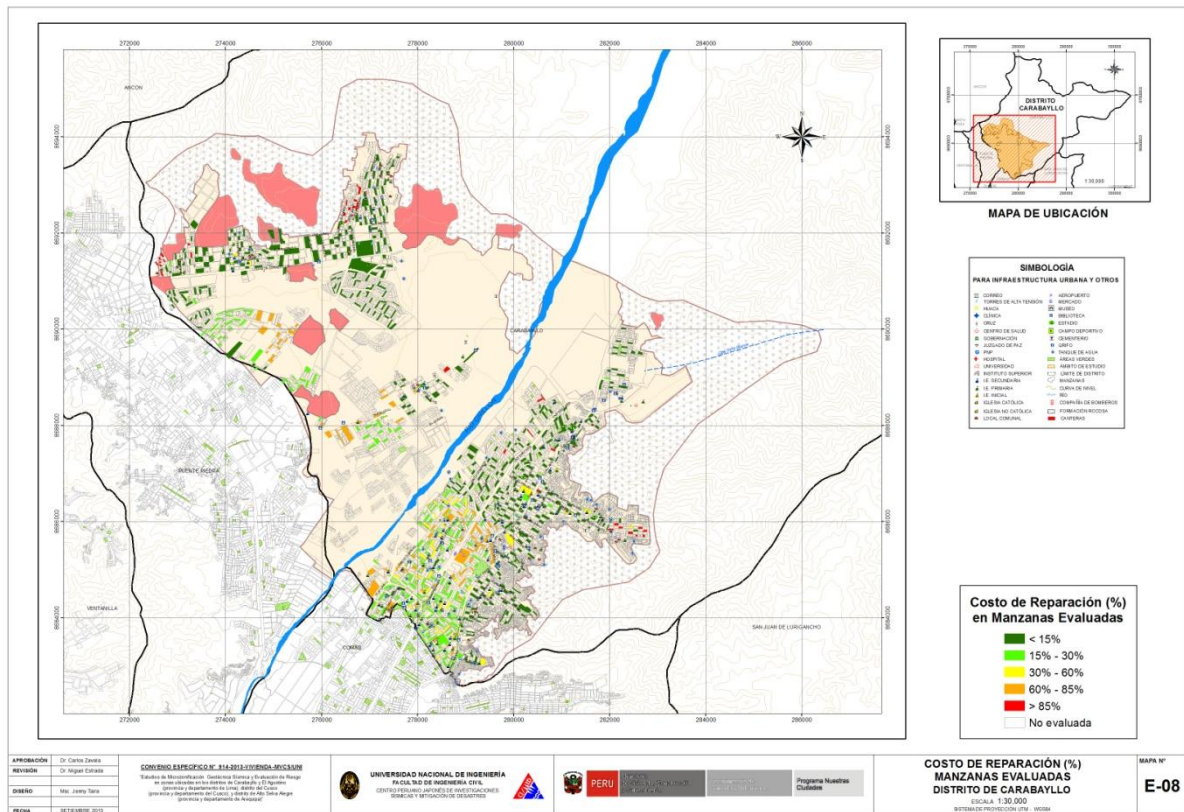
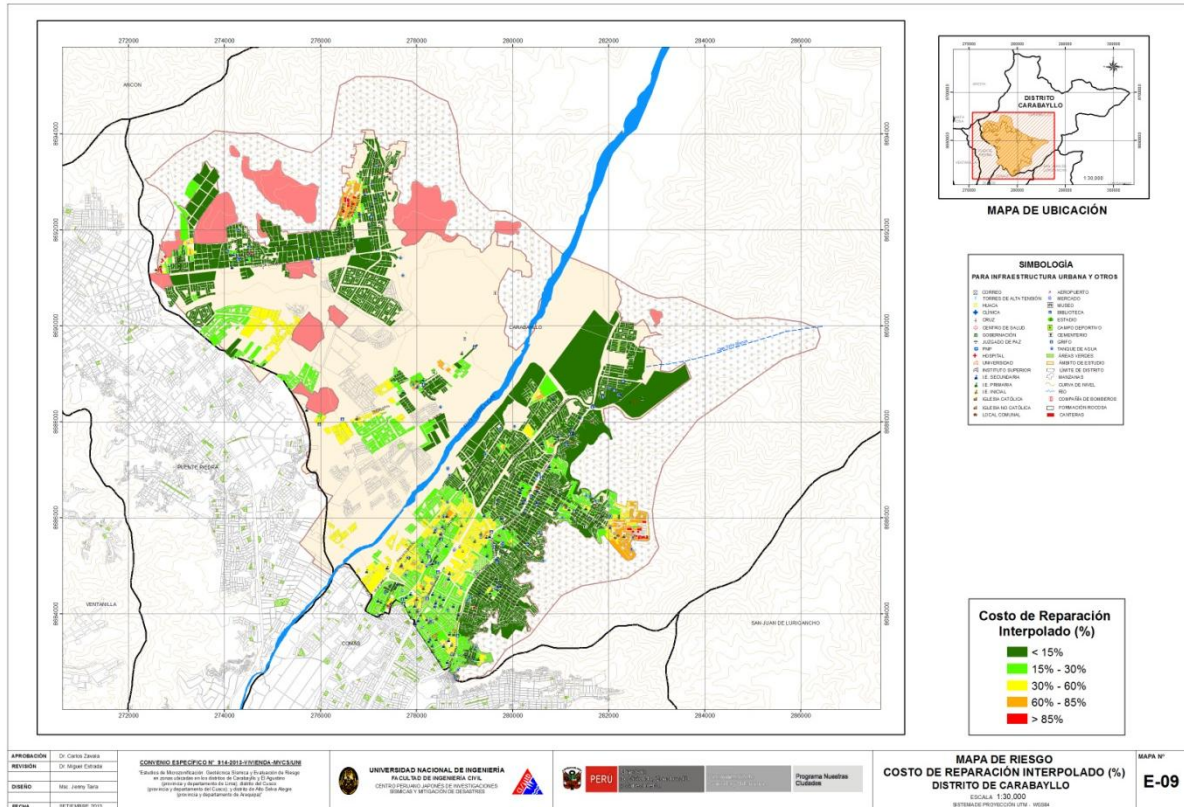


Figura 166. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas.

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

La Figura 167 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el el distrito de Carabayllo.



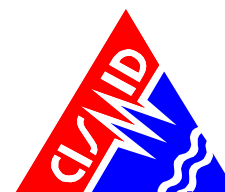
**Figura 167.** Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW).

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 Carabayllo.

