



PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento

Viceministerio de
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras
Ciudades



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



**ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN
ZONAS DE ESTUDIOS UBICADAS EN EL ÁREA URBANA DEL DISTRITO
DEL CALLAO (CERCADO DEL CALLAO)**

**PRODUCTO 03
TOMO III**

ESTIMACIÓN DEL RIESGO



LIMA – DICIEMBRE 2020



ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN ZONAS DE ESTUDIOS UBICADAS EN EL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DEL CALLAO (CERCADO DEL CALLAO)

TOMO III: ESTIMACIÓN DEL RIESGO

Tabla de Contenido

TABLA DE CONTENIDO	1
1. ANTECEDENTES.....	14
2. INTRODUCCIÓN	14
3. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA	15
3.1. Mapa de Microzonificación Sísmica	15
3.2. Mapa de Zonas de Aceleraciones	18
3.3. Mapa de Zonas de Velocidades	19
4. MAPAS DE VULNERABILIDAD	20
4.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral.....	20
4.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal.....	20
4.1.2. Metodología de toma de datos.....	20
4.1.3. Plantilla para la encuesta.....	20
4.1.4. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo	22
4.1.5. Procedimiento y control de calidad de datos de campo	23
4.1.6. Georeferenciación y Compatibilización de Planos	24
4.1.7. Sistematización de la Información.....	24
4.1.8. Ubicación de las manzanas a evaluar	25
4.2. Sectorización de la información de campo, con mapas georeferenciados.	27
4.2.1. Edificaciones.....	27
4.2.2. Edificaciones esenciales	33



4.3.	Base de datos geo-espacial	72
4.3.1.	Mapa de Uso de Suelo	75
4.3.2.	Mapa de Materiales Predominantes	76
4.3.3.	Mapa de Alturas de Edificación	77
4.3.4.	Mapa de Tipologías Estructurales	78
4.3.5.	Mapa de Estado de Conservación	79
4.3.6.	Mapa de Vulnerabilidad	80
5.	MAPAS DE RIESGO	86
5.1.	Elaboración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico	86
5.2.	Mapa de riesgo de las edificaciones evaluadas para un escenario sísmico	86
5.3.	Conclusiones de evaluación del riesgo sísmico para un escenario de sismo severo	89
6.	ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA.....	91
6.1.	Mapa de tipo de tubería de agua.....	96
6.2.	Mapa de roturas para un escenario sísmico.	97
6.3.	Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua.....	98
7.	MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI.....	100
7.1.	Sismicidad en el Perú	100
7.2.	Tsunamis históricos en el Perú	102
7.3.	Ámbito de Estudio	104
7.4.	Procedimiento de Análisis.....	105
7.5.	Consideraciones Teóricas.....	106
7.5.1.	Conceptos Básicos	106
7.6.	Análisis del Tsunami para el distrito del Cercado del Callao	113
7.6.1.	Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano.....	113
7.6.2.	Fase de la Propagación del Tsunami.....	115
7.6.3.	Fase de Inundación	120



PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento

Viceministerio de
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras
Ciudades



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



7.7. Análisis de Resultados	127
7.8. Recomendaciones	127
8. REFERENCIAS	128



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formato de ayuda para codificación del lote.....	21
Figura 2. Formato de evaluación para la edificación representativa de la manzana	22
Figura 3. Sectores de evaluación del Cercado del Callao.....	23
Figura 4. Manzanas totales (2776) versus manzanas seleccionadas (1000)	26
Figura 5. Viviendas de adobe	27
Figura 6. Vivienda de albañilería de dos niveles.....	27
Figura 7. Vivienda de entramados de madera de un nivel	28
Figura 8. Vivienda de tres niveles.....	28
Figura 9. Vivienda de dos niveles.....	28
Figura 10. Vivienda de dos niveles	29
Figura 11. Vivienda de dos niveles	29
Figura 12. Vivienda de dos niveles	29
Figura 13. Vivienda de tres niveles.....	29
Figura 14. Vivienda de tres niveles.....	30
Figura 15. Vivienda de tres niveles.....	30
Figura 16. Vivienda de dos niveles	30
Figura 17. Vivienda de tres niveles.....	30
Figura 18. Vivienda de dos niveles	31
Figura 19. Vivienda de tres niveles.....	31
Figura 20. Vivienda de tres niveles.....	31
Figura 21. Vivienda de dos niveles	31
Figura 22. Vivienda de dos niveles	32
Figura 23. Vivienda de dos niveles	32
Figura 24. Vivienda de dos niveles	32
Figura 25. Vivienda de dos niveles	32
Figura 26. Heroínas Toledo	33
Figura 27. Asociación de Auxilio Mutuos	33



Figura 28. Centro de Salud34

Figura 29. Colegio Ingeniería34

Figura 30. Iglesia Maranatha34

Figura 31. Servicio Médico Social34

Figura 32. Museo Real Felipe.....35

Figura 33. Biblioteca Pública Municipal35

Figura 34. Museo Real Felipe.....35

Figura 35. Biblioteca Pública Municipal35

Figura 36. Policlínico Callao36

Figura 37. Centro Comercial TOTTUS36

Figura 38. Policlínico Alberto Leopoldo Barton Thompson36

Figura 39. Municipalidad del Callao36

Figura 40. Gran Unidad Escolar del Callao “2 de Mayo”37

Figura 41. Comisaría de La Perla37

Figura 42. Comedor del Pueblo Teresa Izquierdo37

Figura 43. Centro de Salud Alberto Barton37

Figura 44. I.E Adventista Alborada38

Figura 45. I.E.P Señor de los Milagros38

Figura 46. Casa Asilo de Las Hermanitas de Los Hermanos Desamparados38

Figura 47. I.E.P María Auxiliadora38

Figura 48. I.E Salesiana Don Bosco39

Figura 49. I.E.P Peruano Japonés José Gálvez39

Figura 50. Mercado Chacaritas39

Figura 51. I.E Augusto Cazarlo N°5019.....39

Figura 52. I.E.P San Benito40

Figura 53. Sunarp.....40

Figura 54. I.E Diego Thomson.....40

Figura 55. I.E Lawrence Kohlberg40

Figura 56. I.E.P Señor del Mar41



Figura 57. Mercado Ciudadela Chalaca41

Figura 58. I.E.P Cochrane41

Figura 59. I.E San José Hermanos Maristas41

Figura 60. Poder Judicial Corte Superior del Callao42

Figura 61. I.E Nuestra Señora de Guadalupe N° 500742

Figura 62. Iglesia Inmaculada Concepción42

Figura 63. Ministerio Publico del Cercado del Callao.....42

Figura 64. Colegio Inicial América43

Figura 65. Deposito Químico Odfjell Terminals43

Figura 66. Aduana Marítima del Callao43

Figura 67. Comisaria Ciudadela Chalaca44

Figura 68. Hospital de la Base Naval del Callao44

Figura 69. I.E. 5045 María Reiche44

Figura 70. Iglesia Santa Rosa44

Figura 71. Iglesia El Redentor45

Figura 72. Iglesia Nuestra Señora del Perpetuo Socorro45

Figura 73. Mercado La Libertad.....45

Figura 74. Mercado La Chalaca45

Figura 75. Centro de Salud Nestor Gambeta.....46

Figura 76. Centro de Salud Ramón Castilla.....46

Figura 77. I.E.P Santa Ana.....46

Figura 78. I.E. 5048 “Mariscal Ramón Castilla Marquesado”46

Figura 79. I.E.P. Húsares de Junín Inicial-Primaria47

Figura 80. I.E.P. Santa María Magdalena.....47

Figura 81. Nido Cuna Virgen de Los Ángeles.....47

Figura 82. I.E.P N°10147

Figura 83. Mercado Cooperativa de Servicios Nestor Gambetta48

Figura 84. Parroquia Nuestra Sra. del Rosario48

Figura 85. Mercado Sarita Colonia48



Figura 86. I.E. Nestor Gambetta Bonatti.....48

Figura 87. Centro de Salud Boterin49

Figura 88. Centro de Salud Santa Fe49

Figura 89. Mercado Municipal Del Callao Asociación De Floristas Artesanos49

Figura 90. Poder Judicial - Corte Superior de Justicia del Callao49

Figura 91. Colegio María Reina de Corazones.....50

Figura 92. Instituto Chaminade de Marianistas.....50

Figura 93. Colegio María Madre del Redentor.....50

Figura 94. Institución educativa inicial N095 Santa Rosa50

Figura 95. Institución Educativa Juan Francisco de la Bodega y Quadra51

Figura 96. Colegio Privado Bella Unión51

Figura 97. Centro Comercial Elektra.....51

Figura 98. I.E. Inicial N 094 Miguel Grau51

Figura 99. I.E.P. Isidro Iturrizaga Bautista52

Figura 100. I.E.P N 4007 Virgen del Pilar52

Figura 101. Colegio Jesús es mi Luz.....52

Figura 102. Consultorio Médico P. Eladio Mozas52

Figura 103. I.E.P. Mi Pequeño Mundo de Colores.....53

Figura 104. I.E. Pedro Ruiz53

Figura 105. Supermercado Makro53

Figura 106. Centro de Salud Callao.....53

Figura 107. Comisaría PNP la Legua54

Figura 108. Colegio Emma Dettmann De Gutierrez.....54

Figura 109. Colegio Paradise Home School.....54

Figura 110. I.E.P Santiago Antúnez de Mayolo54

Figura 111. Centro de estimulación temprana La Casita Azul55

Figura 112. Supermercado Plaza Vea.....55

Figura 113. Colegio Santa Rosa de Lima55

Figura 114. Iglesia de Dios de la Profecía55



Figura 115. Colegio Maria Reina de Corazones56

Figura 116. CEP Nueva Jerusalén56

Figura 117. Politécnico Nacional del Callao.....56

Figura 118. IE 5031 Cesar Vallejo56

Figura 119. Parroquia Santa Mónica57

Figura 120. I.E.5026 José María Arguedas57

Figura 121. I.E.109 Divino Jesús.....57

Figura 122. Parroquia Cristo Liberador.....57

Figura 123. Iglesia Nueva Apostólica58

Figura 124. I.E. Julio Ramón Ribeyro58

Figura 125. Comisaria de Boca Negra.....58

Figura 126.Colegio Saco Oliveros58

Figura 127. I.E. 5099 Ricardo Palma.....59

Figura 128. Parroquia Santa María Reyna59

Figura 129. I.E. 5079 Jorge Chavez Darnell59

Figura 130. Hospital Lima Norte - Callao “Luis Negreiros Vega”60

Figura 131. Comisaría Juan Ingunza Valdivia60

Figura 132. I.E. “Alcides Spelucin Vega”60

Figura 133. I.E.P. “Christus Corpus” Ceba60

Figura 134. Colegio “Sor Ana De Los Angeles”61

Figura 135. I.E.P. “Señor de Gualamita”61

Figura 136. Parroquia San Juan Macias.....61

Figura 137. I.E. “PNP Juan Ingunza Valdivia”61

Figura 138. Colegio “Señor De Los Milagros”62

Figura 139. Compañía De Bomberos Salvadora Callao N°962

Figura 140. I.E. 5083 San Martín De Porres - Callao62

Figura 141. I.E.P Madre Teresa de Calcuta (3,4 y 5 años)62

Figura 142. I.E.P Alfredo Rebaza Acosta De Los Jazmines63

Figura 143. I.E.P. Jean Calvin Lefranc63



Figura 144. I.E. N° 5126 Los Jazmines - Callao63

Figura 145. I.E. “Mi Dulce Carito”63

Figura 146. Centro de Salud “El Alamo”64

Figura 147. Parroquia Santo Toribio de Mogrovejo64

Figura 148. I.E. “Crecemos Juntos”64

Figura 149. Gobierno Regional del Callao64

Figura 150. Nido.....65

Figura 151. Iglesia Jesús es el Camino65

Figura 152. IEP El Mundo de los Niños65

Figura 153. Capilla Católica Niño Jesús65

Figura 154. Colegio Jordán de Jesús66

Figura 155. IE 5097 San Juan Macias66

Figura 156. Parroquia María Madre de Dios66

Figura 157. IEP Leonardo da Vinci66

Figura 158. Capilla Virgen del Carmen67

Figura 159. Institución Educativa Inicial IN82 Pastorcitos de Oquendo67

Figura 160. Capilla Señor de la Misericordia67

Figura 161. Institución Educativa Particular James Prescott Joule67

Figura 162. Aldeas Infantiles SOS.....68

Figura 163. Monasterio Madres Carmelitas68

Figura 164. Institución Educativa Particular Jesús Divino Redentor68

Figura 165. Institución Educativa Particular Carlos Noriega68

Figura 166. Institución Educativa Particular Viccel69

Figura 167. Institución Educativa Particular Jesús Sagrado Chaperito69

Figura 168. Torre de alta tensión.....69

Figura 169. Institución Educativa Particular Padre Eterno69

Figura 170. Institución Educativa Particular Children´s House.....70

Figura 171. Colegio Municipal Federico Villarreal70

Figura 172. Institución Educativa Particular Albert Einstein70



Figura 173. Institución Educativa Particular Blas Pascal70

Figura 174. Institución Educativa Particular Juan Ligthart71

Figura 175. Institución Educativa Particular Amadeo Mozart.....71

Figura 176. Institución Educativa Particular Juan Pablo Oquendo.....71

Figura 177. Base de datos de los lotes representativos por manzana72

Figura 178. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento74

Figura 179. Distribución del uso del suelo de la muestra del Cercado del Callao75

Figura 180. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del Cercado del Callao ..75

Figura 181. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del Cercado del Callao.....76

Figura 182. Mapa de Distribución de los materiales de construcción predominante del Cercado del Callao.....76

Figura 183. Distribución del número de pisos de las edificaciones del Cercado del Callao .77

Figura 184. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del Cercado del Callao77

Figura 185. Distribución del uso del sistema estructural muestra del Cercado del Callao.....78

Figura 186. Mapa del uso del sistema estructural muestra del Cercado del Callao78

Figura 187. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del Cercado del Callao79

Figura 188. Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del Cercado del Callao80

Figura 189. Edificación representada por un sistema equivalente82

Figura 190. Mapa de vulnerabilidad del Cercado del Callao85

Figura 191. Proceso de generación del mapa de riesgo.....87

Figura 192. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas ..88

Figura 193. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW).....89

Figura 194. Roturas por Km en tubos CIP y PVC.....93

Figura 195. Roturas por Km en tubos de acero dúctil.....94

Figura 196. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC.94

Figura 197. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil.95

Figura 198. Mapa de Tipos de Tubería en Cercado del Callao.....96



Figura 199. Roturas por criterio de Yamazaki (2008).....97

Figura 200. Roturas por criterio de Isoyama (2000).....98

Figura 201. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2019 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).101

Figura 202. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Dorbath et al., 1990)102

Figura 203. Ubicación de los terremotos, y las réplicas, que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.....103

Figura 204. La erosión producto del tsunami del 23 de junio del año 2001 en la playa la Punta-Camaná, la altura máxima de ola en esta zona fue hasta de 7.5m (izquierda) (ITST, 2001a). Un bote pesquero arrastrado 1.3km en la zona donde la inundación llegó a 2km producto del tsunami del 15 de agosto de 2007 (derecha) (Fritz et al., 2008).....104

Figura 205. Consecuencias producidas por el tsunami del 23 de junio del año 2001 en la playa La Punta en Camaná (Fotos: Municipalidad de Camaná).104

Figura 206. Localización del distrito Del Cercado del Callao.105

Figura 207. Proceso del origen de los tsunamis en las costas peruanas (Fuente: www.oannes.org.pe).106

Figura 208. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.109

Figura 209. Distribución de desplazamientos para los seis escenarios sísmicos de 8.5 – 9.0 Mw, que constan de 280 sub fallas cada uno.112

Figura 210. Deformación inicial de la superficie del océano para los seis escenarios sísmicos de 8.5 – 9.0 Mw115

Figura 211. Dominios utilizados EN la simulación numérica, distribución de los 5 dominios. (Mapa base: Fuente GEBCO y NOAA).....116

Figura 212. Capturas instantáneas en diferentes instantes de la propagación del tsunami, donde el color azul representa el desplazamiento vertical positivo y el color celeste el desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario de 8.8 Mw.117

Figura 213. Ubicación de los mareógrafos virtuales situados en las costas del Cercado del Callao.118

Figura 214. Señal sintética del tsunami para los escenarios propuestos de 8.5 a 8.9 Mw en las costas del Cercado del Callao.119

Figura 215. Alturas de la primera y máxima ola a lo largo de la costa de la zona de estudio para los seis escenarios, de Norte a Sur.121



Figura 216. Alturas de olas a lo largo de la costa del Callao. Las barras celestes y anaranjadas representan la altura de la primera y máxima ola en la costa respectivamente para el escenario de Mw 8.8..... 122

Figura 217. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.5 Mw. 124

Figura 218. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.6 Mw. 124

Figura 219. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.7 Mw. 125

Figura 220. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw. 125

Figura 221. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw. 126

Figura 222. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 9.0 Mw. 126



LISTA TABLAS

Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos	73
Tabla 2. Resultados del daño en el Cercado del Callao para un escenario de sismo severo	89
Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales	90
Tabla 4. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el Cercado del Callao.....	92
Tabla 5. Tipo de tuberías de agua en el Cercado del Callao.	96
Tabla 6. Tsunamis históricos que han afectado las costas del Perú de acuerdo a NGDC Tsunami Database.	102
Tabla 7. Fuentes y resolución de la topografía y batimetría para la simulación numérica ...	120
Tabla 8. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami	120
Tabla 9. Valores corregidos de alturas máximas de olas.....	123
Tabla 10. Número de manzanas afectadas por el tsunami según la magnitud simulada. ...	127



ESTUDIO DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN ZONAS UBICADAS EN EL ÁREA URBANA DEL DISTRITO DEL CALLAO (CERCADO DEL CALLAO)

TOMO III: ESTIMACIÓN DEL RIESGO

PRODUCTO 03: ESTUDIOS DE MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA Y ANÁLISIS DE RIESGO EN ZONAS DE ESTUDIOS UBICADAS EN EL ÁREA DEL DISTRITO DEL CALLAO (CERCADO DEL CALLAO)

1. ANTECEDENTES

El Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (MVCS) de conformidad con la Ley N° 30156, tiene entre sus competencias el desarrollar, contribuir, coordinar y ejecutar acciones para el proceso de gestión del riesgo de desastres, en el marco del Sistema Nacional de Gestión del Riesgo de Desastres (SINAGERD). Asimismo, en concordancia con lo dispuesto en la Ley N° 29158, Ley Orgánica del Poder Ejecutivo, ejerce competencias compartidas con los Gobiernos Regionales y Gobiernos Locales, en materia de vivienda, urbanismo, construcción y saneamiento. El Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres - CISMID, fundado por la Facultad de Ingeniería Civil de la UNI, es una institución de sólido prestigio internacional, cuya misión es la difusión de conocimientos en prevención y mitigación de desastres a través de la investigación y aplicación de tecnologías propias para contribuir al desarrollo sostenible y prosperidad de los pueblos del país. Ambas instituciones unen esfuerzos a fin de lograr el conocimiento de los Estudios de Microzonificación Sísmica y Análisis de Riesgo Sísmico en el área urbana del Distrito del Callao (Cercado de Callao). Por este motivo, el MVCS y la UNI, firman el convenio específico para la ejecución de los estudios en fecha 26 de octubre de 2020.

El presente informe que constituye el Producto 3 del convenio específico en referencia, presenta la estimación del riesgo del área urbana del Distrito del Callao (Cercado del Callao).