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

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	466	62%	84%	Daño Leve o sin daño
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	166	22%		
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	73	10%	10%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	14	2%	2%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	32	4%	4%	Colapso

En el Anexo I, en el mapa No. E-08, que presenta el riesgo expresado como porcentaje del costo de la edificación para el distrito de Carabayllo bajo un escenario del sismo de Lima 1966. En el mapa se puede apreciar que los sectores en verde tendrían un costo de reparación entre 0 ~ 15%. Aquellos sectores en verde



agua poseen un costo de reparación entre 15 ~ 30% del valor de la edificación. Los sectores en amarillo poseerían porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30 ~ 60%. Las zonas en color naranja, tendrían porcentaje de costo de reparación entre 60 ~ 85%, mientras que las zonas en rojo tendrían viviendas con costos de reparación entre 85% y 100%. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de viviendas en riesgo de colapso que corresponden al 2% de las viviendas con daño severo y 4% con riesgo a colapso, para el escenario propuesto. Las aceleraciones asumidas para el diagnóstico son las presentadas en el informe de Microzonificación geotécnica.

Caso especial es el representado por las edificaciones esenciales que en caso de un evento sísmico severo deben de seguir funcionando luego del evento. Bajo esta premisa se tomaron aquellas edificaciones esenciales que formaron parte de la muestra, encontrándose el resumen de los resultados en la tabla 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	1	4%	4%	Daño Leve o sin daño
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	0	0	0%		
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	15	15	60%	60%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	9	9	36%	36%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	0	0	0%	0%	Colapso

Los resultados para las edificaciones esenciales son presentados en el mapa E-09A y el resumen de los resultados se pueden apreciar en la Tabla 3, que muestra que el 36% de las edificaciones esenciales de las manzanas evaluadas experimentarían un daño severo, debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales y los suelos donde se ubican.

### 3.2. MAPA DE SECTORES CRÍTICOS

#### 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 Carabaylo, se estudió la composición de la muestra levantada en campo. Los resultados que se muestran en la Tabla 4 presentan que en el 92% de los casos las edificaciones de este distrito son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 4% de edificaciones de concreto, 3% de edificaciones de madera y 2% de edificaciones de adobe. 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 de las edificaciones	No. Manzanas	Porcentaje
Adobe	13	2%
Mampostería	689	92%
Concreto	30	4%
Madera	19	3%
Acero	0	0%
Otros	0	0%
Total	751	100%



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 751 manzanas estudiadas, para edificaciones de mampostería 58 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto, 29 manzanas requerirían de una intervención de reforzamiento.

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

Adobe	Nivel I	0	
	Nivel II	0	
	Nivel III	0	
	Nivel IV	0	
	Nivel V	13	13

Mampostería	Nivel I	466	
	Nivel II	165	
	Nivel III	53	
	Nivel IV	5	
	Nivel V	0	58

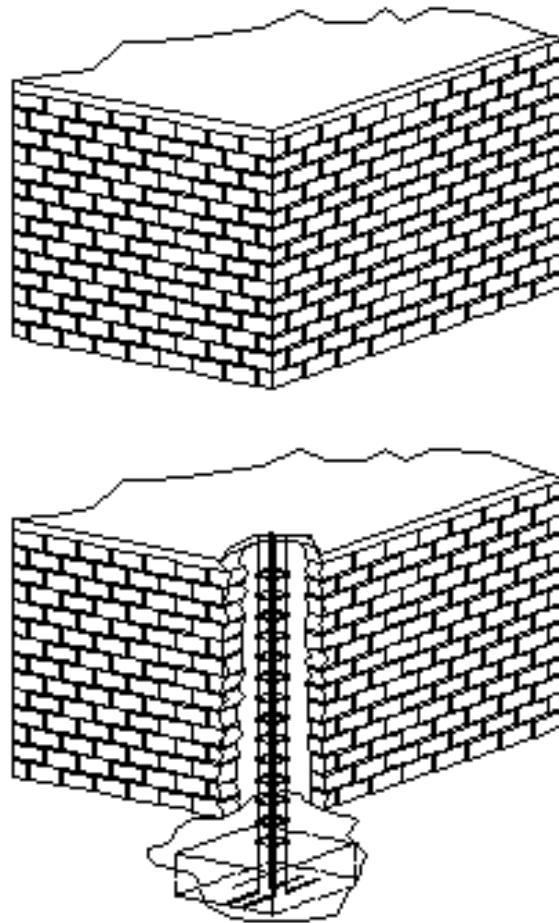
Concreto	Nivel I	0	
	Nivel II	1	
	Nivel III	20	
	Nivel IV	9	
	Nivel V	0	29

Acero	Nivel III	0	
	Nivel V	0	0

Madera	Nivel I	0	
	Nivel II	0	
	Nivel III	0	
	Nivel IV	0	
	Nivel V	19	19

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 46 manzanas requieren ser intervenidas para evitar un daño severo o el colapso. La ubicación de estas edificaciones es presentada en la Figura 168, 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 rosa claro 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 169.** Detalle de inclusión de columnas de reforzamiento en muro sin confinamiento existente.

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

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

En la se Figura 170 se muestra la secuencia del refuerzo de un muro de albañilería, considerando el incremento de la sección con la colocación de malla y recubrimiento.

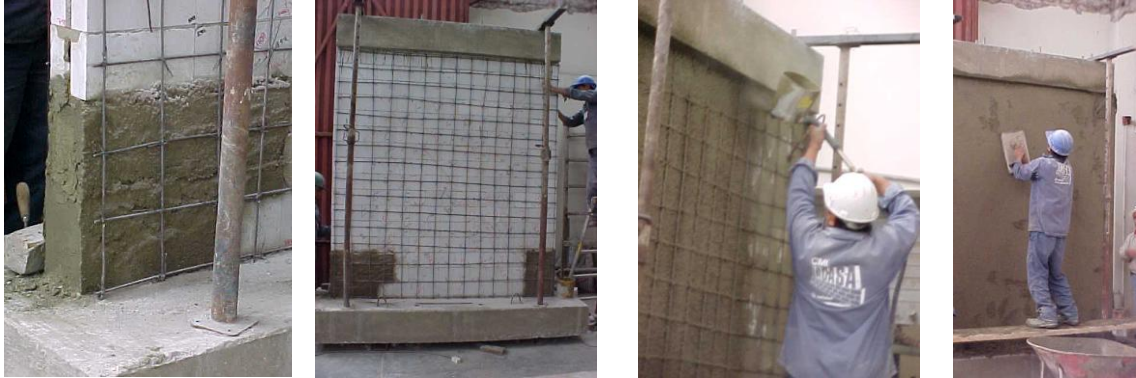


Figura 170. Detalle de refuerzo sobre las caras del muro.

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.

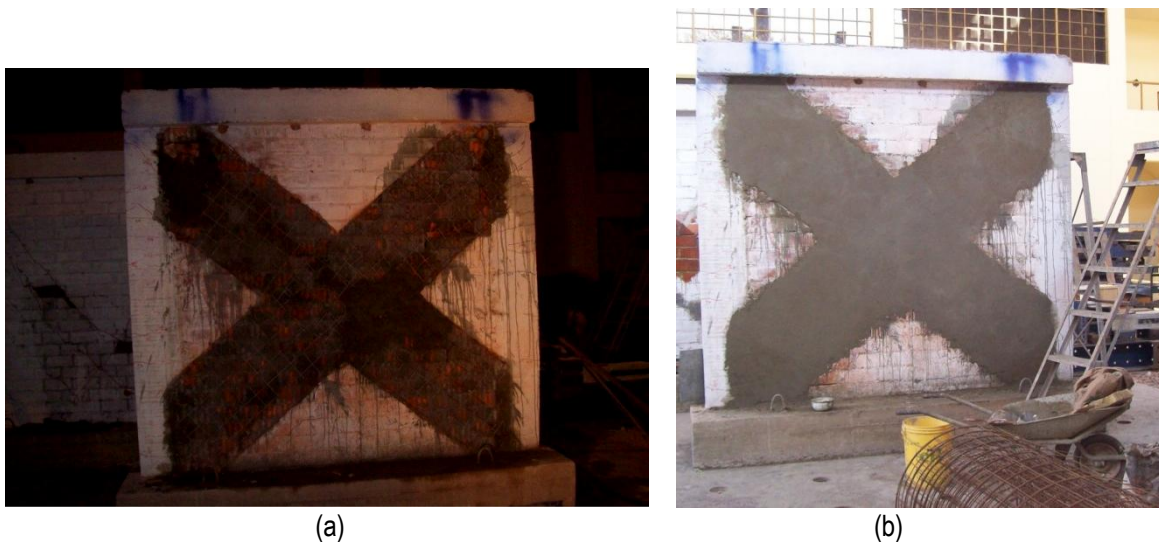


Figura 171. Reforzamiento con bandas de refuerzo.

### Reforzamiento de Columnas de Concreto

Cuando existen deficiencias en las secciones de concreto es necesario realizar el incremento de la sección considerando la extracción del recubrimiento y el uso de resinas epóxicas para pegar el concreto existente con el concreto nuevo, formando un suplemento de la columna con deficiencia estructural. En la Figura 172 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



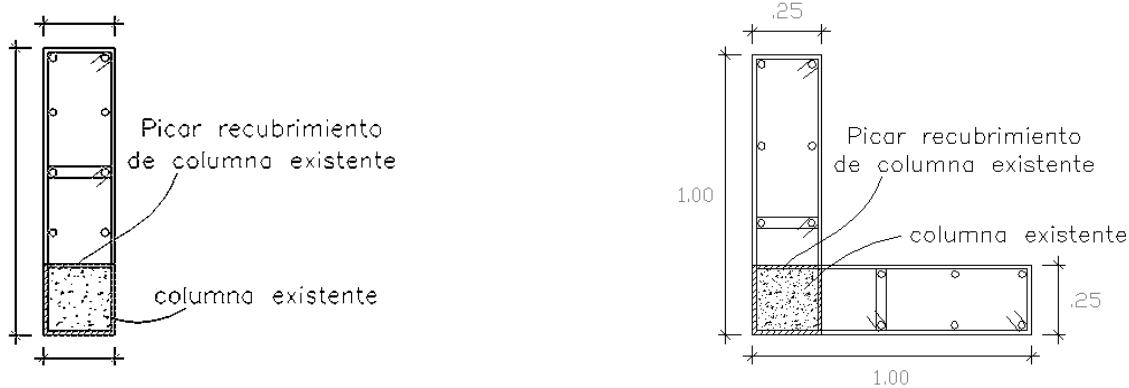


Figura 172: Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera

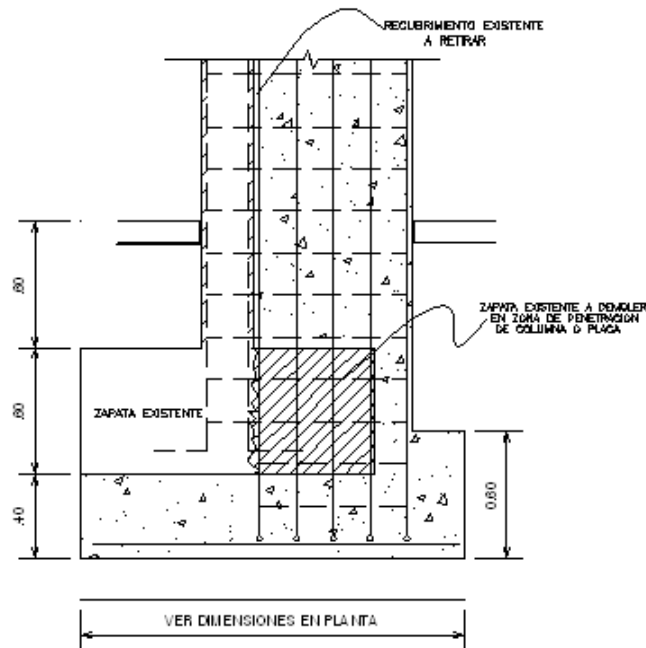


Figura 173: Detalle de reforzamiento de zapata para columna

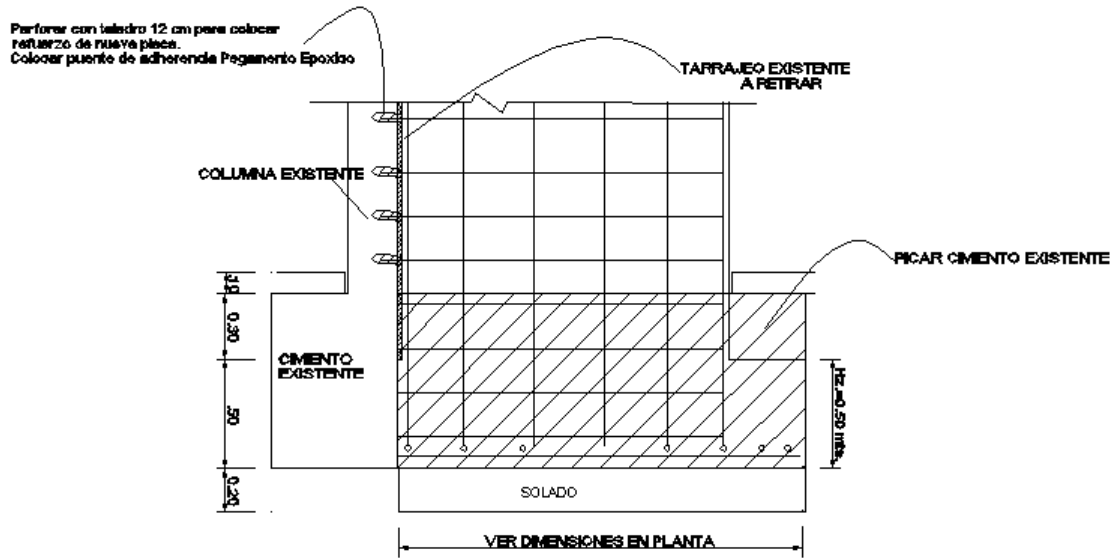
### Reforzamiento de Zapata Existente de Columna