2. INTRODUCCIÓN

El Cercado del Callao es uno de los 7 distritos que conforman la provincia constitucional del Callao en el Perú. Es la capital provincial. Fue creado como distrito mediante Decreto del 20 de agosto de 1836.

Acerca de la Historia del Cercado del Callao

Callao es una ciudad portuaria ubicada en la provincia constitucional del Callao, en el centro-oeste del Perú y a su vez en la costa central del litoral peruano y en la zona central occidental de América del Sur. Tiene al oeste el océano Pacífico y a 10 kilómetros al este el Centro Histórico de Lima.

**PERÚ**Ministerio
de Vivienda, Construcción
y SaneamientoViceministerio de
Vivienda y UrbanismoPrograma Nuestras
CiudadesUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

La mayor parte de su territorio se extiende en una amplia bahía protegida por las islas San Lorenzo, El Frontón, Cavinzas y el islote Redondo, al sur de la desembocadura del río Rímac, pero también alcanza la parte más norteña de la bahía de Lima. Ambas bahías están separadas por una península conocida como La Punta. Su extensión es de 148,57km², incluidos 17,63km² insulares, encontrándose a 5 msnm.

Desde la época virreinal, el puerto del Callao ha sido el mayor puerto marítimo del Pacífico Sur, el más importante del Perú y uno de los más importantes de América. Hoy en día posee en su circunscripción el principal puerto del país y el Aeropuerto Internacional Jorge Chávez, por lo que se constituye en la principal puerta de entrada al Perú. Estos a su vez son el puerto y aeropuerto 'naturales' de la ciudad de Lima.

En población, Callao vendría a ser la tercera ciudad del país, con más de 1 millón de habitantes (solo por detrás de Lima y Arequipa). Tiene una población flotante aproximada de 500 000 habitantes que la visitan diariamente por motivos familiares, turísticos, educativos y empresariales, entre otros. Callao siempre tuvo el privilegio de recibir a visitantes militares en especial marinos, comerciantes, inmigrantes, turistas y otros tipos de corrientes sociales.

El pueblo chalaco ha sido siempre protagonista de muchos acontecimientos históricos nacionales. Por ejemplo, es en esta ciudad, el Perú luchó por su independencia o donde tuvo que defender su soberanía nacional, por citar los más destacados. Precisamente, es en estos parajes en donde al Callao se le concede el título de «Provincia Constitucional», título que sin embargo no reviste ninguna diferencia con las demás provincias peruanas (excepto el no pertenecer a ningún departamento del Perú). Es más bien un título honorario que se le concedió al momento de su constitución por su importancia histórica y por su importancia comercial como primer puerto peruano.

Hay que mencionar que la provincia constitucional del Callao comprende misma área territorial que la Región Callao, sin embargo son circunscripciones diferentes con distintas competencias políticas.

3. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

3.1. Mapa de Microzonificación Sísmica

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

**PERÚ**Ministerio
de Vivienda, Construcción
y SaneamientoViceministerio de
Vivienda y UrbanismoPrograma Nuestras
CiudadesUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

tomar decisiones para orientar el crecimiento y desarrollo urbano de manera sostenible en una ciudad, disminuyendo su riesgo ante la ocurrencia de un sismo severo.

Las características mecánicas y dinámicas del suelo del Cercado del Callao han sido determinadas en el presente estudio y son representadas en los mapas de Microzonificación Geotécnica y de Isoperiodos (Mapa II-3 y Mapa II-4 del Tomo II respectivamente), de la misma manera el Mapa II-5 del Tomo II presenta el resultado de los Peligros de Origen Natural que afectan al distrito. Los resultados de estos mapas son superpuestos en la superficie del área de estudio, permitiendo obtener el Mapa de Microzonificación Sísmica (Mapa III-1 del presente Tomo III), identificándose un comportamiento homogéneo del suelo frente a la ocurrencia de un sismo severo. A continuación se describen las zonas obtenidas:

Zona I

Esta zona está conformada por depósitos de gravas de compacidad medianamente densa a densa, con estratos superficiales de arenas, limos y/o arcillas de poco espesor; y afloramientos de roca con diferentes grados de fracturación.

Los afloramientos de rocas presentes en esta zona son provenientes de la formación Cerro Blanco, en donde predominan las rocas del tipo areniscas de origen piroclástico y volcánico.

Por otro lado los depósitos de gravas son materiales de origen aluvial y coluvial, de compacidad medianamente densa a densa, de humedad baja y nula plasticidad. Los depósitos de gravas son materiales, que pertenecen al abanico fluvial depositado por el río Rímac y el río Chillón y coluvial por su procedencia de los cerros del distrito. Se caracterizan por ser materiales de bordes sub redondeados a redondeados en las partes bajas e intermedias del área de estudio, y sub angulosos en las partes topográficamente elevadas del área de estudio.

Los depósitos de gravas están inmersos en una matriz areno-limo-arcillosa y se encuentran emplazados principalmente en sectores colindantes con los distritos de Carmen de La legua y San Martín de Porres, dichos materiales se encuentran por lo general por debajo de los materiales superficiales como arenas, limos y/o arcillas; y superficialmente, sobre rocas en las partes altas del área de estudio.

La capacidad de carga admisible estimada en esta zona, considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y un desplante mínimo de 0.80 m, es de 5.0 kg/cm² si se desplanta roca fracturada y de 2.0 kg/cm² a 4.0 kg/cm² si se desplanta sobre grava. Estos materiales presentan las mejores características geotécnicas para cimentar viviendas convencionales.

Debido a la dispersión de resultados obtenidos en los ensayos químicos, no se puede definir un único tipo de cemento contra el ataque de los sulfatos en esta zona, sin embargo, se recomienda que el concreto de la cimentación, deberá ser diseñado con cemento portland tipo I, cuando el ataque por sulfatos sea leve, cemento portland puzolánico tipo IP o tipo II, para ataque moderado, y cemento portland tipo V, para ataque severo; se deberá realizar estudios específicos en esta zona a fin de definir el tipo de cemento a utilizar.

Esta Zona I concentra la mayor parte del área de estudio con un 47% del área total, como se aprecia en el Mapa II-3 del presente Tomo II.



PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento

Viceministerio de
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras
Ciudades



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



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

Zona II

Esta zona se encuentra conformada por Depósitos de arenas de compacidad media a densa, y limos y/o arcillas de consistencia media a dura.

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales, estos materiales están cubiertos por rellenos superficiales en algunos casos y por lo general presentan humedad baja, se encuentran en sectores próximos a los distritos de Carmen de La Legua Reynoso y Bellavista. Estos materiales se encuentran generalmente conformando intercalaciones de estratos de arenas y limos-arcillas de diferente espesor; presentan potencias de poca a mediana profundidad y están emplazados sobre los depósitos de gravas.

La capacidad de carga admisible estimada en esta zona, considerando una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y un desplante mínimo de 0.80 m, es de 1.0 kg/cm² a 2.0 kg/cm². Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas favorables para la cimentación de edificaciones. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Debido a la dispersión de resultados obtenidos en los ensayos químicos, no se puede definir un único tipo de cemento contra el ataque de los sulfatos en esta zona, sin embargo, se recomienda que el concreto de la cimentación, deberá ser diseñado con cemento portland tipo I, cuando el ataque por sulfatos sea leve, cemento portland puzolánico tipo IP o tipo II, para ataque moderado, y cemento portland tipo V, para ataque severo; se deberá realizar estudios específicos en esta zona a fin de definir el tipo de cemento a utilizar.

Esta Zona II concentra un 41% del área de estudio, como se aprecia en el Mapa II-3 del presente Tomo II.

En esta zona se espera un incremento moderado del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los valores de períodos de oscilación lateral del suelo son menores a 0.40 s.

Zona III

Depósitos potentes de arenas de compacidad suelta a media, y limos y/o arcillas de consistencia blanda a media.

Son materiales que pertenecen a depósitos aluviales y marinos, estos materiales están cubiertos por rellenos superficiales, además presentan, en algunos casos, estratos con presencia de material orgánico, los suelos descritos para esta zona presentan humedad variable y presencia de nivel freático en algunos sectores.

Cabe señalar que en el sector próximo al distrito de la Punta, los rellenos están conformados por rellenos artificiales gravosos y/o estratos de suelos granulares gruesos sueltos de poco



espesor, con presencia de bolonería. Por otro lado los materiales arenosos y limo-arcillosos presentes en esta zona alcanzan potencias de hasta los 22.0 m en el sector de La Base Naval del Callao, próximo al litoral marino, luego del cual, por debajo de estos estratos potentes encontramos a los depósitos de gravas.

La capacidad de carga admisible estimada en esta zona, considerando una cimentación superficial corrida de 0.60 m de ancho y un desplante mínimo de 0.80 m, es de 0.5 kg/cm² a 1.3 kg/cm². Los tipos de suelos descritos en esta zona presentan características geotécnicas poco favorables para la cimentación superficial de edificaciones, en tanto para esta zona se recomienda usar cimentación por pilotes, ya que los suelos superficiales tienen una baja resistencia y son altamente compresibles en algunos casos.

Debido a la dispersión de resultados obtenidos en los ensayos químicos, no se puede definir un único tipo de cemento contra el ataque de los sulfatos en esta zona, sin embargo, se recomienda que el concreto de la cimentación, deberá ser diseñado con cemento portland tipo I, cuando el ataque por sulfatos sea leve, cemento portland puzolánico tipo IP o tipo II, para ataque moderado, y cemento portland tipo V, para ataque severo; se deberá realizar estudios específicos en esta zona a fin de definir el tipo de cemento a utilizar.

Esta Zona III se encuentra próxima al litoral marino en el sector sur del área de estudio y concentra un 9% del área total, como se aprecia en el Mapa II-3 del presente Tomo II

En esta zona se espera un incremento severo del nivel de peligro sísmico estimado por efecto del comportamiento dinámico del suelo. Los valores de períodos de oscilación lateral del suelo son mayores a 0.40 s.

Zona V

Esta zona incluye a los rellenos, que son depósitos antrópicos no controlados, identificados en el sector norte del área de estudio, específicamente, al margen izquierdo del río Chillón. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos.

La Zona V se encuentra en el sector norte del área de estudio y concentra el 0.2% del área total, como se aprecia en el Mapa II-3 del presente Tomo II.

Dada la heterogeneidad de este tipo de materiales, es sumamente complicado predecir su comportamiento mecánico, por esta razón, y siguiendo las recomendaciones de la Norma E050 (2018) de debe restringir todo tipo de construcción en esta zona hasta no haber removido en su totalidad el material de relleno.

El comportamiento dinámico del suelo en esta zona es el más desfavorable por la presencia del material de relleno.

Es importante indicar que los estudios realizados en este distrito no han identificado ni han encontrado materiales correspondiente a la zona sísmica Tipo IV.

3.2. Mapa 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 cuantitativa estimando el valor de la aceleración

horizontal máxima esperada para el suelo; para ello se utilizará como dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico para el Cercado del Callao (ver ítem 6.5, Tomo II) que corresponde para un suelo “Tipo C” (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA (Peak Ground Acceleration) de 462.27 cm/s^2 ; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica III-1 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente (2016) por la aceleración máxima PGA de 462.27 cm/s^2 de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración máxima
I	1.00	468.82 cm/s^2
II	1,05	492.26 cm/s^2
III	1.10	515.70 cm/s^2
V	1.3	609.46 cm/s^2

El valor obtenido para las zonas descritas es mostrado en el mapa III-2 del presente Tomo III.

3.3. Mapa de Zonas de Velocidades

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

Para la elaboración del mapa de velocidades 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:

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

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 Cercado del Callao, 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-2 del presente Tomo III y el mapa II-4 del Tomo II, respectivamente. Los valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el Cercado del Callao se muestran en el mapa III-3 del presente Tomo III.



4. MAPAS DE VULNERABILIDAD

4.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral

4.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal

Para el desarrollo de las actividades del levantamiento de datos de campo, se inició el trabajo con la selección de los ingenieros coordinadores, se organizaron grupos de trabajo asignando tres personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo. El personal seleccionado fue formado por un grupo de jóvenes ingenieros, estudiantes de postgrado y estudiantes del último año de ingeniería que laboran como asistentes de investigación o realizan su tesis de antegrado o post grado en nuestro Centro. Este personal recibió un entrenamiento basado en el procedimiento de evaluación. Este procedimiento ha sido diseñado para poder representar de la mejor manera las tipologías constructivas de nuestro país, resaltando el sistema estructural, los materiales utilizados y en general las condiciones físicas de la edificación. Durante las visitas de campo se respetaron los protocolos de seguridad y distanciamiento contra el COVID-19 evitando contacto con personas y vecinos.

4.1.2. Metodología de toma de datos

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

4.1.3. Plantilla para la encuesta

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

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



Esta información es complementada con la toma de fotografía del lote representativo de la manzana, donde se pueda identificar la estructura de la edificación. Posteriormente esta fotografía se codifica para que coincida con el identificador del lote y de esta manera poder almacenar la fotografía en la base de datos geoespacial.

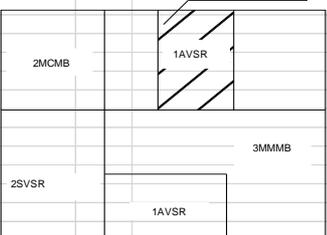
 CONVENIO CISMID/FIC/UNI – MINISTERIO DE VIVIENDA, CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO ESTUDIO DE RIESGO SÍSMICO DEL DISTRITO DEL CALLAO				
				
INFORMACIÓN DE LA MANZANA				
CÓDIGO DE LA MANZANA:				
LEYENDA PARA LA CODIFICACIÓN DEL LOTE				
No.Pisos (1)	Material (2)	Usos (3)	Sistema Estructural (4)	Conservación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

Figura 1. Formato de ayuda para codificación del lote

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

Achurar lote representativo

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

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

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

- d) La sectorización del distrito se muestra en la Figura 3, en donde son identificados los 10 sectores en que se dividió el Cercado del Callao.

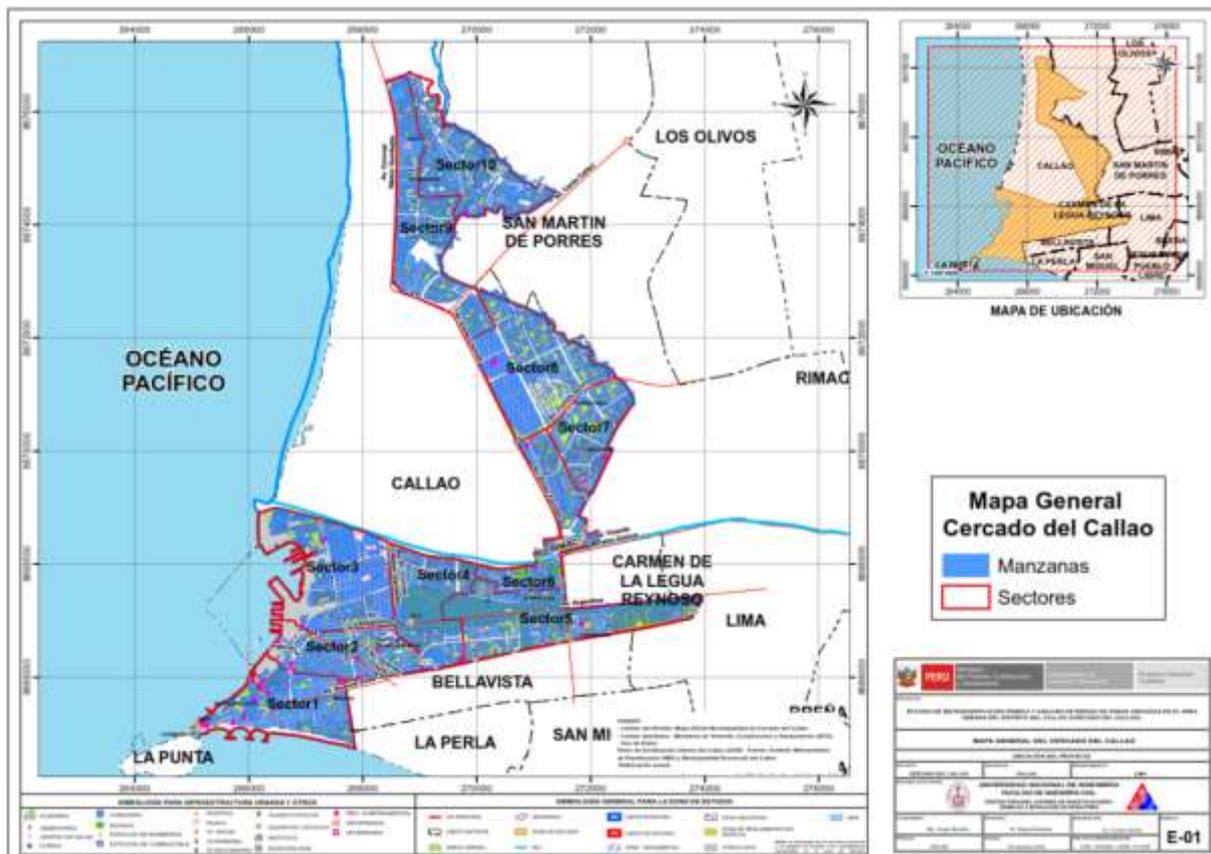


Figura 3. Sectores de evaluación del Cercado del Callao

4.1.5. Procedimiento y control de calidad de datos de campo

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

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



b) Clasificación de datos

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

c) Verificación de los datos recogidos

Se llevaron a cabo dos niveles de control de calidad:

c1 - Un control de calidad en campo:

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

c2 – Un control de calidad en gabinete:

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

4.1.6. Georeferenciación y Compatibilización de Planos

a) Definición del sistema de georeferenciación.

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

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

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

4.1.7. Sistematización de la Información

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

La evaluación de las edificaciones, si bien es cierto que se identificó una evaluación genérica a nivel de lote, la presentación de los resultados se basa en la identificación del lote



representativo de la manzana. Para realizar la evaluación y trabajo de campo se seleccionó una muestra estadística distribuida espacialmente entre todas las manzanas del distrito. Para la selección de manzanas se definió que por lo menos el 36.0% del total de manzanas debe ser evaluado.

4.1.8. Ubicación de las manzanas a evaluar

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

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

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

Es decir, si bien la ubicación de la distribución sigue un valor aleatorio tanto para las coordenadas norte como este, en un sistema de referencia UTM, esta ubicación tiene límites de borde, los cuales son los límites del distrito que son respetados al momento de generar las coordenadas de las selecciones de las manzanas. Es así que se generaron número aleatorios que siguen una distribución uniforme. En la Figura 4 se presenta el total de las 1000 manzanas del área estudiada del distrito, en color rojo las evaluadas y en color verde las 1776 manzanas no evaluadas. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 36%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle las manzanas que fueron evaluadas.