Cuando se refuerza un muro o una columna, es necesario incrementar la sección de su cimentación ya que la inclusión del elemento generará momentos mayores sobre la base del elemento estructural. Así la cimentación existente no será lo suficiente eficiente para tomar las nuevas cargas, por esta razón la sección de cemento debe incrementarse. La Figura 173 muestra un detalle típico para el reforzamiento de una columna. Aquí como se observa, parte del cemento 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.

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

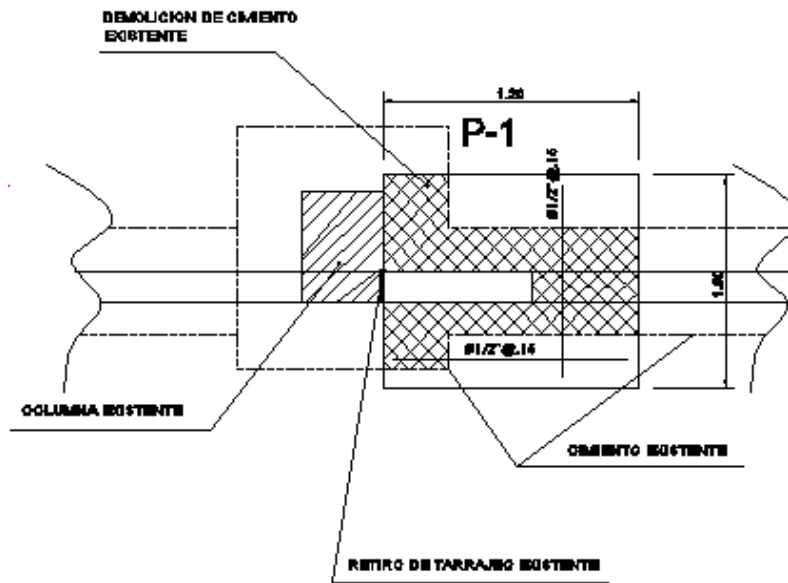
En este caso es necesario considerar un buen amarre entre el elemento placa y la columna existente. Por este motivo deben usarse barras de transferencia a través de cajuelas que deben calarse sobre la columna existente,

y asimismo realizar un incremento del tamaño de la cimentación de los elementos. La Figura 174 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 175 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 174. Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación.



DETALLE DE CIMENTACIÓN DE PLACA DE REFUERZO D-1

Figura 175. Detalle de la cimentación de la placa visto en planta.

#### Conclusiones y recomendaciones para el reforzamiento de edificaciones

- Considerando los resultados del estudio de vulnerabilidad sísmica, se encontró que el 90.5% de las edificaciones del distrito de Carabaylo son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 7.6% 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 reforzamiento. Así por ejemplo de las 748 manzanas estudiadas para edificaciones de mampostería, 238 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto 58 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 164 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 lograra disminuir el riesgo en estas edificaciones.



#### 4. ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA

##### 4.1. Acerca de la Vulnerabilidad de sistemas de agua

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

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

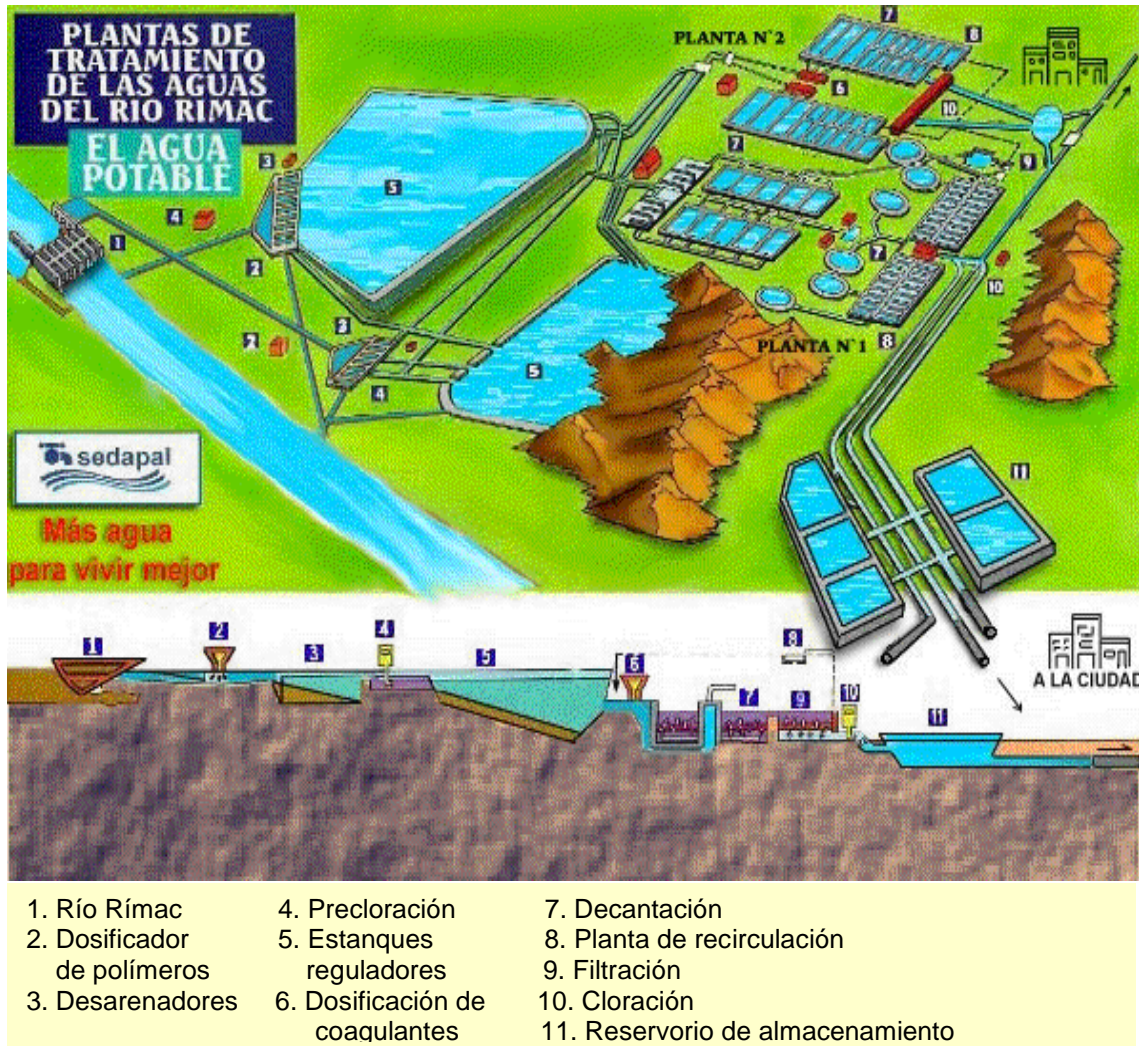
En este estudio se presenta el diagnóstico de las líneas de conducción de agua solamente, ya que la base de datos de SEDAPAL, no dispone estadística de roturas en el tiempo para la línea de conducción de desagüe.