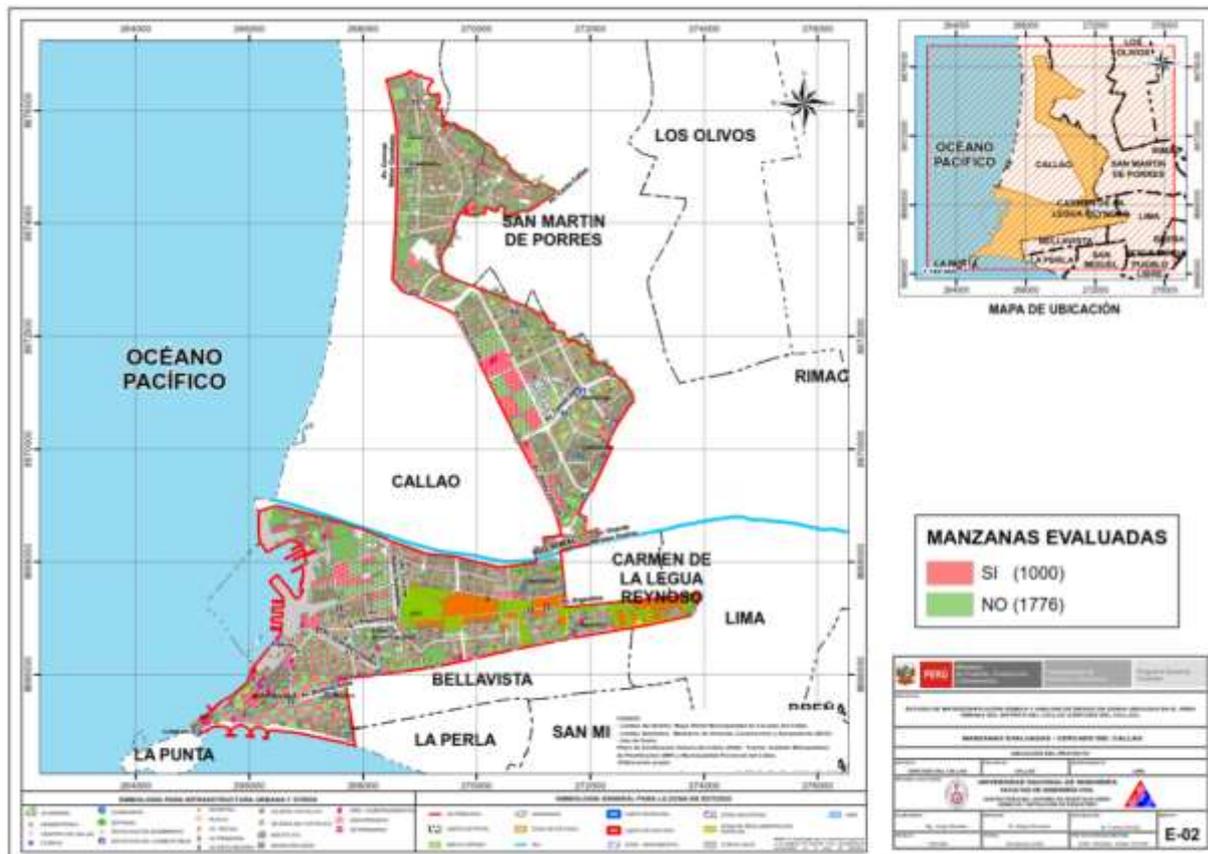


Figura 4. Manzanas totales (2776) versus manzanas seleccionadas (1000)

En el presente trabajo se optó por considerar un nivel de confianza del 98.6% bajo el supuesto que exista un error del orden del 1.10% en la desviación estándar, dando como resultado que el tamaño de la muestra es del 35.7% 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 (α) y el número de unidades de desviación estándar para alcanzar el nivel de confianza deseado (z).

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

Esto produce un tamaño muestral mínimo de 992 manzanas. En el presente estudio se mejoró este valor al considerar una muestra de 1000 manzanas, bajo la premisa, con este mayor número de manzanas se cubre mayor área y por lo tanto el análisis tiene una mayor consistencia.

4.2. Sectorización de la información de campo, con mapas georeferenciados.

4.2.1. Edificaciones

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

SECTOR 01

El Sector 01 se encuentra ubicado en la zona suroeste del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con: el sector 2 por el norte, la Av. Vigil por el este, el distrito de La Punta por el suroeste, y por el Océano Pacífico por el oeste y por el sur.

El total de manzanas evaluadas fueron de 110, de las cuales el 68.5% corresponden a viviendas unifamiliares, el 10.2% corresponden a comercio, y un 5.6% corresponde a vivienda y comercio, el 1.9% corresponde a edificaciones multifamiliares. La tipología predominante es la mampostería con el 67.6%, el adobe con 17.6%, la madera con el 7.4% y el concreto con el 6.5%. Las principales características observadas fueron que presenta el 62% con edificaciones de 2 pisos, sistema estructural de mampostería con el 41.7% y el estado de conservación es malo, en un 65.7%. La Figura 5, Figura 6 Y Figura 7 muestra unas viviendas representativas del sector 01.



Figura 5. Viviendas de adobe



Figura 6. Vivienda de albañilería de dos niveles



Figura 7. Vivienda de entramados de madera de un nivel

SECTOR 02

El Sector 02 se encuentra ubicado en la zona suroeste del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con el sector 1 por el sur y con el sector 4 por el este, sector 3 por el norte, y Océano Pacífico por el oeste. El total de manzanas evaluadas fueron de 86. A continuación se presentan algunos tipos de viviendas encontradas en el sector 02.



Figura 8. Vivienda de tres niveles



Figura 9. Vivienda de dos niveles

En este sector se distinguen edificaciones de albañilería de dos y tres pisos como representativas de esta área

SECTOR 03

El Sector 03 se encuentra ubicado en la zona oeste del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con la Av. Vicente Morales Duarez por el norte, con el sector 2 por el sur, por el sector 4 por el este, y por el Océano Pacífico por el oeste.

El total de manzanas evaluadas fueron de 90. La Figura 10 y la Figura 11 muestran algunas viviendas representativas.



Figura 10. Vivienda de dos niveles



Figura 11. Vivienda de dos niveles

SECTOR 04

El Sector 04 se encuentra ubicado en la zona oeste del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con la Av. Oscar Raúl Benavides por el sur, por el norte con la Av. Vicente Morales Duarez, con los sectores 2 y 3 por el oeste y con los sectores 5 y 6 por el este.

En el sector fueron evaluadas 119 manzanas. En la Figura 12 y la Figura 13 que muestran algunas de las viviendas representativas del sector 4.



Figura 12. Vivienda de dos niveles



Figura 13. Vivienda de tres niveles

SECTOR 05

El Sector 05 se encuentra ubicado en la zona central del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con la Av. Oscar Raul Benavides por el sur, por el norte con el sector 6, con el sector 4 por el oeste.

En el sector fueron evaluadas 96 manzanas. En la Figura 14 y la Figura 15 que muestran algunas de las viviendas representativas del sector 5.



Figura 14. Vivienda de tres niveles



Figura 15. Vivienda de tres niveles

SECTOR 06

El Sector 06 se encuentra ubicado en la zona norte del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con el sector 5 por el sur, por el norte con la Av. Tomas Valle, con el aeropuerto por el oeste y por el este con la Av. Perú, Av. Quilca, Av. 2 de mayo y Jr. Lima.

En el sector fueron evaluadas 96 manzanas. En la Figura 16 y la Figura 17 que muestran algunas de las viviendas representativas del sector 6.



Figura 16. Vivienda de dos niveles



Figura 17. Vivienda de tres niveles

SECTOR 07

El Sector 07 se encuentra ubicado en la zona norte del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con la Av. Salaverry y Av. Condevilla por el sur, por el oeste con el sector 6, con el sector 8 por el norte.

En el sector fueron evaluadas 90 manzanas. En la Figura 18 y la Figura 19 que muestran algunas de las viviendas representativas del sector 7.



Figura 18. Vivienda de dos niveles



Figura 19. Vivienda de tres niveles

SECTOR 08

El Sector 08 se encuentra ubicado en la zona norte del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con la Av. Tomas Valle y Jr. Las Aguilas por el sur, por el oeste con el aeropuerto, con el sector 9 por el norte.

En el sector fueron evaluadas 114 manzanas. En la Figura 20 y la Figura 21 que muestran algunas de las viviendas representativas del sector 8.



Figura 20. Vivienda de tres niveles



Figura 21. Vivienda de dos niveles

SECTOR 09

El Sector 09 se encuentra ubicado en la zona norte del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con la Av. Colectora y Av. Alejandro Bertello Bollati por el sur, por el oeste con la Av. Nestor Gambetta, con el sector 10 por el norte.

En el sector fueron evaluadas 100 manzanas. En la Figura 22 y la Figura 23 que muestran algunas de las viviendas representativas del sector 8.



Figura 22. Vivienda de dos niveles



Figura 23. Vivienda de dos niveles

SECTOR 10

El Sector 10 se encuentra ubicado en la zona norte del Cercado del Callao. Este sector se encuentra delimitado con el sector 9 por el oeste y sur.

En el sector fueron evaluadas 112 manzanas. En la Figura 24 y la Figura 25 que muestran algunas de las viviendas representativas del sector 10.



Figura 24. Vivienda de dos niveles



Figura 25. Vivienda de dos niveles

4.2.2. Edificaciones esenciales

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

Sector 01

El Sector 01 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

La Institución Educativa Heroínas Toledo se encuentra en la manzana 150. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de albañilería. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 26.

La Asociación de Auxilio Mutuos se encuentra en la manzana 1466. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con diafragma rígido de losa aligerada. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 27.



Figura 26. Heroínas Toledo



Figura 27. Asociación de Auxilio Mutuos

El Centro de Salud se encuentra en la manzana 1466. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con diafragma rígidos de losa aligerada. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 28.

El Colegio Ingeniería se encuentra en la manzana 1471. Esta edificación de 02 nivel tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragma rígido de losa aligerada. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 29.



Figura 28. Centro de Salud

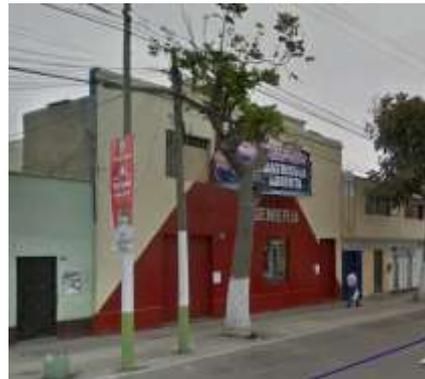


Figura 29. Colegio Ingeniería

La Iglesia Maranatha se encuentra en la manzana 1471. Esta edificación de 1 nivel tiene muros de albañilería confinada y techo ligero. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 30.

El Servicio Médico Social se encuentra en la manzana 1471. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragma rígido de losa aligerada. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 31.



Figura 30. Iglesia Maranatha



Figura 31. Servicio Médico Social

El Museo Real Felipe se encuentra en la manzana 1493. Esta edificación presenta muros de piedra y construcciones de concreto armado. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 32.

La Biblioteca Pública Municipal se encuentra en la manzana 1501. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural de mampostería confinada. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 33.



Figura 32. Museo Real Felipe



Figura 33. Biblioteca Pública Municipal

El Teatro Municipal del Callao Museo Real Felipe se encuentra en la manzana 1493. Esta edificación presenta muros de piedra y construcciones de concreto armado. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 34.

La Biblioteca Pública Municipal se encuentra en la manzana 1501. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural de mampostería confinada. La estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 35.



Figura 34. Museo Real Felipe



Figura 35. Biblioteca Pública Municipal

El Policlínico Callao se encuentra en la manzana 1457. Esta edificación de 03 niveles y azotea tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 36.

El centro comercial TOTTUS se encuentra en la manzana 1467. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural comercial a base de pórticos de acero resistentes a momento y cobertura ligera. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 37.



Figura 36. Policlínico Callao



Figura 37. Centro Comercial TOTTUS

El Policlínico Alberto Leopoldo Barton Thompson se encuentra en la manzana 1481. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 38.

La Municipalidad del Callao se encuentra en la manzana 1694. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de estructura de concreto armado con placas y cobertura ligera de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 39.



Figura 38. Policlínico Alberto Leopoldo Barton Thompson



Figura 39. Municipalidad del Callao

La Gran Unidad Escolar del Callao “2 de Mayo” se encuentra en la manzana 1514. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 40.

La Comisaría La Punta se encuentra en la manzana 1684. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados con muros de albañilería y cobertura ligera de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 41.



Figura 40. Gran Unidad Escolar del Callao "2 de Mayo"



Figura 41. Comisaría de La Perla

Sector 02

El Sector 02 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El comedor del pueblo Teresa Izquierdo se encuentra en la manzana 1214. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un mal estado de conservación. Ver Figura 42.

El centro de salud Alberto Barton se encuentra en la manzana 1234. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 43.



Figura 42. Comedor del Pueblo Teresa Izquierdo



Figura 43. Centro de Salud Alberto Barton

La institución educativa Adventista Alborada se encuentra en la manzana 1441. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 44.

La institución educativa particular Señor de los Milagros se encuentra en la manzana 1969. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería

confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 45.



Figura 44. I.E Adventista Alborada



Figura 45. I.E.P Señor de los Milagros

La casa asilo de Las Hermanitas de los Hermanos Desamparados se encuentra en la manzana 1360. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 46.

La institución educativa particular María Auxiliadora se encuentra en la manzana 1350. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 47.



Figura 46. Casa Asilo de Las Hermanitas de Los Hermanos Desamparados



Figura 47. I.E.P María Auxiliadora

La institución educativa Salesiana Don Bosco se encuentra en la manzana 1267. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 48.

La institución educativa particular Peruano Japonés José Gálvez se encuentra en la manzana 1377. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos

los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 49.



Figura 48. I.E. Salesiana Don Bosco



Figura 49. I.E.P. Peruano Japonés José Gálvez

El mercado Chacaritas se encuentra en la manzana 1288 y Institución educativa Augusto Cazarlo N°5019 se encuentra en la manzana 1200. Ambas edificaciones 02 niveles tienen un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general las estructuras presentan un regular estado de conservación. Ver Figura 50 y Figura 51.



Figura 50. Mercado Chacaritas



Figura 51. I.E. Augusto Cazarlo N°5019

La Institución Educativa Particular San Benito se encuentra en el sector 1428. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 52.

La Sunarp se encuentra en la manzana 1442. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural con placas de concreto armado y losas aligeradas en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 53.



Figura 52. I.E.P San Benito



Figura 53. Sunarp

La Institución Educativa Diego Thomson se encuentra en la manzana 1442. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 54.

La Institución Educativa Lawrence Kohlberg se encuentra en la manzana 1418. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 55.



Figura 54. I.E Diego Thomson



Figura 55. I.E Lawrence Kohlberg

La Institución Educativa Particular Señor del Mar y el mercado Ciudadela Chalaca se encuentran en la manzana 1384. Ambas edificaciones de 02 niveles tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. Las estructuras se encuentran en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 56 y Figura 57.



Figura 56. I.E.P Señor del Mar



Figura 57. Mercado Ciudadela Chalaca

La Institución Educativa Particular Cochrane se encuentra en la manzana 1339. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 58.

La Institución Educativa San José Hermanos Maristas se encuentra en la manzana 1961. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general las estructuras presentan un regular estado de conservación. Ver Figura 59.



Figura 58. I.E.P Cochrane



Figura 59. I.E San José Hermanos Maristas

El Poder Judicial Corte Superior del Callao se encuentra en la manzana 1383. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 60.

La Institución Educativa Nuestra Señora de Guadalupe N° 5007 se encuentra en la manzana 1155. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 61.



Figura 60. Poder Judicial Corte Superior del Callao



Figura 61. I.E. Nuestra Señora de Guadalupe N° 5007

La Iglesia Inmaculada Concepción se encuentra en la manzana 1336. Esta edificación tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 62.

El Ministerio Público del Cercado del Callao se encuentra en la manzana 1322. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 63.

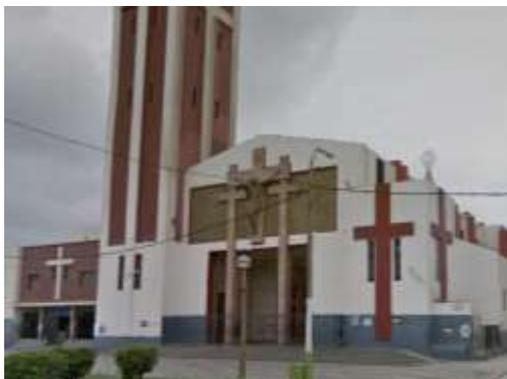


Figura 62. Iglesia Inmaculada Concepción



Figura 63. Ministerio Público del Cercado del Callao

El Colegio Inicial América se encuentra en la manzana 1970. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 64.



Figura 64. Colegio Inicial América

Sector 03

El Sector 03 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El Depósito Químico Odfjell Terminals se encuentra en la manzana 1031. Esta edificación de 7 niveles tiene un sistema estructural principalmente de pórticos de concreto armado con muros estructurales y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 65.

La Aduana Marítima del Callao se encuentra en la manzana 1761. Esta edificación de 4 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con muros estructurales y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 66.



Figura 65. Depósito Químico Odfjell
Terminals



Figura 66. Aduana Marítima del Callao

La Comisaria Ciudadela Chalaca se encuentra en la manzana 1042. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 67.

El Hospital de la Base Naval del Callao se encuentra en la manzana 1875. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 68.



Figura 67. Comisaria Ciudadela Chalaca



Figura 68. Hospital de la Base Naval del Callao

La Institución Educativa 5045 María Reiche se encuentra en la manzana 1888. Esta edificación de 2 niveles tiene el sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 69

La Iglesia Santa Rosa – Puerto Nuevo se encuentra en la manzana 1811. Esta edificación de 2 niveles tiene el sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 70.



Figura 69. I.E. 5045 María Reiche



Figura 70. Iglesia Santa Rosa

La Iglesia El Redentor se encuentra en la manzana 983. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas flexibles y calamina en el techo. En general la estructura presenta un mal estado de conservación. Ver Figura 71.

La Iglesia Nuestra Señora del Perpetuo Socorro se encuentra en la manzana 805. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragma rígido y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 72.



Figura 71. Iglesia El Redentor



Figura 72. Iglesia Nuestra Señora del Perpetuo Socorro

El Mercado La Libertad se encuentra en la manzana 1076. Esta edificación de un nivel tiene el sistema estructural de albañilería de construcción informal con calamina de techo. En general la estructura presenta un mal estado de conservación. Ver Figura 73.

El Mercado La Chalaca se encuentra en la manzana 1007. Esta edificación de un nivel tiene sistema estructural de albañilería de construcción informal con calamina de techo. En general la estructura presenta un mal estado de conservación. Ver Figura 74.



Figura 73. Mercado La Libertad



Figura 74. Mercado La Chalaca

Sector 04

El Sector 04 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El Centro de Salud Nestor Gambeta se encuentra en la manzana 752. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 75.

El Centro de Salud Ramón Castilla se encuentra en la manzana 658. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 76.



Figura 75. Centro de Salud Nestor Gambeta



Figura 76. Centro de Salud Ramón Castilla

La Institución Educativa Particular Santa Ana se encuentra en la manzana 668. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 77.

La Institución Educativa 5048 “Mariscal Ramón Castilla Marquesado” se encuentra en la manzana 682. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 78.



Figura 77. I.E.P Santa Ana



Figura 78. I.E. 5048 “Mariscal Ramón Castilla Marquesado”

La Institución Educativa Particular Húsares de Junín se encuentra en la manzana 810. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 79.

La Institución Educativa Particular Santa María Magdalena se encuentra en la manzana 810. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 80.



Figura 79. I.E.P. Húsares de Junín Inicial-Primaria



Figura 80. I.E.P. Santa María Magdalena

El Nido Cuna Virgen de Los Ángeles se encuentra en la manzana 810. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 81. La Institución Educativa Particular N°101 se encuentra en la manzana 916. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 82.

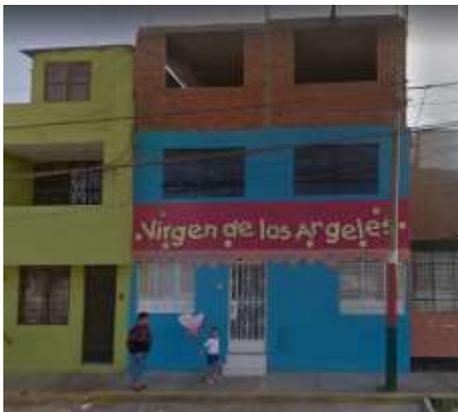


Figura 81. Nido Cuna Virgen de Los Ángeles



Figura 82. I.E.P. N°101

El Mercado Cooperativa de Servicios Nestor Gambetta se encuentra en la manzana 2032. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular Ver Figura 83.

La Parroquia Nuestra Sra. del Rosario se encuentra en la manzana 2032. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 84.



Figura 83. Mercado Cooperativa de Servicios
Nestor Gambetta



Figura 84. Parroquia Nuestra Sra. del Rosario

El Mercado Sarita Colonia se encuentra en la manzana 1187. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y calamina de techo. En general la estructura presenta un mal estado de conservación. Ver Figura 85

La Institución Educativa Nestor Gambetta Bonatti se encuentra en la manzana 826. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 86.



Figura 85. Mercado Sarita Colonia



Figura 86. I.E. Nestor Gambetta Bonatti

El Centro de Salud Boterin se encuentra en la manzana 2020. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 87.

El Centro de Salud Santa Fe se encuentra en la manzana 1261. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación, tal como se muestra en la Figura 88.



Figura 87. Centro de Salud Boterín



Figura 88. Centro de Salud Santa Fe

El Mercado Municipal Del Callao “Asociación De Floristas Artesanos” se encuentra en la manzana 1356. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y calamina de techo. En general la estructura presenta un mal estado de conservación como se muestra en la Figura 89.

El Poder Judicial - Corte Superior de Justicia del Callao se encuentra en la manzana 2010. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con placas y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 90.

Figura 89. Mercado Municipal Del Callao
Asociación De Floristas ArtesanosFigura 90. Poder Judicial - Corte Superior de
Justicia del Callao

SECTOR 05

El Sector 05 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El colegio María Reina De Corazones Primaria se encuentra en Tupac Amaru, Callao 07026 en la Manzana 888. Esta edificación cuenta con 4 niveles y tiene un sistema estructural basado en muros de albañilería confinados y se encuentra en regular estado de conservación. Ver Figura 91.

El Instituto Chaminade de Marianistas se encuentra en Callao 07026 en la Manzana 921. Es una estructura de 02 niveles y tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería

confinada y losa aligerada en todos los niveles. La estructura en general se encuentra en regular estado de conservación. Ver Figura 92.



Figura 91. Colegio María Reina de Corazones



Figura 92. Instituto Chaminade de Marianistas

El Colegio Parroquial María Madre del Redentor se encuentra en Tupac Amaru s/n, Callao 07026 en la manzana 921. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura se encuentra en regular estado de conservación. Ver Figura 93.

La Institución Educativa Inicial N095 Santa Rosa se encuentra en Callao 07026 en la manzana 933. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y un diafragma flexible de cobertura ligera. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 94.



Figura 93. Colegio María Madre del Redentor



Figura 94. Institución educativa inicial N095
Santa Rosa

La Institución Educativa Juan Francisco de la Bodega y Quadra se encuentra en Jr. Huancavelica 100 – Urb. Bella Unión en la manzana 112. La estructura cuenta con dos niveles y tiene un sistema estructural basado en muros de albañilería confinados y losas aligeradas. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 95.

El Colegio Privado Bella Unión se encuentra en Junín 125, Callao 07026 en la manzana 940. La estructura cuenta con cuatro niveles y tiene un sistema estructural basado en muros de

albañilería confinados y losas aligeradas en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 96.



Figura 95. Institución Educativa Juan Francisco de la Bodega y Quadra



Figura 96. Colegio Privado Bella Unión

El Centro Comercial Elektra se ubica en 3093 Av Argentina, Callao en la Manzana 950. La estructura presenta dos niveles y tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 97.

La I.E. Inicial N 094 Miguel Grau se ubica en Jirón Ramón Castilla MZE LT24, Callao 07026 en la manzana 944. La estructura presenta un nivel y tiene un sistema a base de muros de albañilería confinados. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 98.



Figura 97. Centro Comercial Elektra



Figura 98. I.E. Inicial N 094 Miguel Grau

El I.E.P Isidro Iturrizaga Bautista se encuentra en la Calle 5 con Melgar Callao 07001, en la manzana 1145. Esta edificación cuenta con dos niveles y tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinados y losa aligerada en todos los niveles. La estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 99.

La I.E.P N 4007 Virgen del Pilar se encuentra en el Pje. Andrés Avelino Cáceres en la manzana 1327. Esta edificación de dos niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinados y losas aligeradas. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 100.



Figura 99. I.E.P. Isidro Iturrizaga Bautista



Figura 100. I.E.P N 4007 Virgen del Pilar

El colegio “Jesús es mi Luz” se encuentra en la Calle 5 Mz P1 Lote 25, Urbanización Los Pilares, Callao, manzana 1342. La estructura cuenta con tres niveles y tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinados y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 101.

El Consultorio Médico P. Eladio Mozas se encuentra en la Av. Carbajal, manzana 1252. Esta edificación de dos niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 102.



Figura 101. Colegio Jesús es mi Luz



Figura 102. Consultorio Médico P. Eladio Mozas

La I.E.P. Mi Pequeño Mundo de Colores se encuentra en la Calle los Geranios, manzana 1238. Esta edificación de tres niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 103.

La I.E. Pedro Ruiz se encuentra en la avenida Loa, manzana 1054 y es una edificación de un nivel. El sistema estructural de la edificación es a base de muros de albañilería confinada y

losas aligeradas. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 104.



Figura 103. I.E.P. Mi Pequeño Mundo de Colores



Figura 104. I.E. Pedro Ruiz

El Supermercado Makro se encuentra también en la manzana 1059. La estructura presenta dos niveles y tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería. En general la estructura presenta un buen estado de conservación como se muestra en la Figura 105.

El Centro de Salud Callao se encuentra en Canchones 282, Callao 07001, manzana 1126. Esta edificación de un nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinados con cubiertas de calamina. En general La estructura se encuentra en regular estado de conservación como se muestra en la Figura 106.



Figura 105. Supermercado Makro



Figura 106. Centro de Salud Callao

La Comisaría PNP La Legua se encuentra en Manuel Vidaurre S/N, Callao 07006, manzana 1165. Esta edificación de dos niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinados y losas aligeradas. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 107.

El Colegio Emma Dettmann De Gutierrez se encuentra en Calle Capitan Ruy Diaz 316, manzana 1070. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros

de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 108.



Figura 107. Comisaría PNP la Legua



Figura 108. Colegio Emma Dettmann De Gutierrez

El Colegio Paradise Home School se encuentra en Manso de Velasco 308, Cercado de Lima 07006, manzana 1048. Esta edificación de tres niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 109.

La I.E.P Santiago Antúnez de Mayolo se encuentra en Manso de Velasco 386, manzana 1048. Esta edificación de tres niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 110.

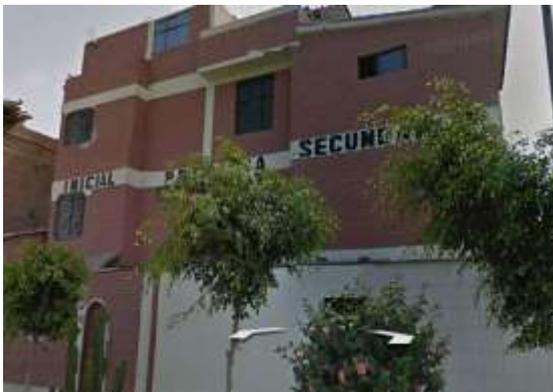


Figura 109. Colegio Paradise Home School



Figura 110. I.E.P Santiago Antúnez de Mayolo

El centro de estimulación temprana La Casita Azul se encuentra en Av. Conde de Lemos Bellavista Intersección con Calle Amat, Callao 456, manzana 1048. Esta edificación cuenta en el primer nivel con un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada y en el segundo nivel tiene un sistema de drywall. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 111.

El supermercado Plaza Vea se encuentra en la Av. Oscar R. Benavides 4929, Callao 07006, manzana 1996. Esta edificación de dos niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos

de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería. En general la estructura presenta un buen estado de conservación como se muestra en la Figura 112.



Figura 111. Centro de estimulación temprana La Casita Azul



Figura 112. Supermercado Plaza Vea

SECTOR 06

El Sector 06 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El Colegio Santa Rosa de Lima se encuentra en la manzana 431. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 113.

La Iglesia Dios de la Profecía se encuentra en la manzana 588. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 114.



Figura 113. Colegio Santa Rosa de Lima



Figura 114. Iglesia de Dios de la Profecía

El Colegio María Reina de Corazones se encuentra en la manzana 598. Esta edificación de 01 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados

de mampostería. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 115.

El CEP Nueva Jerusalén se encuentra en la manzana 687. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 116.



Figura 115. Colegio Maria Reina de Corazones



Figura 116. CEP Nueva Jerusalén

El Politécnico Nacional del Callao se encuentra en la manzana 700. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural de albañilería confinada. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 117.

El IE 5031 Cesar Vallejo se encuentra en la manzana 754. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural de albañilería confinada. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 118.



Figura 117. Politécnico Nacional del Callao



Figura 118. IE 5031 Cesar Vallejo

SECTOR 07

El Sector 07 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

La Parroquia Santa Mónica se encuentra en la manzana 423. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de albañilería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 119.

La Institución Educativa 5026 José María Arguedas se encuentra en la manzana 343. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructura de albañilería confinada con diafragmas rígidos en las direcciones predominantes y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 120.



Figura 119. Parroquia Santa Mónica



Figura 120. I.E. 5026 José María Arguedas

La Institución Educativa Inicial 109 Divino Jesús se encuentra en la manzana 423. Esta edificación de 01 nivel de mampostería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 121.

La Parroquia Cristo Liberador se encuentra en la manzana 2663. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 122.



Figura 121. I.E. 109 Divino Jesús



Figura 122. Parroquia Cristo Liberador

La Iglesia Nueva Apostólica se encuentra en la manzana 509. Esta edificación de 2 niveles tiene el sistema estructural de albañilería de construcción informal y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 123

La Institución Educativa Julio Ramón Ribeyro se encuentra en la manzana 482. Esta edificación de 2 niveles tiene el sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 124.



Figura 123. Iglesia Nueva Apostólica



Figura 124. I.E. Julio Ramón Ribeyro

La Comisaria de Boca Negra se encuentra en la manzana 459. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 125.

El Colegio Saco Oliveros se encuentra en la manzana 534. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural de mampostería confinada con diafragma rígido y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 126.



Figura 125. Comisaria de Boca Negra



Figura 126. Colegio Saco Oliveros

La Institución Educativa 5099 Ricardo se encuentra en la manzana 348. Esta edificación de 02 niveles tiene el sistema estructural de mampostería confiada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 127.

La Parroquia Santa María Reyna se encuentra en la manzana 348. Esta edificación de un nivel tiene sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 128.



Figura 127. I.E. 5099 Ricardo Palma



Figura 128. Parroquia Santa María Reyna

La Institución Educativa 5079 Jorge Chávez Darnell se encuentra en la manzana 306. Esta edificación de 02 niveles tiene el sistema estructural de mampostería confinada con diafragmas rígidos y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 129.



Figura 129. I.E. 5079 Jorge Chavez Darnell

SECTOR 08

El Sector 08 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El Hospital Lima Norte - Callao "Luis Negreiros Vega" se encuentra en la manzana 270. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 130.

La Comisaría Juan Ingunza Valdivia se encuentra en la manzana 263. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 131.



Figura 130. Hospital Lima Norte - Callao "Luis Negreiros Vega"



Figura 131. Comisaría Juan Ingunza Valdivia

La Institución Educativa "Alcides Spelucin Vega" se encuentra en la manzana 165. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 132.

La Institución Educativa Particular "Christus Corpus" Ceba se encuentra en la manzana 131. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 133.



Figura 132. I.E. "Alcides Spelucin Vega"



Figura 133. I.E.P. "Christus Corpus" Ceba

El Colegio "Sor Ana De Los Angeles" se encuentra en la manzana 201. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 134.

La Institución Educativa Particular "Señor de Gualamita" se encuentra en la manzana 236. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 135.



Figura 134. Colegio "Sor Ana De Los Angeles"



Figura 135. I.E.P. "Señor de Gualamita"

La Parroquia San Juan Macias se encuentra en la manzana 212. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 136.

La Institución Educativa "PNP Juan Ingunza Valdivia" se encuentra en la manzana 203. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 137.



Figura 136. Parroquia San Juan Macias



Figura 137. I.E. "PNP Juan Ingunza Valdivia"

El Colegio "Señor De Los Milagros" se encuentra en la manzana 2731. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 138.

La Compañía De Bomberos Salvadora Callao N°9 se encuentra en la manzana 2732. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de pórticos de acero resistente a momentos. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 139.

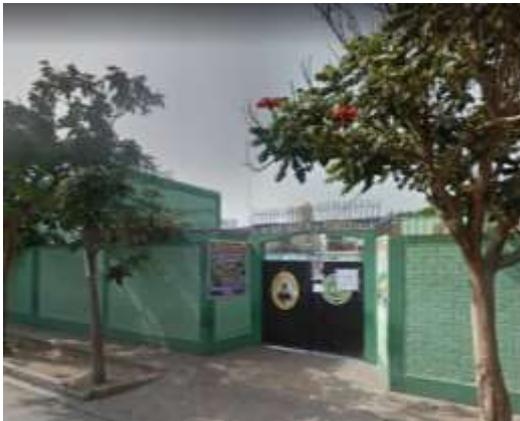


Figura 138. Colegio "Señor De Los Milagros"

Figura 139. Compañía De Bomberos
Salvadora Callao N°9

La Institución Educativa 5083 San Martín De Porres - Callao se encuentra en la manzana 183. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 140.

La Institución Educativa Particular Madre Teresa de Calcuta se encuentra en la manzana 108. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 141.

Figura 140. I.E. 5083 San Martín De Porres
- CallaoFigura 141. I.E.P. Madre Teresa de Calcuta (3, 4 y 5
años)

La Institución Educativa Particular Alfredo Rebaza Acosta De Los Jazmines se encuentra en la manzana 2737. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 142.

La Institución Educativa Particular Jean Calvin Lefranc se encuentra en la manzana 133. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación, tal como se muestra en la Figura 143.



Figura 142. I.E.P. Alfredo Rebaza Acosta De Los Jazmines



Figura 143. I.E.P. Jean Calvin Lefranc

La Institución Educativa N° 5126 Los Jazmines - Callao se encuentra en la manzana 1648. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 144.

La Institución Educativa “Mi Dulce Carito” se encuentra en la manzana 95. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con placas y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 145.

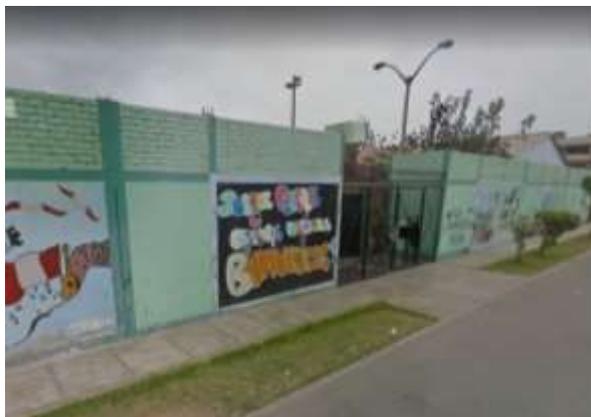


Figura 144. I.E. N° 5126 Los Jazmines - Callao



Figura 145. I.E. “Mi Dulce Carito”

El Centro de Salud “El Alamo” se encuentra en la manzana 86. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 146.

La Parroquia Santo Toribio de Mogrovejo se encuentra en la manzana 80. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 147.

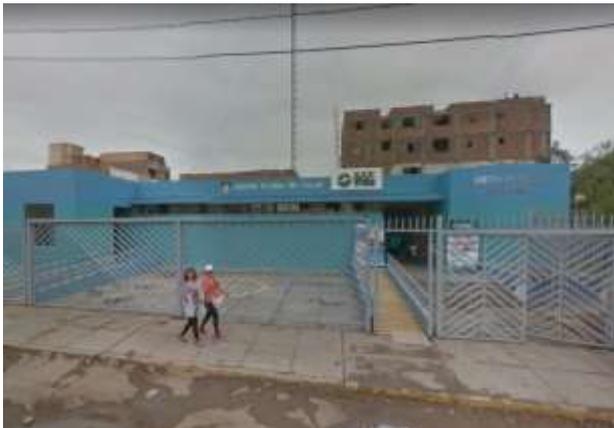


Figura 146. Centro de Salud "El Alamo"



Figura 147. Parroquia Santo Toribio de Mogrovejo

La Institución Educativa "Crecemos Juntos" se encuentra en la manzana 114. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un buen estado de conservación. Ver Figura 148.

La sede del Gobierno Regional del Callao se encuentra en la manzana 1681. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 149.



Figura 148. I.E. "Crecemos Juntos"



Figura 149. Gobierno Regional del Callao

SECTOR 09

El Sector 9 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

El Nido se encuentra en la manzana 23. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y cobertura de losa aligerada. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 150.

La Iglesia Jesús es el Camino se encuentra en la manzana 27. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y cobertura ligera de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 151.



Figura 150. Nido



Figura 151. Iglesia Jesús es el Camino

El IEP El Mundo de los Niños se encuentra en la manzana 29. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y cobertura de losa aligerada. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 152.

La Capilla Católica Niño Jesús se encuentra en la manzana 34. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y cobertura de concreto armado. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 153.



Figura 152. IEP El Mundo de los Niños



Figura 153. Capilla Católica Niño Jesús

El Colegio Jordán de Jesús se encuentra en la manzana 37. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y cobertura de losa aligerada. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 154.

El IE 5097 San Juan Macias se encuentra en la manzana 48. Esta edificación de 02 nivel tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 155.



Figura 154. Colegio Jordán de Jesús



Figura 155. IE 5097 San Juan Macias

La Parroquia María Madre de Dios se encuentra en la manzana 54. Esta edificación de 04 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y cobertura de losa aligerada. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 156.

El IEP Leonardo da Vinci se encuentra en la manzana 2760. Esta edificación de 02 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 157.



Figura 156. Parroquia María Madre de Dios



Figura 157. IEP Leonardo da Vinci

SECTOR 10

El Sector 10 cuenta con algunas edificaciones esenciales, tales como:

La capilla Virgen del Carmen se encuentra en la manzana 2113. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y cobertura ligera de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 158.

La Institución Educativa Inicial IN82 Pastorcitos de Oquendo se encuentra en la manzana 2121. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y cobertura ligera de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 159.



Figura 158. Capilla Virgen del Carmen

Figura 159. Institución Educativa Inicial IN82
Pastorcitos de Oquendo

La Capilla Señor de la Misericordia se encuentra en la manzana 2156. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 160.

La institución educativa particular James Prescott Joule se encuentra en la manzana 2174. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 161.



Figura 160. Capilla Señor de la Misericordia

Figura 161. Institución Educativa Particular
James Prescott Joule

Las Aldeas Infantiles SOS se encuentran en la manzana 2183. Está conformado por un grupo de edificaciones de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada a dos aguas de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 162.

El Monasterio Madres Carmelitas se encuentra en la manzana 2183. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos rigidizados con muros de albañilería y losa aligerada en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 163.