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

##### 4.2. Planta de Tratamiento de la Atarjea

La planta de tratamiento de la Atarjea es la única planta de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Lima. Capta el agua del río Rímac (ver Figura 176) en la bocatoma que se ve arriba a la izquierda, la almacena en los dos grandes reservorios que se ve en la parte inferior derecha y la purifica en múltiples estanques decantadores (vea ítem 7 del gráfico).

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



**Figura 176.** Esquema de la planta de tratamiento de la Atarjea.

Dentro de este proceso en el año 2005, por encargo de SEDAPAL, CISMID-UNI desarrolla el estudio de vulnerabilidad sísmica de las estructuras de los decantadores de la planta de tratamiento de la Atarjea (ver Figura 179). En este estudio se identificaron daños en los muros de los decantadores (los cuales ya habían sido reforzados en la década del 60) y asimismo se pudo determinar la pérdida del refuerzo por oxidación de las varillas (ver Figura 178). Se extrajeron núcleos de concreto endurecido con la finalidad de conocer la calidad actual del material (ver Figura 177).



**Figura 177.** Extracción de testigos de concreto endurecido. Obsérvese la corrosión en el muro.



**Figura 178.** Corrosión del refuerzo en los muros de los decantadores.



**Figura 179.** Vista de un decantador.



**Figura 180.** Fisuras en canal de salida del decantador.

Se pudo observar la existencia de fisuras en canales de salida del decantador (Figura 180), y en adición a esto corrosión de su refuerzo.

Como consecuencia del levantamiento de daños del estudio del 2005, se desarrolló un modelo matemático con elementos finitos a fin de determinar la demanda sísmica de las estructuras bajo un sismo severo. En este caso se utilizó como sismo de diagnóstico los sismos de Lima 9/10/1974 y 17/10/1966, determinándose la respuesta sísmica para las condiciones de los decantadores en el año 2005, encontrándose que 5 de los decantadores son vulnerables, ya que los esfuerzos sobre sus muros no podrían soportar una demanda de sismo severo. La Figura 181 muestra el modelo matemático de la estructura de un decantador típico de la planta de la Atarjea de SEDAPAL.



Figura 181. Idealización matemática del decantador.

### 4.3. Sistema de Agua

Para el estudio de los sistemas de agua es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos en el tiempo. La estadística de estas roturas, debe ser registrada por la entidad competente, en este caso SEDAPAL a fin de poder realizar un diagnóstico lo más cercano posible a la realidad.

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

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

La información en formato CAD se exportó a una plataforma SIG donde se integró una base de datos que contiene la información mostrada en



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

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



---

Tabla 6y el mapa se presenta en el Anexo I en el mapa No. E-11.





**Tabla 6.** Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de Carabaylo

.Nombre de Campo	Descripción
Tipo	Material de tubería
Diámetro	Diámetro de tubería en milímetros
Longitud	Longitud de la tubería en metros
Tipo_Suelo	Zonificación del suelo
Velocidad	Velocidad máxima en el suelo
Rot_km_Yam	Número de roturas por kilómetro de tubería según Yamazaki (2008)
Rot_km_Pro	Número de roturas por kilómetro de tubería según Isoyama (2000)

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

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

Donde  $R_m$  es la tasa de daño por kilómetro de tubería,  $C_p$ ,  $C_d$ ,  $C_g$ , y  $C_l$  son coeficientes de corrección para el material del tubo, diámetro, condición geológica, y ocurrencia de liquefacción, respectivamente, siendo  $v$  la velocidad máxima en el sector (PGV). El valor de  $R(v)$  se estima para una tasa de daño en tuberías de hierro fundido(CIP) con rango de diámetros entre 100–150 mm. en base a una regresión de valores de la base de datos de los tubos dañados por sismo en el sistema:

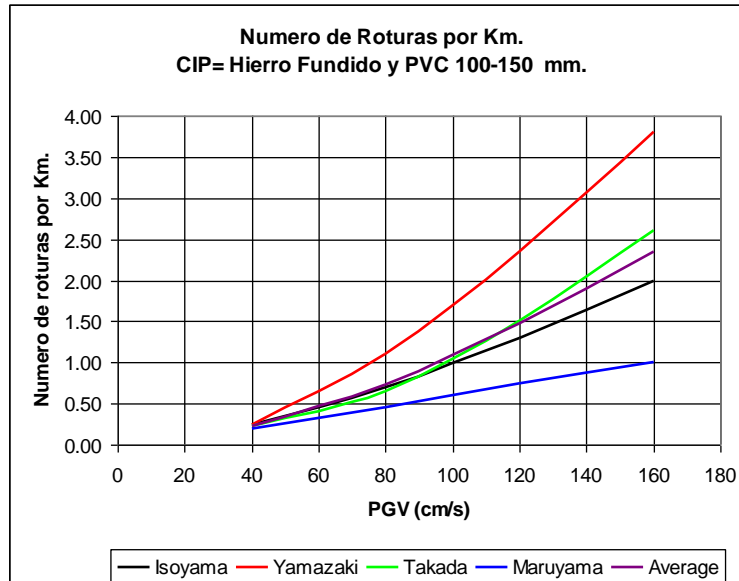
$$R(v) = c(v - A)^b \dots\dots\dots(2)$$