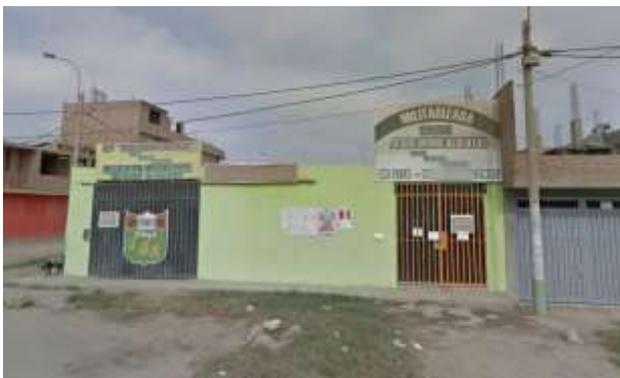
Figura 162. Aldeas Infantiles SOS



Figura 163. Monasterio Madres Carmelitas

La Institución Educativa Particular Jesús Divino Redentor se encuentra en la manzana 2204. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 164.

La Institución Educativa Particular Carlos Noriega se encuentra en la manzana 2252. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de pórticos de concreto armado con vanos rigidizados de mampostería y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 165.

Figura 164. Institución Educativa Particular Jesús
Divino RedentorFigura 165. Institución Educativa Particular
Carlos Noriega

La Institución Educativa Particular Viccel se encuentra en la manzana 2329. Esta edificación de 03 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 166.

La Institución Educativa Particular Jesús Sagrado Chaperito se encuentra en la manzana 2354. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 167.



Figura 166. Institución Educativa Particular Viccel

Figura 167. Institución Educativa Particular
Jesús Sagrado Chaperito

Una torre de alta tensión se encuentra en el sector 2368. Esta estructura reticulada de acero, en general presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 168.

La Institución Educativa Particular Padre eterno se encuentra en la manzana 2400. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural de muros de albañilería confinada y losas aligeradas en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación como se muestra en la Figura 169.



Figura 168. Torre de alta tensión

Figura 169. Institución Educativa Particular
Padre Eterno

La Institución Educativa Particular Children's House se encuentra en la manzana 2501. Esta edificación de 02 niveles tiene un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en el primer piso y cobertura ligera en el segundo nivel. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 170.

El Colegio Municipal Federico Villarreal se encuentra en la manzana 2503. Esta edificación de 01 nivel tiene un sistema estructural a base de entramados de madera y cobertura ligera de techo. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 171.



Figura 170. Institución Educativa Particular
Children's House



Figura 171. Colegio Municipal Federico
Villarreal

La Institución Educativa Particular Albert Einstein se encuentra en la manzana 2504. Es una edificación de 03 niveles y tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 172.

La Institución Educativa Particular Blas Pascal se encuentra en la manzana 2270. Es una edificación de 03 niveles y tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular como se muestra en la Figura 173.



Figura 172. Institución Educativa Particular Albert
Einstein



Figura 173. Institución Educativa Particular
Blas Pascal

La Institución Educativa Particular Juan Ligthart se encuentra en la manzana 2144. Es una edificación de 03 niveles y tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. La estructura se encuentra en un estado de conservación regular. Ver Figura 174.

La Institución Educativa Particular Amadeo Mozart se encuentra en la manzana 2522. Es una edificación de 03 niveles y tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un regular estado de conservación. Ver Figura 175.



Figura 174. Institución Educativa Particular Juan Lighthart



Figura 175. Institución Educativa Particular Amadeo Mozart

La Institución Educativa Particular Juan Pablo Oquendo se encuentra en la manzana 2518. Es una edificación de 03 niveles y tienen un sistema estructural a base de muros de albañilería confinada y losa aligerada de techo en todos los niveles. En general la estructura presenta un estado de conservación regular. Ver Figura 176.



Figura 176. Institución Educativa Particular Juan Pablo Oquendo

4.3. Base de datos geo-espacial

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

En cada manzana seleccionada se levantó los datos de todos los lotes que se encuentran en esa manzana, indicándose las características de la edificación, así como el código de la 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 177 se muestra la base de datos de las características de las edificaciones representativas de cada una de las manzanas levantadas.

Núm	CodMza	Latelapre	OrientA	OrientH	Techo	FisuraCol	FisuraVig	FisuraMzr	Unidad de Albañilería	TipoAlb	Confina	Tarrajón	Enlace	Fotoflegram
1	1683	02C0R	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	NO	NO	/Fotos/Fotos_501/DSC01883.jpg	1683
2	1684	02C0CB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01684.jpg	1684
3	1688	02MVM	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01688.jpg	1688
4	1686	02M0MB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01686.jpg	1686
5	1689	02C0CB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01689.jpg	1689
6	1587	02MVM	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01587.jpg	1587
7	1526	02AVAM	NO	SI	Madera	X	X	X	ND	ND	NO	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01526.jpg	1526
8	1559	01AVAM	NO	SI	Madera	X	X	X	ND	ND	NO	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01559.jpg	1559
9	1514	02M0MB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01514.jpg	1514
10	1570	02C0CB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01570.jpg	1570
11	1580	02M0MB	NO	SI	Calamina	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01580.jpg	1580
12	1540	02M0MB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01540.jpg	1540
13	1493	02C0CB	NO	NO	Losa de CA	X	X	X	ND	ND	SI	NO	/Fotos/Fotos_501/DSC01493.jpg	1493
14	1573	02MVM	NO	SI	Calamina	X	X	X	Artisanal	Sólido	NO	NO	/Fotos/Fotos_501/DSC01573.jpg	1573
15	1589	02M0MB	NO	SI	Calamina	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	NO	/Fotos/Fotos_501/DSC01589.jpg	1589
16	1489	02M0MB	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01489.jpg	1489
17	1694	02C0CB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01694.jpg	1694
18	1562	02MVM	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Artisanal	Sólido	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01562.jpg	1562
19	1462	02M0MB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01462.jpg	1462
20	1486	02AVAM	NO	SI	Madera	X	X	X	ND	ND	NO	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01486.jpg	1486
21	1501	04C0R	NO	SI	Aligerado	X	X	X	Industrial	Tubular	SI	SI	/Fotos/Fotos_501/DSC01501.jpg	1501

Figura 177. 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 que cada una de las manzanas tenga los datos necesarios para su evaluación mediante el programa de cálculo de nivel de daño o reparación.

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

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

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

La Tabla 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.

La Figura 178 muestra el detalle de los datos de una manzana evaluada. Como se puede apreciar en esta base de datos geo-espacial se ha integrado una imagen de satélite, obtenida desde Google Earth, la información cartográfica de los bordes de las manzanas y dentro de la base de datos descriptiva además de la información levantada en campo se encuentra la información procesada. Adicionalmente, se han integrado fotografías de las manzanas evaluadas por medio de hipervínculos a los archivos que contienen a estas fotos.

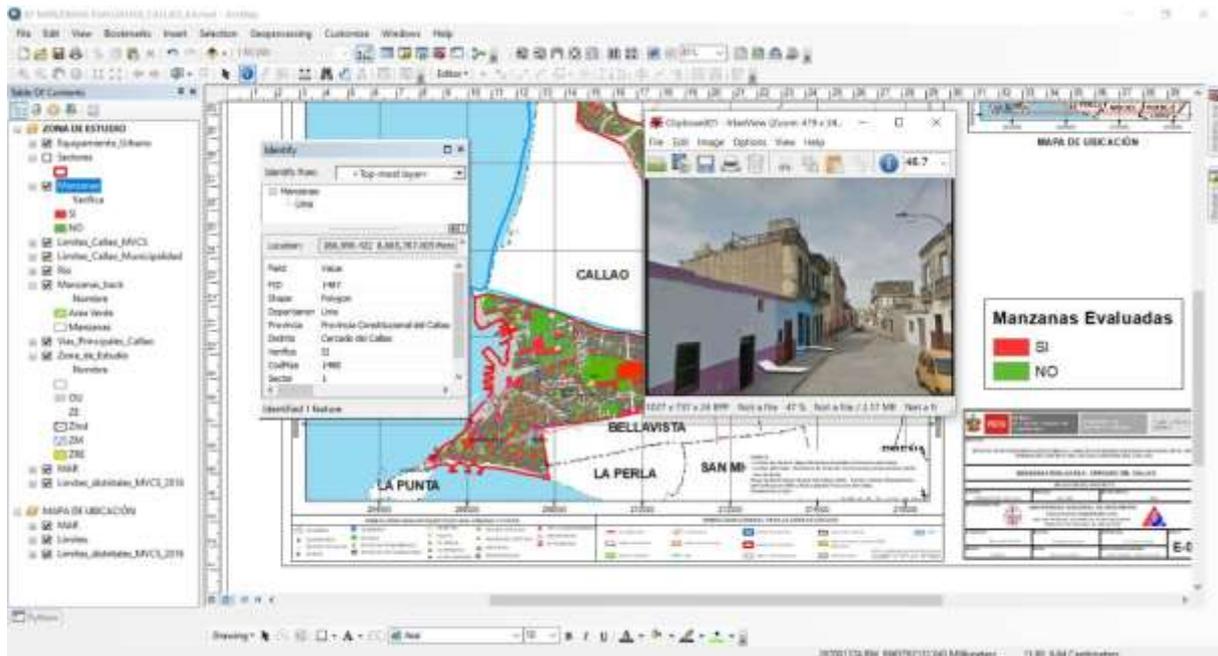


Figura 178. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento

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

4.3.1. Mapa de Uso de Suelo

En el mapa E-05 (Figura 180) se presenta las manzanas evaluadas y clasificadas de acuerdo al uso del suelo de las edificaciones. En la Figura 179 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 representa el 73.7%, vivienda/comercio representan el 7.1%, educación que ocupan un 5.5% de la muestra, otros el 4.1%, seguido de comercio que representan el 2.7% de la muestra, multifamiliar el 2.6%, Industrial el 2.0%, baldío el 1.7%, bomberos y salud con un 0.3%.

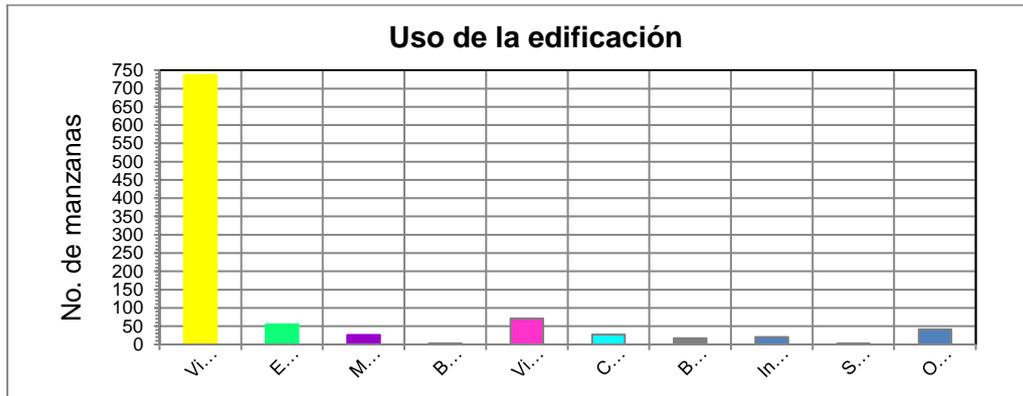


Figura 179. Distribución del uso del suelo de la muestra del Cercado del Callao

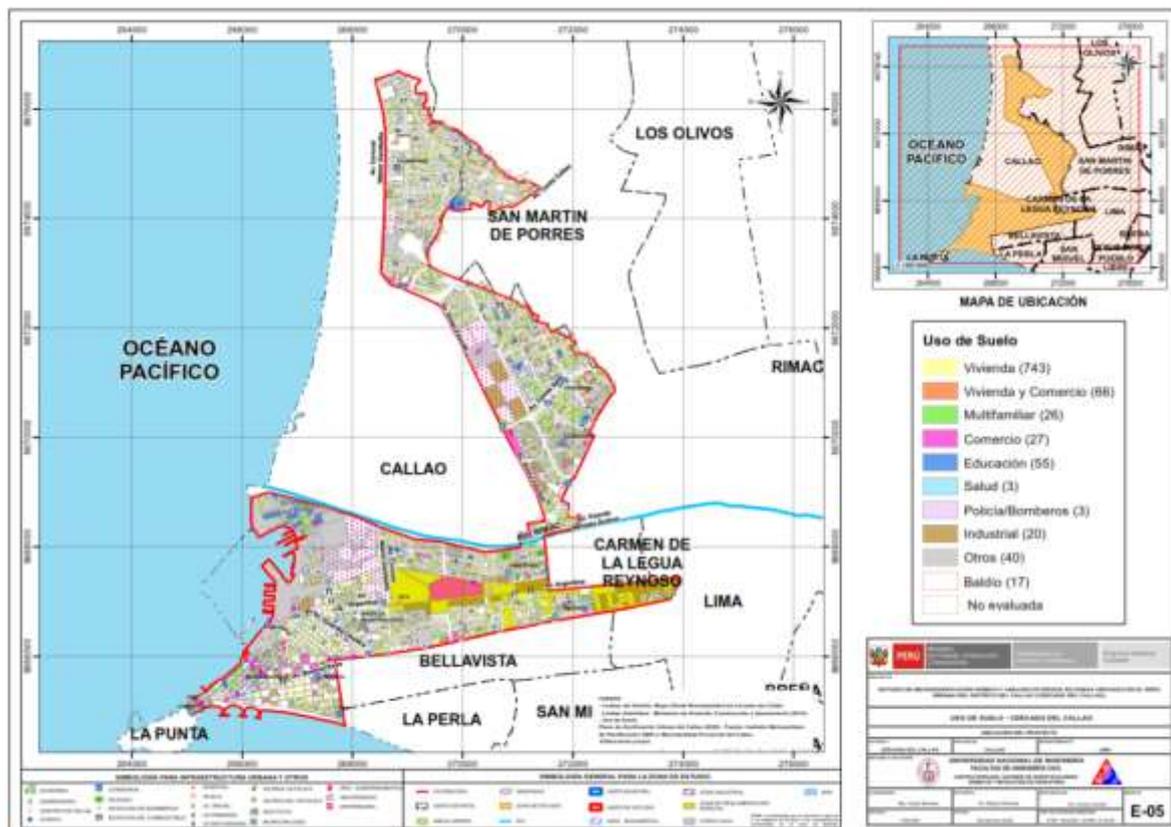


Figura 180. Mapa de Distribución del uso del suelo de la muestra del Cercado del Callao

4.3.2. Mapa de Materiales Predominantes

En el mapa No. E-04 (Figura 182), referente a los materiales existentes en las edificaciones del Cercado del Callao, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 181, donde es notorio que el material predominante es la mampostería de ladrillo que representa el 82% de la muestra, seguido de las edificaciones de concreto con un 9.5%. Asimismo, existen edificaciones de adobe con el 4% y madera con el 3% y otros con 2% de la muestra.

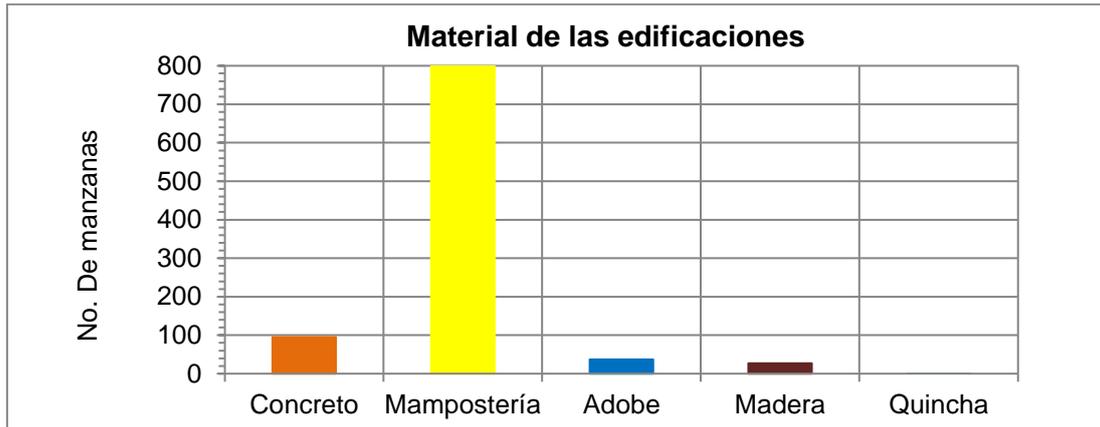


Figura 181. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del Cercado del Callao

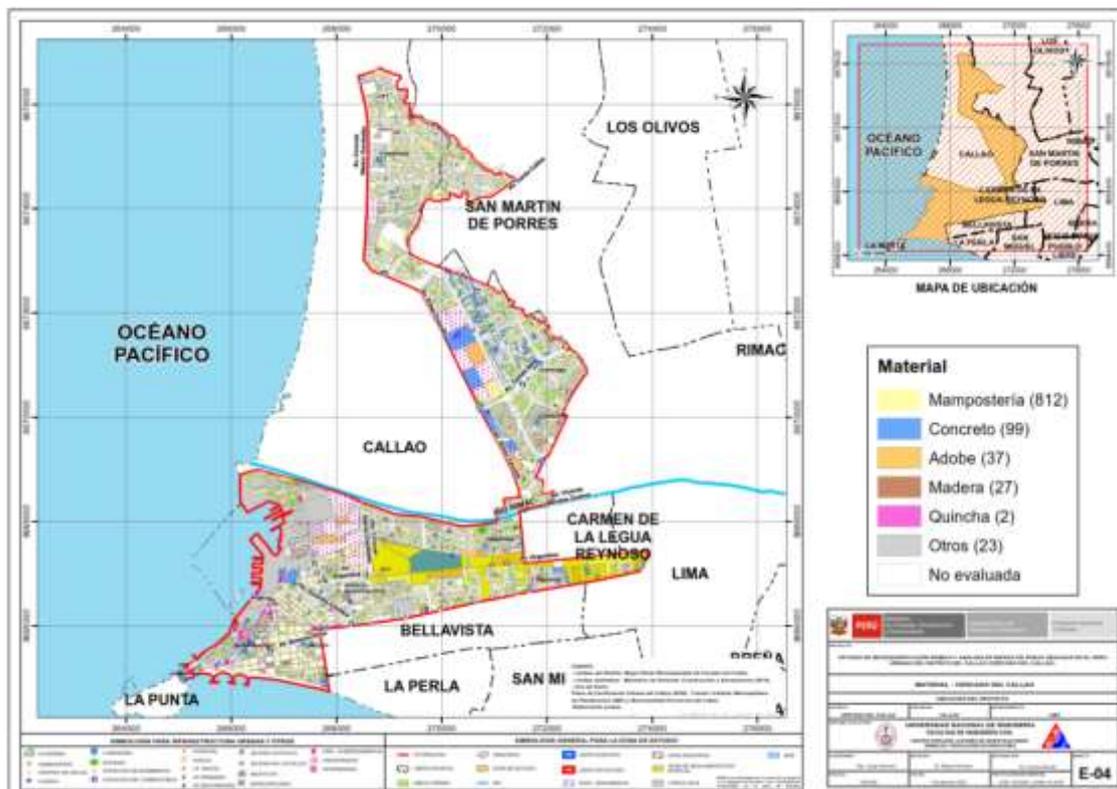


Figura 182. Mapa de Distribución de los materiales de construcción predominante del Cercado del Callao

4.3.3. Mapa de Alturas de Edificación

En el mapa E-03 (Figura 184) 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 183, donde se puede apreciar que, en el Cercado del Callao, predominan las edificaciones de 2 pisos que corresponde al 53.96% del total de las edificaciones evaluadas y es la tendencia general en el distrito. En segundo lugar, de niveles de altura son las edificaciones de 3 piso y que corresponde al 24.09% del total de las edificaciones evaluadas. Este distrito también cuenta con edificaciones de 1 piso, pero en un porcentaje menor, equivalente al 16.97% del total de las edificaciones evaluadas, edificios con 4 pisos con 3.86% y demás pisos con menos porcentaje en la muestra evaluada.