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

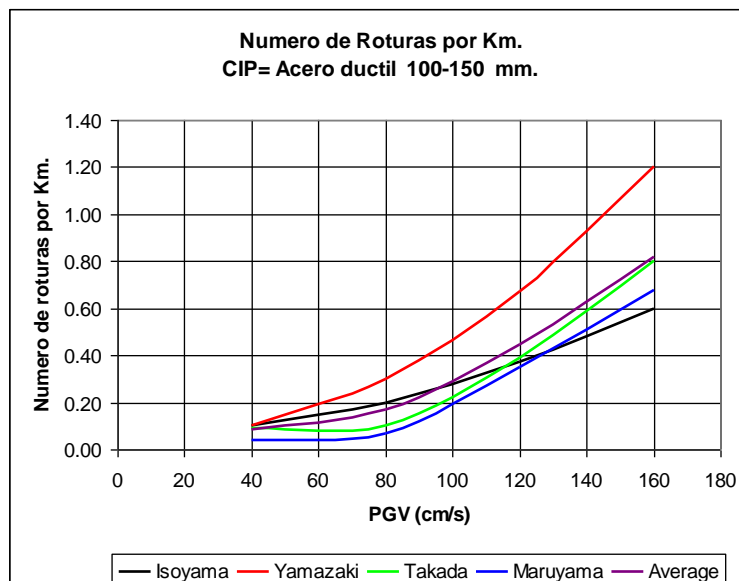
$$R(v) = 3.11 \times 10^{-3} (v - 15)^{1.30} \dots\dots(3)$$

Yamazaki y Maruyama asumieron que el valor de  $A$  se encuentra entre 0 y 30 cm/seg. y experimentaron análisis de regresión con cambios de  $A$  en intervalos de 5 cm/seg. Según los autores consideran que el valor de  $A$  debe ser 15 cm/seg, pues con este valor la correlación entre PGV y la tasa de daño atenuada produce un valor máximo. Así, la constante  $A$  produce el mínimo PGV que causa daños en un sistema de distribución de agua. Los resultados presentados por Isoyama indican que los sistemas de distribución fallarían con PGV mayores a 15 cm/seg. Diversos autores proponen factores de  $b$ ,  $c$  y  $A$  que originan diferencia mínima en el diagnóstico. Por ejemplo en el caso de la ciudad de Tokio los valores particulares de los factores producen la siguiente fórmula:

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



**Figura 182.** Roturas por Km en tubos CIP y PVC.



**Figura 183.** Roturas por Km. En tubos de acero dúctil.

La Figura 182 muestra las relaciones presentadas por diversos autores para determinar el número de roturas por kilómetro de tubería de hierro fundido y PVC en función de la velocidad máxima del suelo (PGV) alcanzada durante el sismo de diseño en la zona donde se encuentran. Utilizando los datos de estos autores es posible elaborar una curva promedio, la cual se indica con la leyenda "Average" en el gráfico. Para llevar a cabo el cálculo del número de roturas en las tuberías, se ha considerado la curva de Isoyama, ya que esta curva se encuentra cercana a la curva promedio, adicionalmente se ha considerado la curva de valores máximos (Yamazaki), que se presenta en la Figura 184.

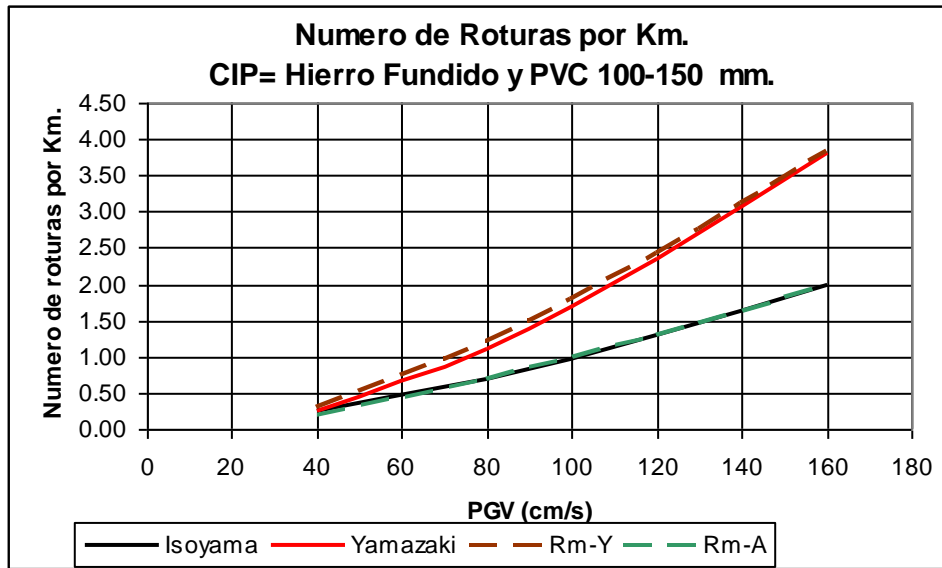


Figura 184. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC.

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

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

La Figura 183 presenta las relaciones que desarrolladas por diversos autores para la estimación de la tasa de daño por kilómetro de tubería el caso de tuberías de hierro dúctil en forma similar, a los materiales arriba expuestos. Utilizando estos datos se construye una curva promedio ("Average") la que es presentada en el gráfico.

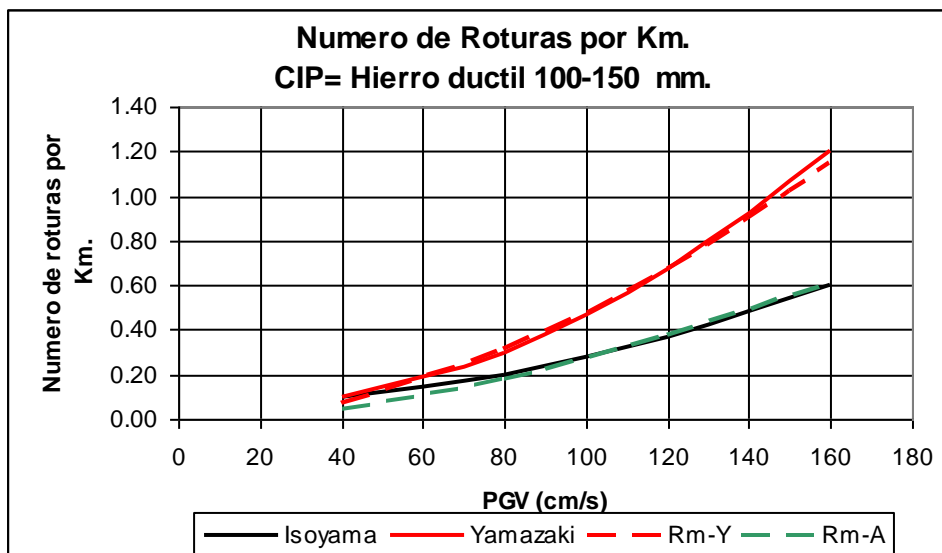


Figura 185. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil.