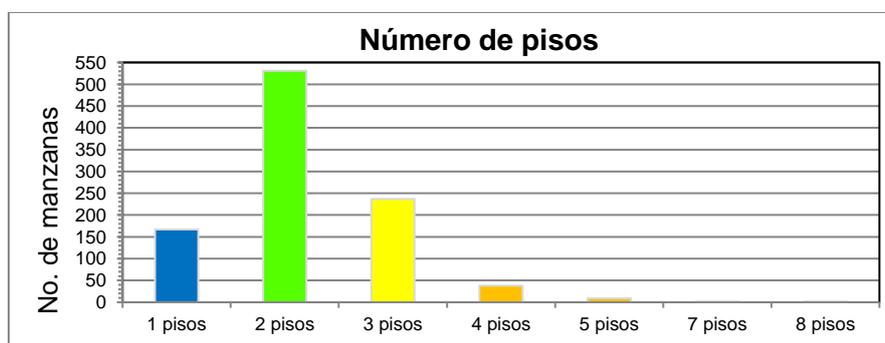


Figura 183. Distribución del número de pisos de las edificaciones del Cercado del Callao

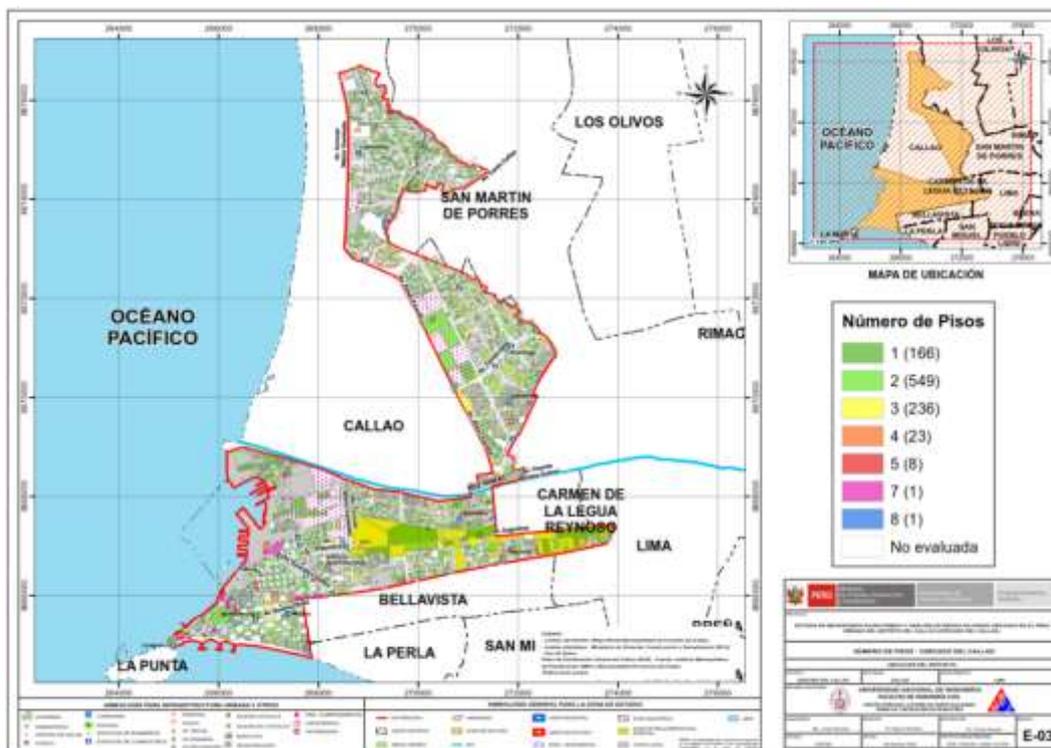


Figura 184. Mapa temático del número de pisos de las edificaciones del Cercado del Callao

4.3.4. Mapa de Tipologías Estructurales

En el mapa E06 (Figura 186) se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La Figura 185 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que se obtuvo de la estadística de la muestra usada en el Cercado del Callao. En el gráfico se entiende que el sistema estructural más utilizado es la mampostería armada o confinada con diafragma rígido con 47.5%, seguido por construcción informal en albañilería que ocupa el 25.3% de la muestra. Los pórticos de concreto con vanos rigidizados con mampostería ocupan el 7.9%, la mampostería armada o confinada con diafragmas flexibles representan el 8%.



Figura 185. Distribución del uso del sistema estructural muestra del Cercado del Callao

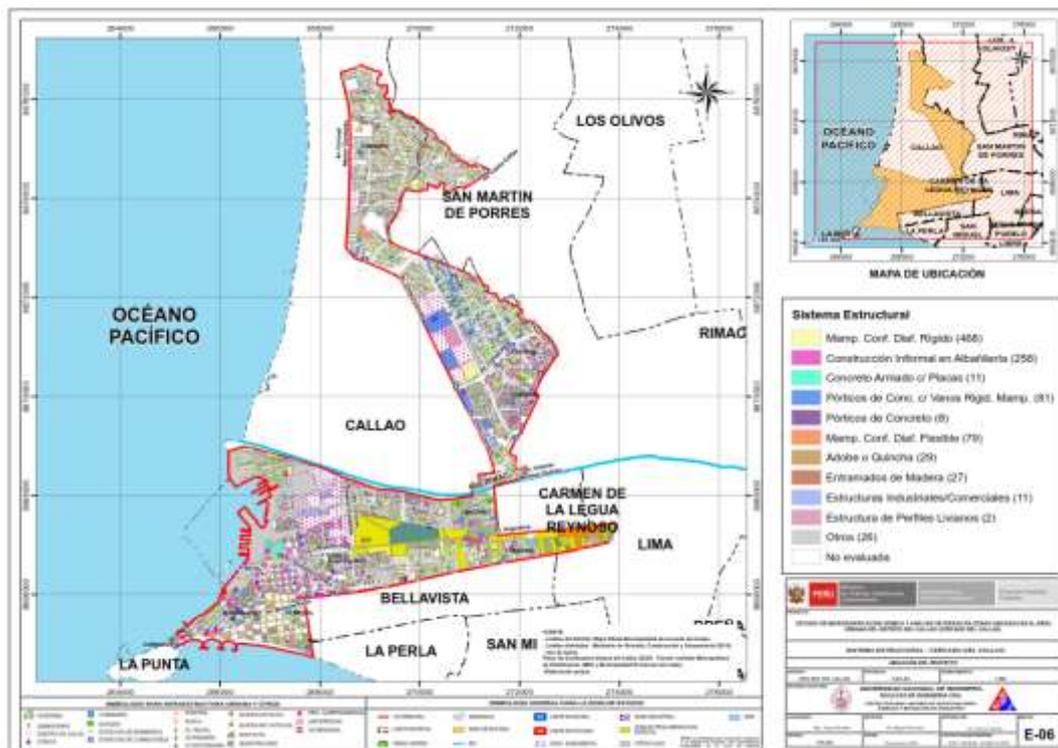


Figura 186. Mapa del uso del sistema estructural muestra del Cercado del Callao

4.3.5. Mapa de Estado de Conservación

El mapa temático E-07 (

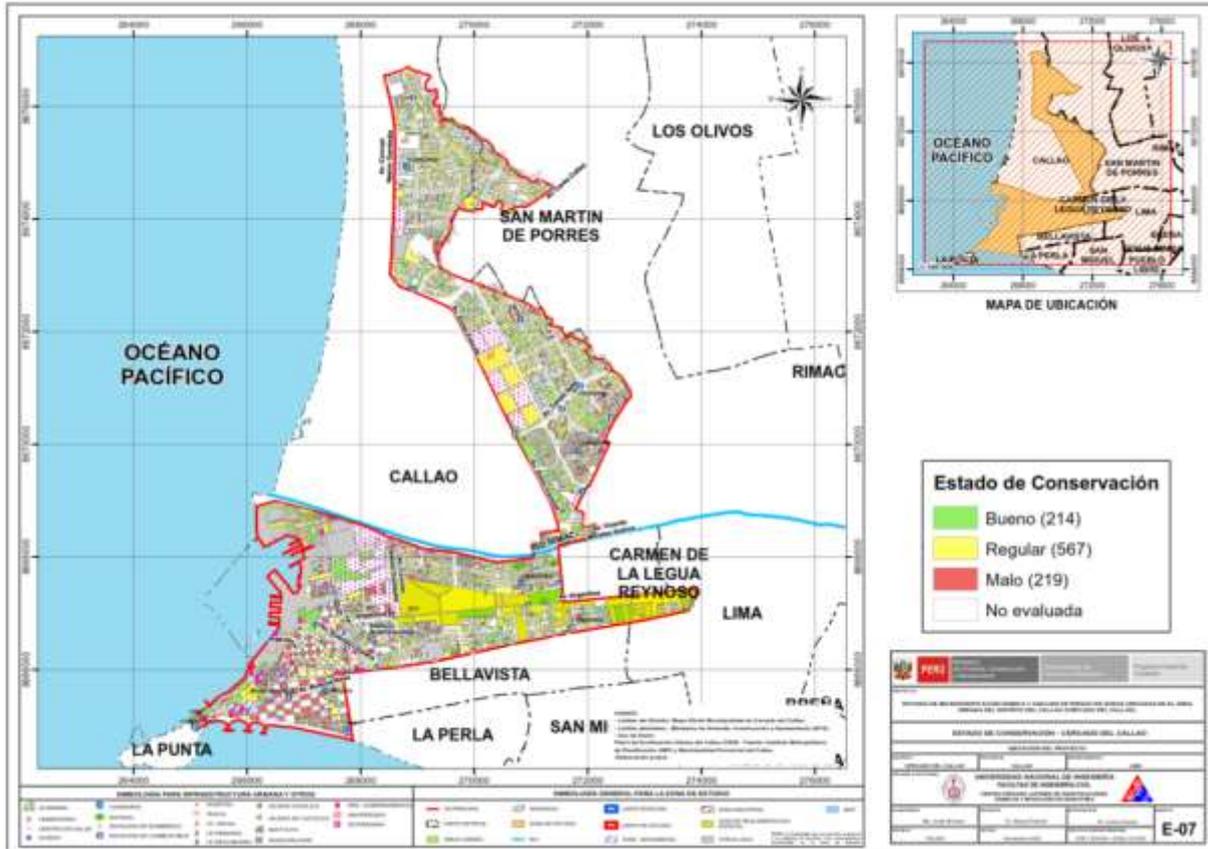


Figura 188) presenta el estado de conservación de las viviendas del Cercado del Callao. La Figura 187 presenta los resultados estadísticos de la muestra analizada. El 66.5% de las edificaciones se encuentra en regular estado de conservación, mientras que el 26.7% de la muestra presenta un mal estado de conservación. Finalmente se encuentran en buen estado de conservación el 6.8% de la muestra.

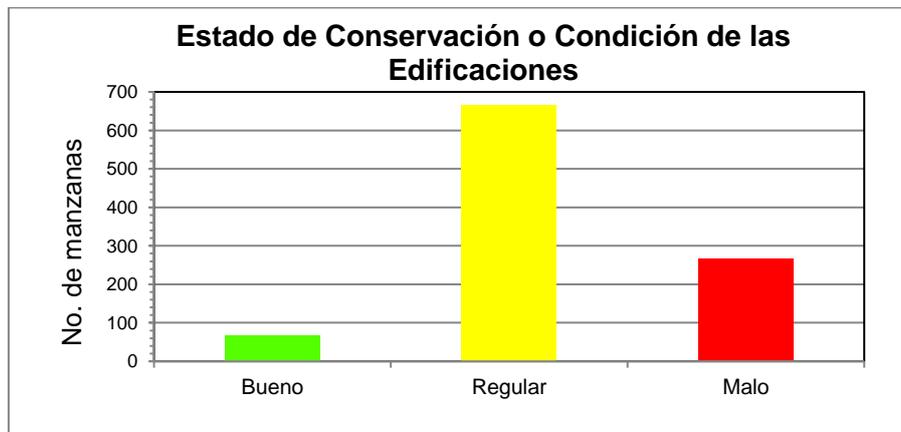


Figura 187. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del Cercado del Callao

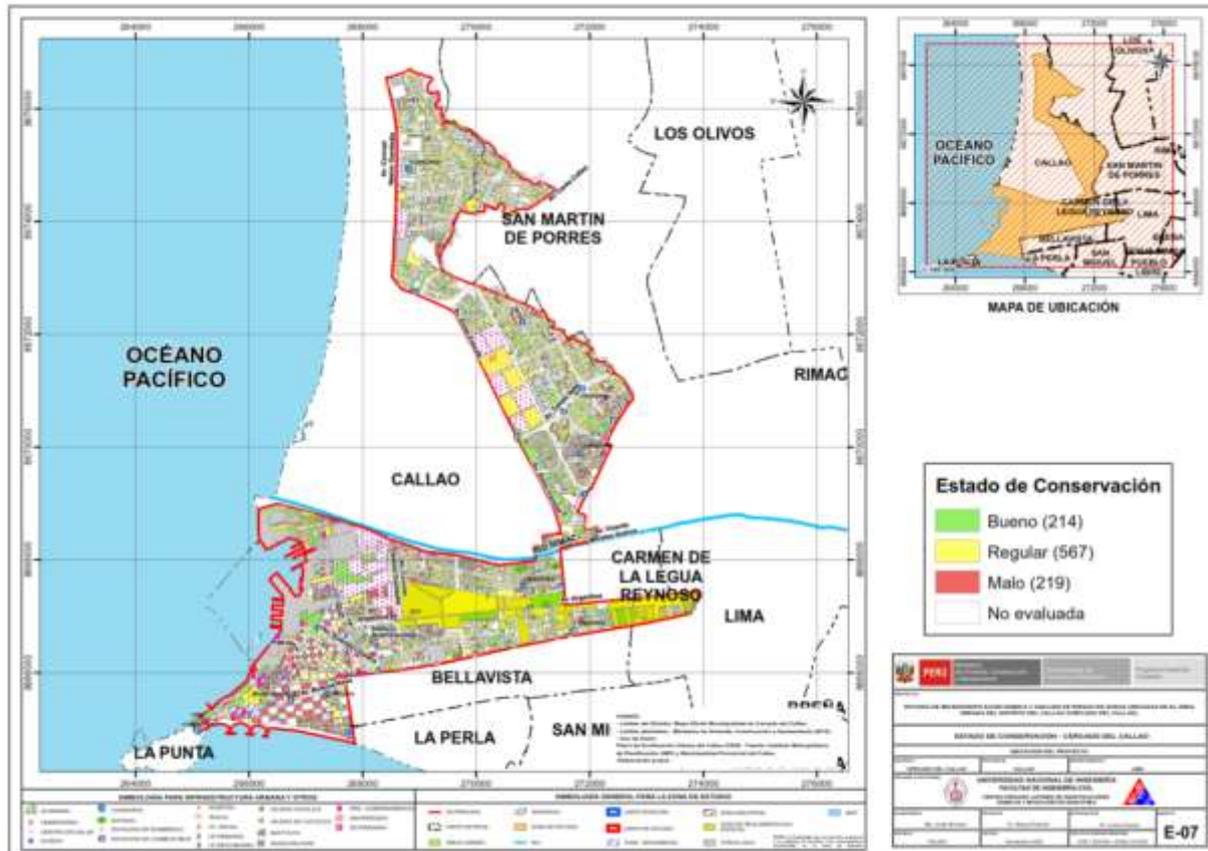


Figura 188. Mapa del estado de conservación de la muestra de edificaciones del Cercado del Callao

4.3.6. 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 determinístico y método por criterio.

Método Determinístico

El método determinístico se basa en un estudio detallado de la estructura. Este estudio se basa en la evaluación mediante una inspección, toma de muestra de materiales, medición de la vibración en la estructura, auscultación de la cimentación, verificación de profundidad del cimiento y la modelación matemática de la estructura a través de programas especializados



competentes, para producir un diagnóstico de la respuesta sísmica y encontrar si la edificación resistirá las fuerzas y desplazamientos inducidos por el terremoto.

Método por Criterio

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

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

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

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

Metodología sustento de SRSND

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

El método considera que la estructura de la edificación está representada por un sistema de masas y resortes, representadas como una función del periodo de la edificación. Este periodo es aproximado a partir de la tipología estructural, del número de pisos, las irregularidades y el estado de conservación entre otros. Este periodo representa al primer modo del sistema estructural, lo que el método considera como representativo para el sistema reducido de un grado de libertad, como el mostrado en la Figura 189. Con este sistema equivalente se realiza la estimación explicada en el siguiente párrafo.

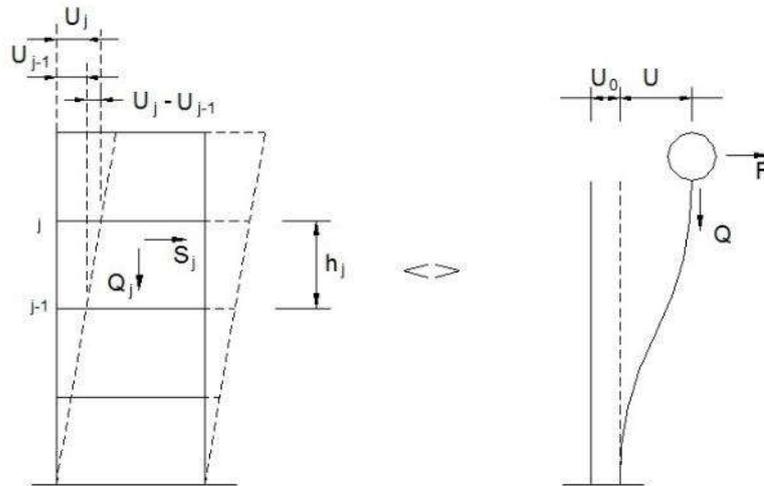


Figura 189. Edificación representada por un sistema equivalente

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

Este método se basa en el diagnóstico de la respuesta sísmica de las edificaciones, considerando las aceleraciones máximas del terreno según los resultados del estudio del peligro sísmico presentado en el Anexo adjunto a este informe y el catálogo de tipologías de edificaciones representativas del distrito. Con este propósito se consideran variables claves como aceleración de demanda sísmica, material de la edificación, número de pisos, sistema estructural predominante y otros datos recabados en el levantamiento de campo lote a lote en la ciudad. Seguidamente se utiliza la metodología de índices β_i , que considera que la respuesta sísmica de una estructura se encuentra en base al producto de los índices β_i por el desplazamiento espectral (S_d) para el periodo predominante de la estructura entre la altura del edificio (H), dando una aproximación de la distorsión del entrepiso:

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

El índice β_1 , es una aproximación al factor de participación dado como una función del número de pisos:

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

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

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

El índice β_3 , relaciona la fuerza de respuesta con la sobre resistencia como función de la ductilidad asignada a cada tipología estructural:

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

El índice β_4 , produce una aproximación de la relación existente entre la distorsión inelástica y la distorsión elástica, que expresan una medida de ductilidad:

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

El periodo que sirve de base en el diagnóstico, es dependiente de la tipología estructural y del número de pisos, que produce una diagnosis del desplazamiento y distorsiones de cada piso. De esta manera se estiman las distorsiones de entrepiso que diagnostican el estado de la edificación basado en los límites de distorsión máxima de la norma de diseño sismorresistente NTE-030-RNE y ajustada en base a la base de datos de experimentación muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 31 años de experiencia de laboratorio.

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

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

Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Alto:

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

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



- Edificaciones construidas con materiales inestables y provisionales, sin ningún tipo de arriostramiento o refuerzo vertical u horizontal.
- Edificaciones con configuración en planta irregular.
- Techos o coberturas en mal estado de conservación.
- Edificaciones en laderas de los cerros, donde su cimentación generalmente se apoya en muros de contención de piedra (pircas secas) no recomendables para tomar las fuerzas producidas por el sismo.

Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Medio:

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

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

Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Bajo:

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

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

Evaluación y análisis estadístico de las edificaciones evaluadas

- a) **Manzanas:** Se evaluaron la totalidad de las manzanas de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 82% de los lotes, seguido por un 9.5% de edificaciones de concreto, edificaciones de adobe representan el 4%, de madera el 3% y otros el 2%.
- b) **Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 82% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de un piso (17%), dos pisos (54%),

tres pisos (24.1%) y cuatro pisos (3.9%). Aproximadamente el 47.5% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes no teniendo el 25.3% de las viviendas evaluadas, elementos de refuerzo vertical.

- c) **Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes inspeccionados, el 47.5% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 8%, poseen coberturas de calamina, esteras o madera. Estas coberturas se concentran en los sectores emergentes.
- d) **Estado de Conservación:** El estado de conservación de las construcciones en un 6.8% de las viviendas muestran un estado de conservación bueno y el 66.5% de las viviendas presentan un regular estado de conservación. Finalmente, las edificaciones en mal estado de conservación representan un 26.7% de la muestra.

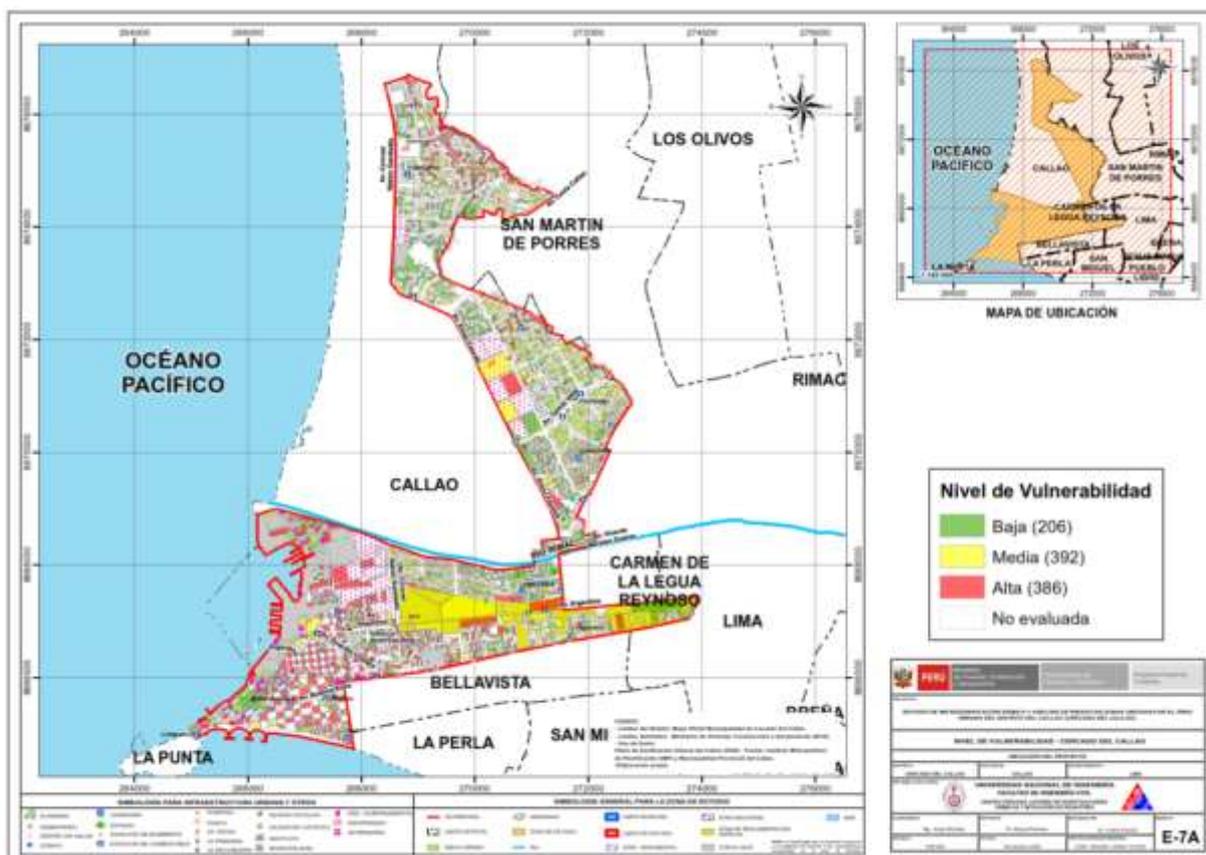


Figura 190. Mapa de vulnerabilidad del Cercado del Callao

Con respecto a los resultados del estudio en el Cercado del Callao, se tienen edificaciones con vulnerabilidades relativamente bajas que representan el 20.93% de la muestra concentrada en la parte central y este del distrito, las vulnerabilidades medias, se presentan en varias zonas del distrito, representan el 39.84% de la muestra del distrito. Existe un 39.23% de edificaciones con vulnerabilidad alta disperso en la zona sur del distrito. Los resultados son presentados en la Figura 190.



5. MAPAS DE RIESGO

5.1. Elaboración de Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico

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

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

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

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

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

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

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

Para la determinación del riesgo sísmico del Cercado del Callao, 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 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 (C_r) se expresa como el porcentaje del costo de la estructura, considerando λ y ε parámetros de vulnerabilidad estructural, correspondientes al sistema estructural y al tipo de reparación involucrada para los materiales involucrados.

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

Para el diagnóstico del riesgo se consideró cada registro de la base de datos produciendo el diagnóstico de la distorsión y en base a esta se encontró el mapa que representa el costo de reparación representativo para la manzana, considerando los resultados del lote representativo. El desarrollo de este diagnóstico se realizó mediante el proceso que se presenta en la Figura 191.

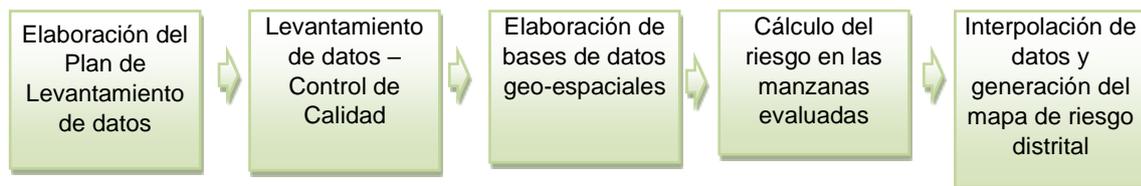


Figura 191. Proceso de generación del mapa de riesgo

Basados en la información de campo se evaluaron 1000 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 192.

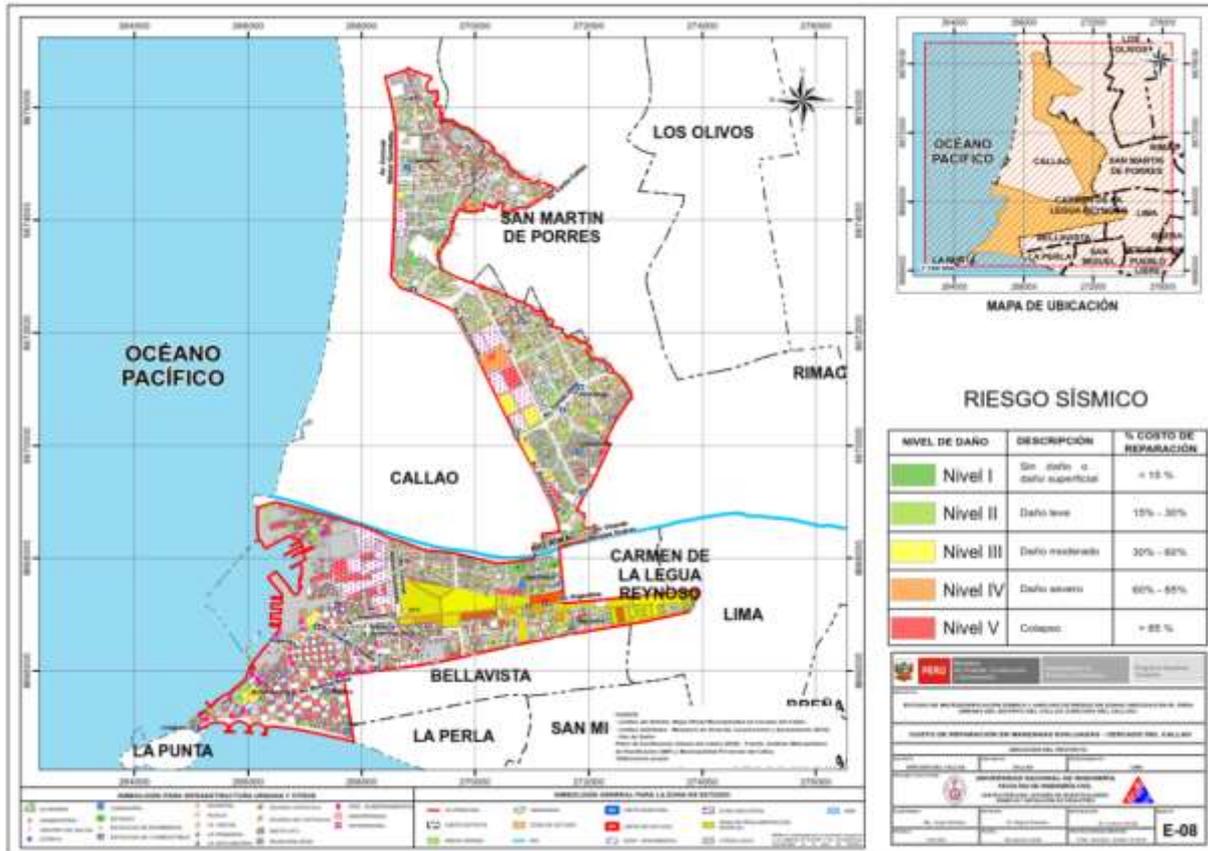


Figura 192. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas

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 193 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el Cercado del Callao.

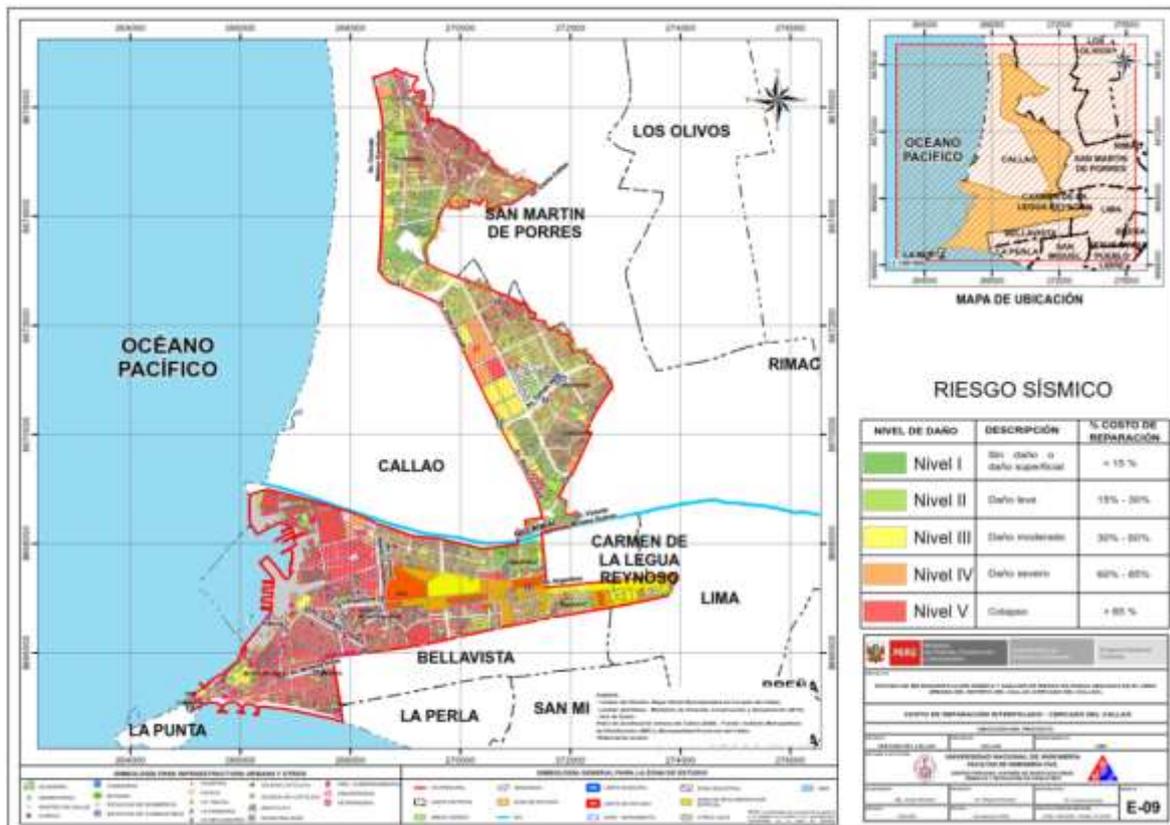


Figura 193. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)

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

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

Tabla 2. Resultados del daño en el Cercado del Callao para un escenario de sismo severo

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	17	2.31%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	99	13.43%	15.74%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	69	9.36%	9.36%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	257	34.87%	34.87%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	295	40.03%	40.03%	Colapso

En el mapa No. E-09, que presenta el riesgo expresado como porcentaje del costo de la edificación para el Cercado del Callao bajo un escenario del sismo. En el mapa se puede apreciar que los sectores en verde tendrían un costo de reparación entre 0~15%. Aquellos



sectores en verde agua poseen un costo de reparación entre 15~30% del valor de la edificación, agrupando ambos verdes se obtiene que en este grupo de daño leve se encuentra el 15.74% de las manzanas evaluadas. Los sectores en amarillo tendrían un porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30~60%, en donde se encontró que el 9.36% de la muestra tendrían daño moderado. Las zonas en color naranja, tendrían porcentaje de costo de reparación entre 60~85%, mientras que las zonas en rojo tendrían edificaciones con costos de reparación entre 85% a más. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de edificaciones en riesgo de daño severo y colapso que corresponden al 34.87% y 40.03%, respectivamente, de las edificaciones evaluadas para el escenario sísmico propuesto. De acuerdo al estudio realizado en mayor porcentaje las edificaciones del Cercado del Callao experimentarían un colapso y en segundo término tendrían daño severo, igualmente se puede observar con las edificaciones esenciales. Estas 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. La zona colindante con el océano Pacífico, los sectores 1, 2, 3 y el sector 10, colindante con el distrito de San Martín de Porres presentarían alto nivel de daño.

Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales

Color	Rango	Nivel Daño	Número de Mzas	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	0	0.00%		
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	0	0.00%	0.00%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	4.92%	4.92%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	18	29.51%	29.51%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	40	65.57%	65.57%	Colapso

Los resultados para las edificaciones esenciales pueden apreciarse en la Tabla 3, que muestra que el 65.57% de las edificaciones esenciales podrían experimentar colapso, que el 29.51% podría experimentar daño severo, el 4.92% podría experimentar daño moderado y el 0.0% de las edificaciones esenciales sufrirían daño leve. Este estado de riesgo alto se debe a la presencia de edificaciones que se han adecuado al uso nidos, centros educativos, academias entre otros, como también la antigüedad y falta de mantenimiento de las edificaciones. De acuerdo al estudio realizado, el nivel V, Colapso estaría experimentando las edificaciones esenciales del Cercado del Callao.



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

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

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

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

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

Sistema de Agua

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

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

Para la evaluación de los daños se necesita conocer las características físicas de las tuberías del sistema de distribución de agua, esta información se encuentra en la plataforma SIG de SEDAPAL que han sido procesadas para obtener los datos necesarios para el estudio de las redes de agua. La información utilizada es mostrada en la Tabla 4.



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

Tabla 4. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el Cercado del Callao.

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

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

$$Rm(v) = C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot CI \cdot R(v) \quad \text{Ec. 10}$$

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

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

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

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

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

autores consideran que el valor de A debe ser 15 cm/s, pues con este valor la correlación entre PGV y la tasa de daño atenuada produce un valor máximo. Así, la constante A produce el mínimo PGV que causa daños en un sistema de distribución de agua. Los resultados presentados por Isoyama indican que los sistemas de distribución de agua fallarían con PGV mayores a 15 cm/s. Diversos autores proponen factores de b, c y A que originan diferencia mínima en el diagnóstico. La Figura 194 y la Figura 195, muestran el número de roturas en las tuberías de distribución de agua, según varios investigadores y por tipo de material y diámetro.

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

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

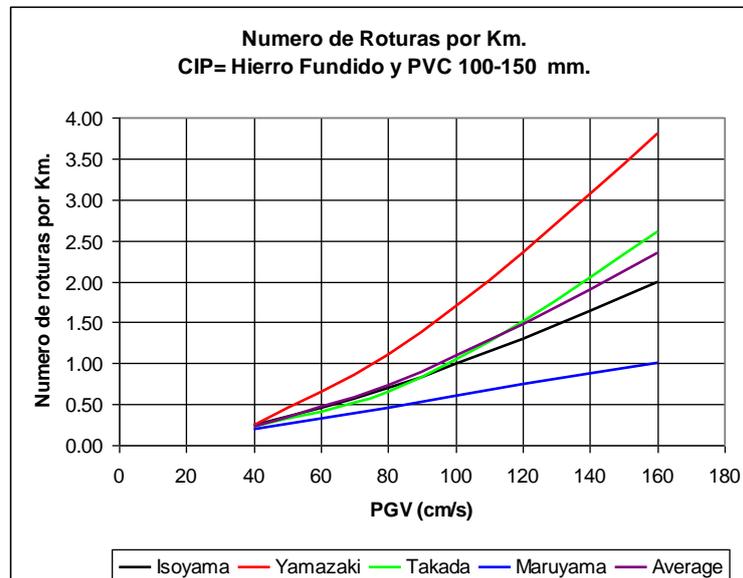


Figura 194. Roturas por Km en tubos CIP y PVC.

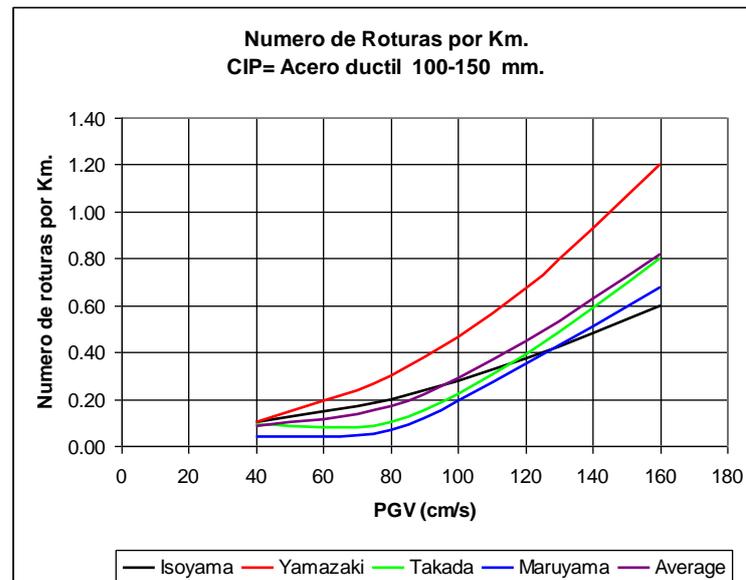


Figura 195. Roturas por Km en tubos de acero dúctil.

La Figura 194 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 196, para mostrar un escenario más desfavorable.