Usando un procedimiento similar al presentado anteriormente, en la Figura 185 se muestra las curvas de máximo valor y valor más cercano al promedio en el caso de tubería de acero dúctil. Considerando la curva de Isoyama y la curva de Yamazaki, es posible expresar mediante un análisis de regresión de los datos, el número de roturas de tuberías de acero dúctil por Kilómetro que serían afectadas por un sismo severo mediante la siguiente expresión que presenta la regresión en datos de Isoyama:

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

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

#### 4.4. Mapa de Tipo de Tubería de Agua

La Tabla 7 presenta los tipos de tubería por material que existen en el distrito de Carabaylo. Esta información se ha preparado en base de la información proporcionada por SEDAPAL. La información presenta los tipos de tubería con su longitud total expresada en metros. Si observamos la última columna se presenta el porcentaje de tuberías por material, aquí puede leerse que las tuberías de Asbesto Cemento y PVC son las más usadas en la línea de conducción. La distribución de las redes de agua por tipo de material se presenta en la Figura 186.

**Tabla 7.** Tipo de tuberías de agua en el distrito de Carabaylo.

Material	Tipos de Diámetros	Diámetro (mm)	Diámetro+Frecuente	Long. Total (m)	Long.Total (Km)	%
Asbesto-Cemento	9	50-400	100	144248.00	144.25	55.7%
PVC	10	37- 250	110	92567.00	92.57	35.7%
Concreto Pretensado	1	600	600	2080.00	2.08	0.8%
Fierro Fundido	1	100	100	191.00	0.19	0.1%
Hierro Ductil	11	80-1000	200	19970.00	19.97	7.7%

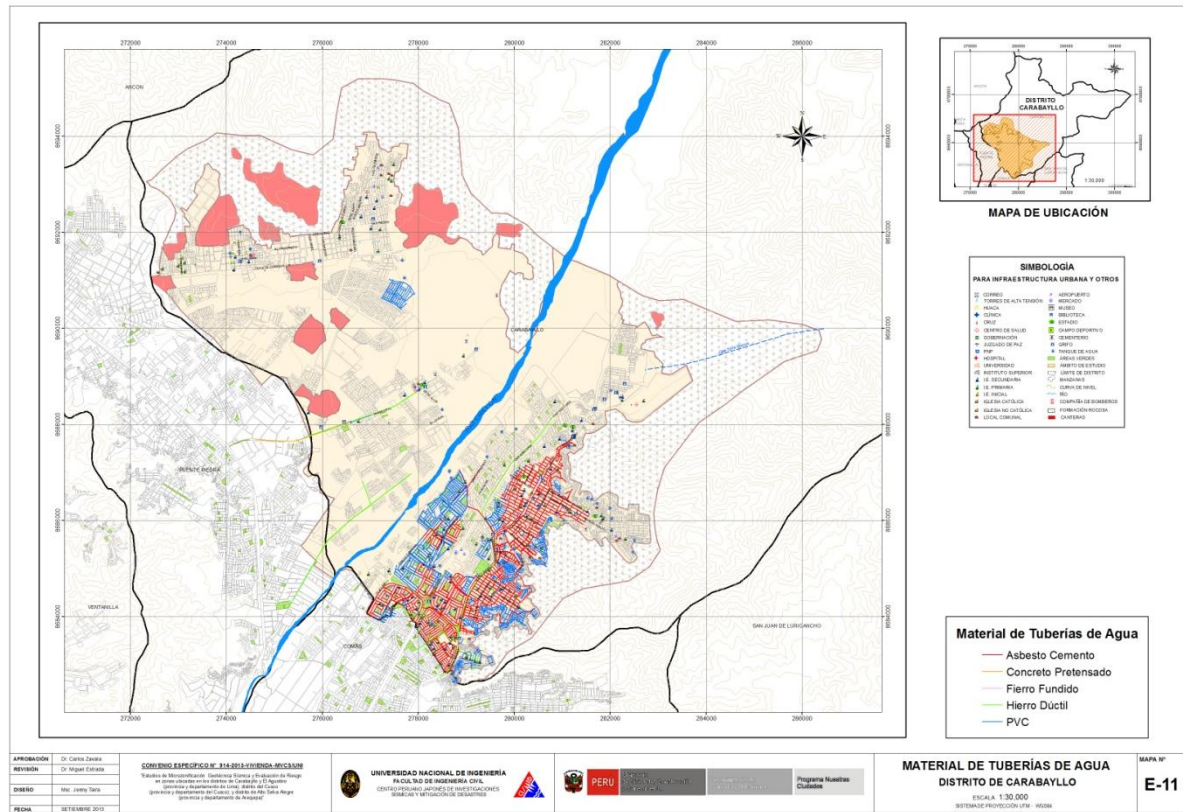


Figura 186. Distribución de las redes de agua.

#### 4.5. Mapa de Roturas para un Escenario Sísmico

Considerando los criterios de evaluación de Yamazaki e Isoyama fue evaluado el número de roturas por kilómetro de tubería para cada tipo de material. Basado en esta aproximación es posible conocer el número de roturas total sobre la línea de conducción, para ambos criterios. Puede leerse que bajo el criterio de Yamazaki se obtiene un mayor número de roturas que al usar el criterio de Isoyama. En el Mapa No. E-12 (ver reproducción en Figura 187) y el Mapa No. E-13 (ver reproducción en Figura 188) se presentan los daños probables según la metodología de Yamazaki e Isoyama, respectivamente y en la Tabla 8 se presenta un resumen de los resultados, donde se indica el tipo de tubería, la longitud total en kilómetros por tipo de tubería, el promedio de roturas por kilómetro y el número de roturas diagnosticado para cada uno de los criterios estudiados.

Tabla 8: Respuesta de las tuberías frente a un evento sísmico severo en el Distrito de Carabayllo

Tubería	Longitud (Km)	Yamazaki	Yamazaki	Isoyama	Isoyama
		PromRotuxKm	NumRoturasTotales	PromRotuxKm	NumRoturasTotales
Asbesto-Cemento	144.25	0.557	80	0.552	80
PVC	92.57	0.535	50	0.536	50
Concreto Pretensado	2.08	0.420	1	0.266	1
Hierro Fundido	0.19	0.191	0	0.150	0
Hierro Ductil	19.97	0.277	6	0.194	4



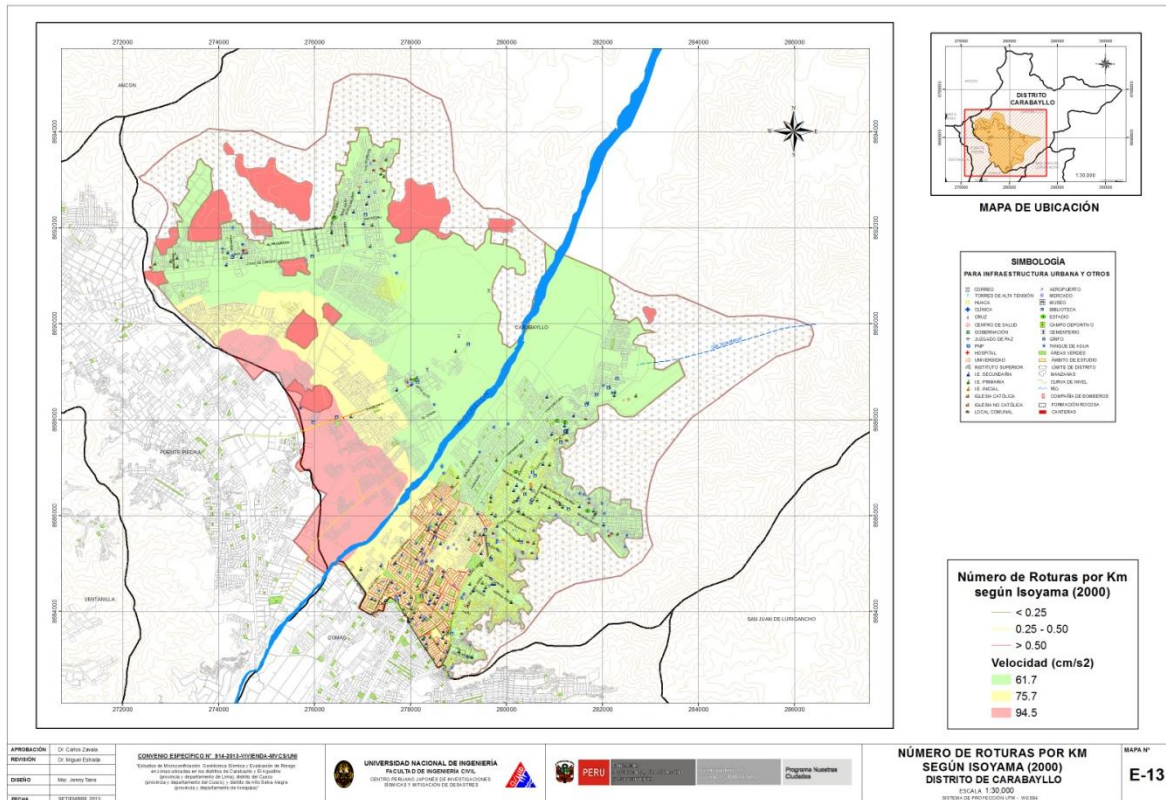
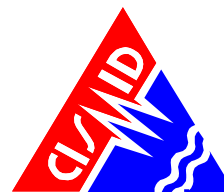


Figura 188. Roturas por criterio de Isoyama (2000).



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

- Basados en el levantamiento de daños del estudio realizado por CISMID el año 2005, y en el desarrollo del modelo matemático de las estructuras de la planta de tratamiento de la Atarjea donde se utilizó como sismo de diagnóstico los sismos de Lima 9/10/1974 y 17/10/1966, se determinó la respuesta sísmica para las condiciones de los decantadores, encontrándose que 5 de los decantadores son vulnerables, ya que los esfuerzos sobre sus muros no podrían soportar una demanda de sismo severo.
- Para la evaluación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción de agua del distrito de Carabaylo, fue necesario preparar la información proporcionada por SEDAPAL, para establecer el tipo de tubería por material y diámetro más utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. Se encontró que el 55.7% de las tuberías son de asbesto cemento, siendo las más usadas en la línea de conducción, seguidas por las tuberías PVC que representan un 35.7%. Asimismo las líneas de conducción de hierro dúctil representan el 7.7% de la red en el distrito.
- Considerando la metodología planteada por investigadores japoneses, se tomaron las curvas de Yamazaki e Isoyama para diagnosticar el número de roturas en la línea de conducción de agua del distrito de Carabaylo en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo 80 locaciones con tuberías de asbesto cemento sufrirían roturas, mientras que existirían 50 locaciones en tuberías de PVC con roturas y 6 locaciones con roturas en tubos de hierro dúctil para Yamazaki y 4 para Isoyama. Debe notarse que las condiciones del suelo con altas velocidades producen movimientos sumamente severos en el escenario de sismo severo propuesto.
- En cuanto al mayor índice de roturas en las tuberías de agua, se tiene que el valor máximo, se obtiene según el criterio de Yamazaki, dando un valor de 0.56 roturas por kilómetro de tubería de asbesto cemento.
- Es recomendable que SEDAPAL implemente una base de datos de las roturas en tuberías de agua, tomando en cuenta la variable tiempo, ya que para el estudio de los sistemas de agua es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos en el tiempo y cambios de tuberías en el tiempo. Con una base de datos en estos términos sería posible realizar diagnósticos de las roturas con mayor precisión.
- Es recomendable que SEDAPAL desarrolle un programa de estudios de vulnerabilidad que consideren la infraestructura de captación de agua, los canales de conducción, decantadores, filtros, tanques de almacenamiento y asimismo válvulas de paso, que adicionalmente al estudio preliminar presentado, proporcionaran un mejor diagnóstico para evitar la interrupción del servicio en caso de sismo severo.





## 5. Referencias

- [1] Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness - Eduardo Miranda and Carlos J. Reyes Journal of Structural Engineering ASCE / July 2002.
- [2] Approximate lateral deformation demands in multistory buildings - Miranda, E. (1999). Journal of Structural Engineering ASCE. /1999.
- [3] Estimación rápida de la Respuesta Sísmica en base a sistemas de un grado de libertad para el calculo de vulnerabilidad sísmica – Carlos Zavala y Ricardo Proaño – XIV Congreso de Ingeniería Civil Iquitos Perú / Octubre 2003.
- [4] Estimación Rápida de Desplazamientos Laterales Producidos por Sismo -Hugo Scaletti Farina – FIC – UNI /2003.
- [5] Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño –SRSND – Carlos Zavala – CISMID/FIC/UNI/ Noviembre 2007.
- [6] Efectos del Terremoto de Managua en los efectos de agua y alcantarillado - Ing. E. Pallawlecial IX Seminario Centroamericano de Ingenieros Sanitarios Panamá /Septiembre 1973.
- [7] Reducción del Daño Sísmico – Guía para empresas de agua – Organización Panamericana de la Salud (OPS) y American Water Works Association (AWWA)/ 2003.
- [8] Damage Estimation of Water Distribution Pipes following recent earthquakes in Japan – Y. Maruyama and F. Yamazaki – Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUUE) /March 2010.
- [9] Post Quake Microzoning Study On Pisco and Tambo De Mora Due To August 15th 2007 Pisco Quake – C. Zavala, Z. Aguilar, and M. Estrada– Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUUE) /March 2010.