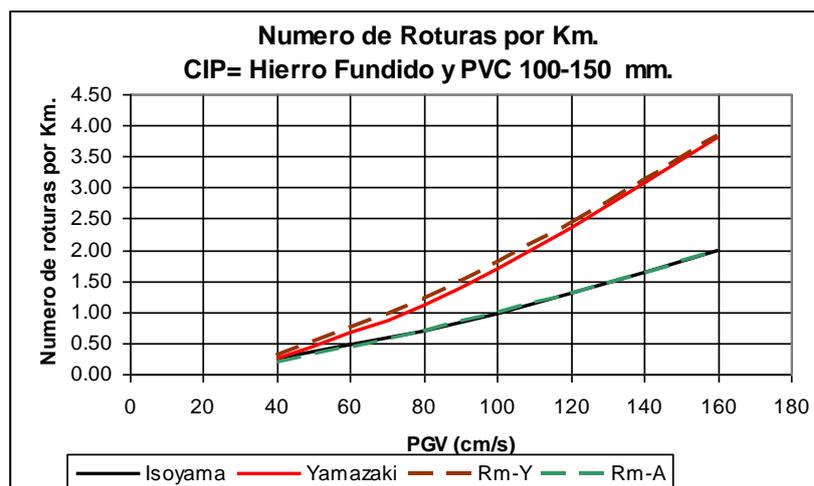


Figura 196. Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC.

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

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

En forma similar, a los materiales presentados anteriormente, la Figura 195 presenta las relaciones desarrolladas por diversos autores para la estimación de la tasa de daño por kilómetro en tuberías de hierro dúctil. Utilizando estos datos se construye una curva promedio ("Average") la que es presentada en este gráfico.

Usando un procedimiento similar al presentado anteriormente, en la Figura 197 se muestra las curvas de máximo valor y valor más cercano al promedio en el caso de tubería de acero dúctil. Considerando la curva de Isoyama y la curva de Yamazaki, es posible expresar mediante un análisis de regresión de los datos, el número de roturas de tuberías de acero dúctil por Kilómetro que serían afectadas por un sismo severo mediante la siguiente expresión que presenta la regresión en datos de Isoyama:

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

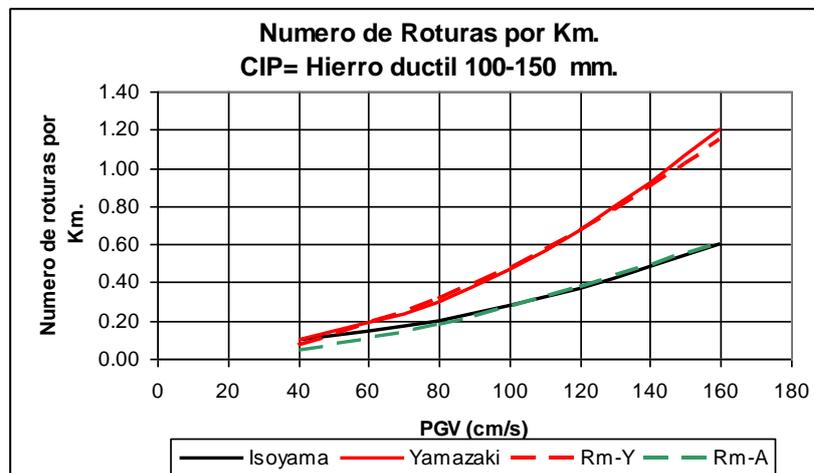


Figura 197. Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil.

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

6.1. Mapa de tipo de tubería de agua.

La Tabla 5 presenta los tipos de tubería por material que existen en el Cercado del Callao. Esta información se ha preparado en base de la información proporcionada por SEDAPAL. La información presenta los tipos de tubería con el rango de diámetros utilizado, considerando la existencia de un diámetro más frecuente utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. En la columna de porcentaje se muestra la longitud porcentual de tuberías por material aquí puede leerse que las tuberías de asbesto cemento, son las más usadas en el distrito de Surquillo, seguidas por las tuberías de PVC.

Tabla 5. Tipo de tuberías de agua en el Cercado del Callao.

Material	N° tuberías	φ más usado	Longitud total (m)	% long	Rot/km Yamazaki	Rot/km Isoyama	N° Roturas Yamazaki	N° Roturas Isoyama
Asbesto cemento	8017	100	315446.11	66.47%	0.770	0.710	242.89351	223.96674
PVC	2243	110	99523.58	20.97%	0.770	0.710	76.63316	70.661745
Fierro Fundido	485	125	28651.76	6.04%	0.330	0.220	9.4550799	6.3033866
Polietileno	269	110	14278.12	3.01%	0.330	0.220	4.711781	3.1411873
Hierro Dúctil	116	500	14954.92	3.15%	0.330	0.220	4.9351225	3.2900817
Acero Revestido	11	600	1683.00	0.35%	0.330	0.220	0.5553895	0.3702597
Acero	3	200	26.36	0.01%	0.300	0.210	0.0079086	0.005536
Long. Total:			474563.86					

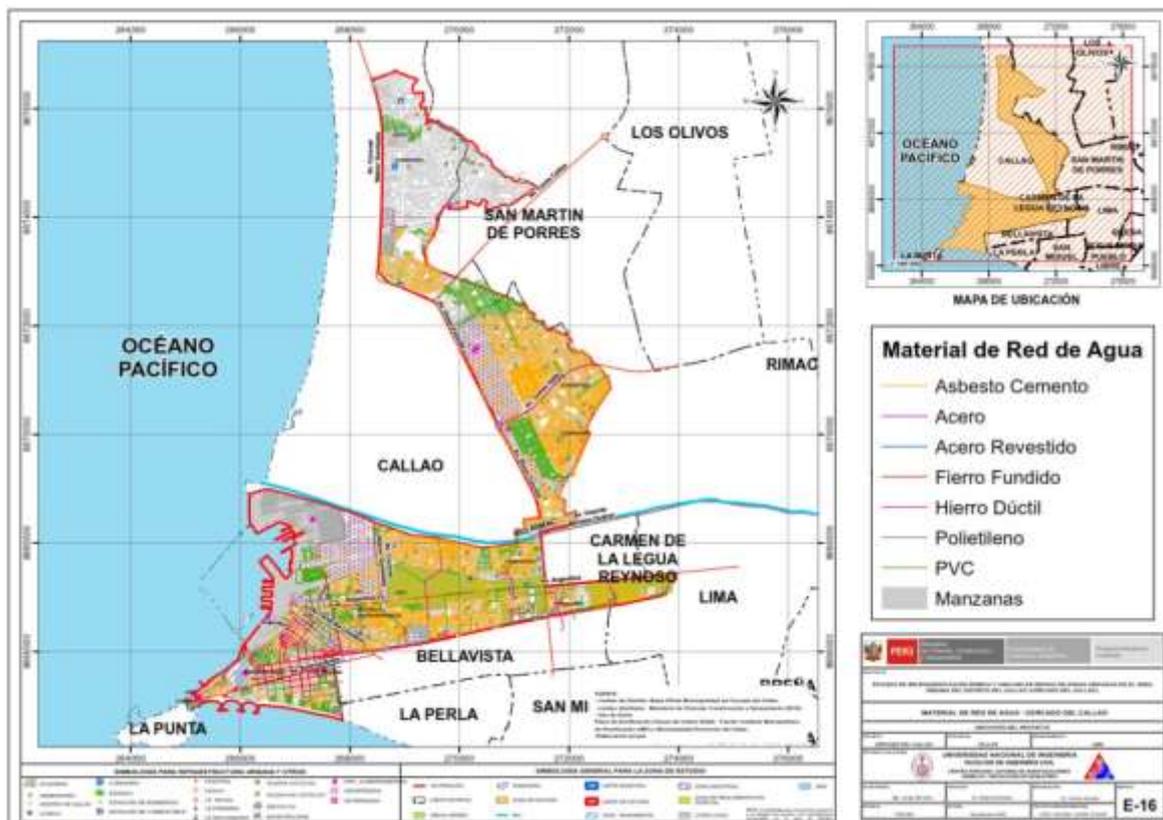


Figura 198. Mapa de Tipos de Tubería en Cercado del Callao.

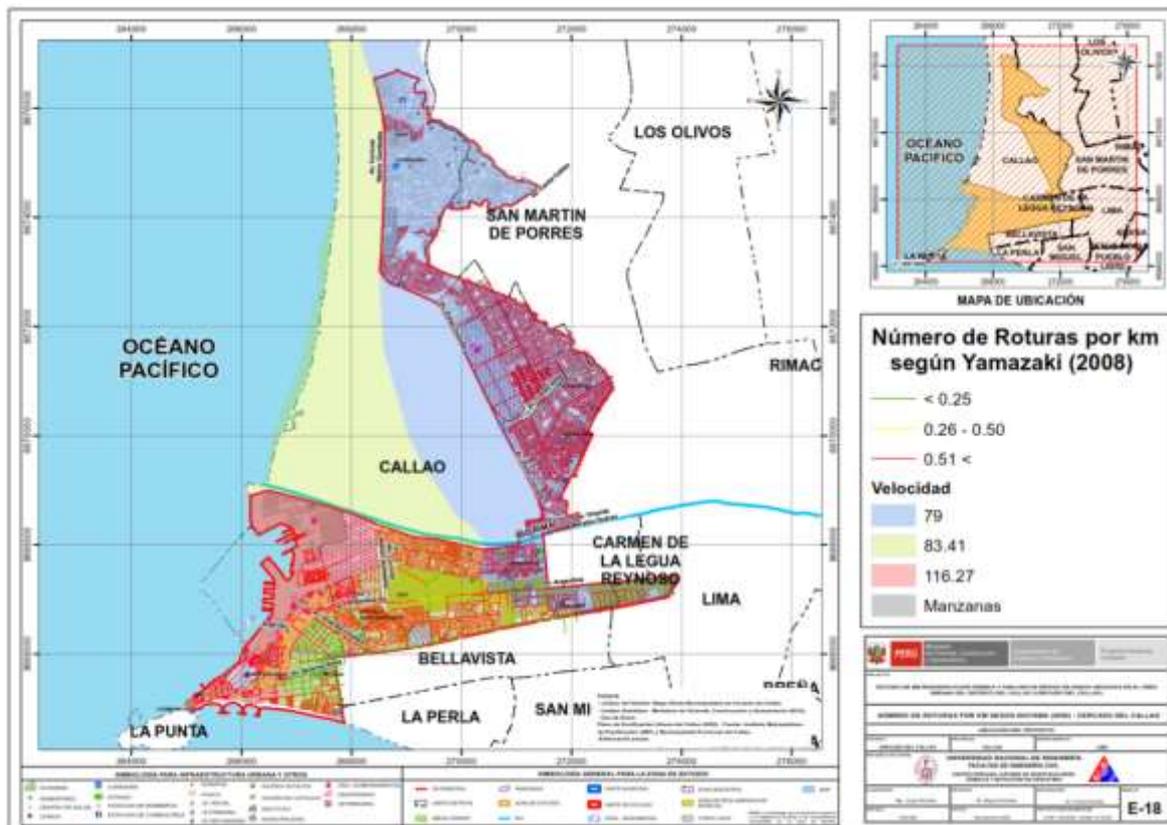


Figura 200. Roturas por criterio de Isoyama (2000).

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

- Para la evaluación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción de agua del Cercado del Callao, se procesó 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 66.47% de las tuberías son de asbesto cemento, siendo las más usadas en la línea de conducción, seguidas por las tuberías de PVC que representan el 20.97%. Asimismo, las líneas de conducción de tuberías Fierro Fundido representan un 6.04% de la red en el distrito, teniéndose que las tuberías de hierro dúctil representan el 3.15% de las tuberías de agua del distrito.
- Considerando la metodología planteada por investigadores japoneses, se tomaron las curvas de Yamazaki e Isoyama para diagnosticar el número de roturas por kilómetro de longitud en las líneas de conducción de agua del Cercado del Callao, en función del diámetro y tipo de material. Se encontró que en el caso de un evento severo con valores de aceleración del terreno de 468.82, 492.26, 515.70 y 609.46 gals de PGA, para las Zonas I, II, III y V, respectivamente, existirían 243 locaciones con tuberías de asbesto cemento que sufrirían roturas, mientras que de tuberías de PVC sufrirían roturas en 77 ubicaciones. Debe notarse que las condiciones del suelo influyen en los movimientos sísmicos, manifestándose con velocidades de partícula significativas.
- Es recomendable que SEDAPAL implemente una base de datos de las roturas en tuberías de agua, tomando en cuenta la variable tiempo, ya que para el estudio de los



PERÚ

Ministerio
de Vivienda, Construcción
y Saneamiento

Viceministerio de
Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras
Ciudades



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



sistemas de agua es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos en el tiempo y cambios de tuberías en el tiempo. Con una base de datos en estos términos sería posible realizar diagnósticos de las roturas con mayor precisión.

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

**PERÚ**Ministerio
de Vivienda, Construcción
y SaneamientoViceministerio de
Vivienda y UrbanismoPrograma Nuestras
CiudadesUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

7. MAPA DE AMENAZA POR TSUNAMI

Para la evaluación de la amenaza frente a tsunami en las costas del Cercado del Callao se lleva a cabo el análisis de amenaza estimando la profundidad de inundación máxima, la altura de inundación y el tiempo de llegada de la primera ola desde el epicentro hasta la costa a partir de dos escenarios sísmicos y finalmente se determinaron las zonas susceptibles a sufrir inundación debido al tsunami.

7.1. Sismicidad en el Perú

El Perú está ubicado en una zona altamente sísmica, donde la principal fuente de la alta sismicidad es la interacción de la Placa de Nazca y la Placa Suramericana y como resultado de esta interacción el Perú ha experimentado numerosos terremotos a lo largo de su historia.

La Figura 201 muestra los sismos históricos alrededor del Perú con magnitudes mayores a 5, desde el año 1973 al año 2019 según la base de datos de la United States Geological Survey (USGS) esta figura muestra que la zona sísmicamente más activa en el Perú es la que corresponde a la zona sur entre Lima y Tacna, también se observa que una gran cantidad de los sismos tienen una profundidad focal menor a 50 km, de acuerdo a su profundidad estos sismos están definidos como sismos superficiales. En la Figura 201 también se puede observar que tanto la zona norte del país, desde Lima hasta Tumbes, la actividad sísmica es mucho menor comparado con la zona sur, sin embargo, se sabe que toda la zona occidental de América del Sur es una zona altamente sísmica, lo que se conoce como parte del Círculo del Fuego.

Por otro lado, la zona centro del Perú especialmente el área frente a Lima y Callao, estaría experimentando el fenómeno llamado Silencio Sísmico, que es la falta de eventos sísmicos de considerable magnitud en una zona sísmicamente activa, lo que significa que la energía que se debería estar liberando a través de eventos sísmicos o terremotos se está acumulando. Entonces, de acuerdo a este concepto, la probabilidad de que ocurra un sismo de gran magnitud frente a las costas de Lima y Callao es muy alto.

Un fundamento más cuantitativo se puede observar en (Dorbath et al., 1990) donde se presenta una evaluación de los terremotos históricos de gran magnitud ocurridos en el Perú, la Figura 202, modificada de (Dorbath et al., 1990), muestra los sismos de gran magnitud o terremotos ocurridos en el Perú a lo largo del tiempo, donde las líneas continuas representan terremotos que causaron tsunamis así como la longitud aproximada del área de la falla, mientras que las líneas punteadas representan terremotos que no produjeron tsunamis. Teniendo en cuenta que las ciudades de Lima y Callao se encuentran ubicadas aproximadamente en la latitud 12°S, el último terremoto importante ocurrido en esta zona fue en 1974, lo que significa 43 años con ausencia de eventos sísmicos de gran magnitud o 43 años de energía sísmica acumulada, por lo tanto, estas condiciones hacen suponer la ocurrencia de un terremoto que libere toda esta energía acumulada que estaría afectando en mayor magnitud a la ciudad de Lima y Callao.

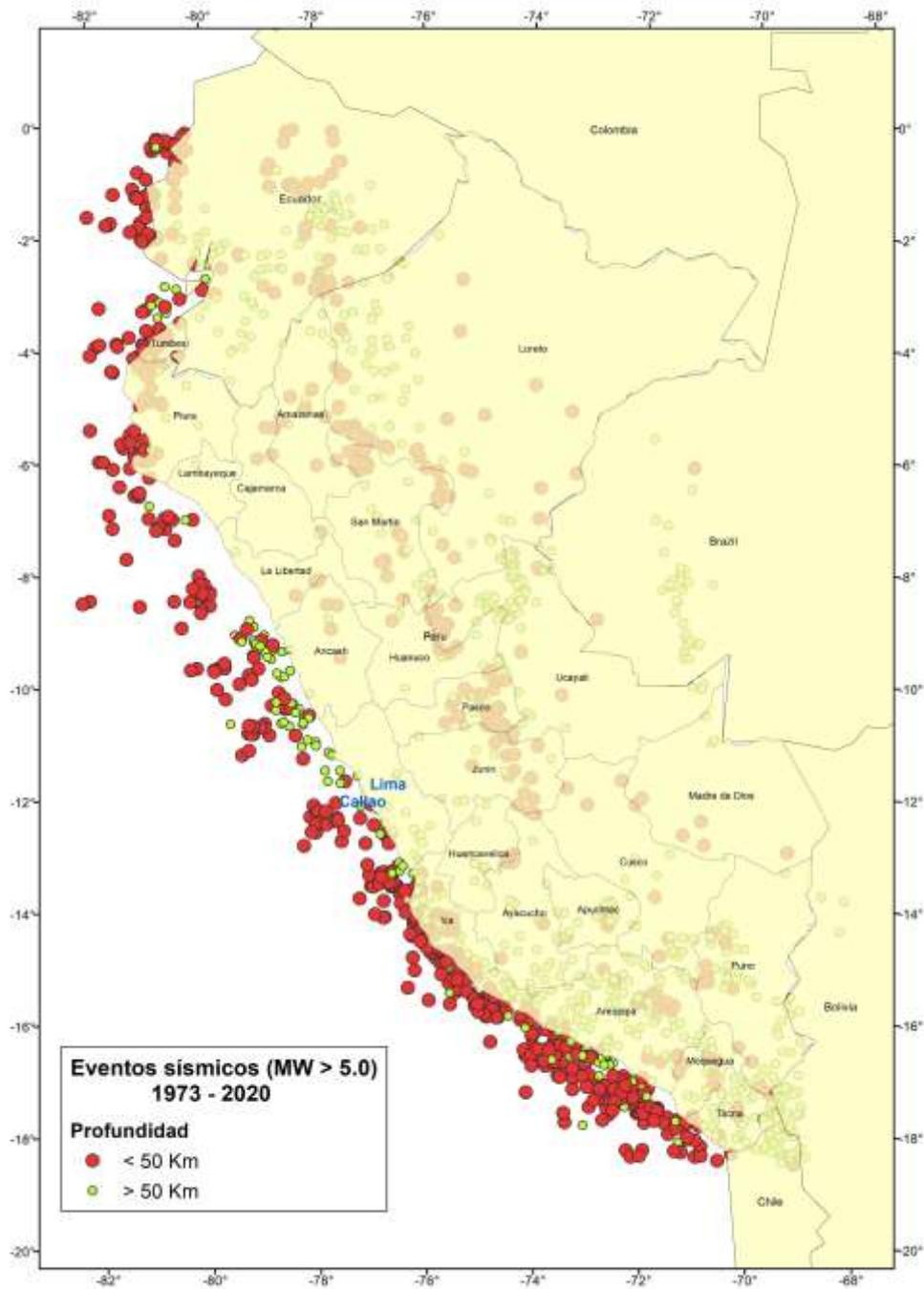


Figura 201. Sismos ocurridos en el Perú desde el año 1973 al año 2019 con magnitudes mayores a 5, base de datos (USGS).

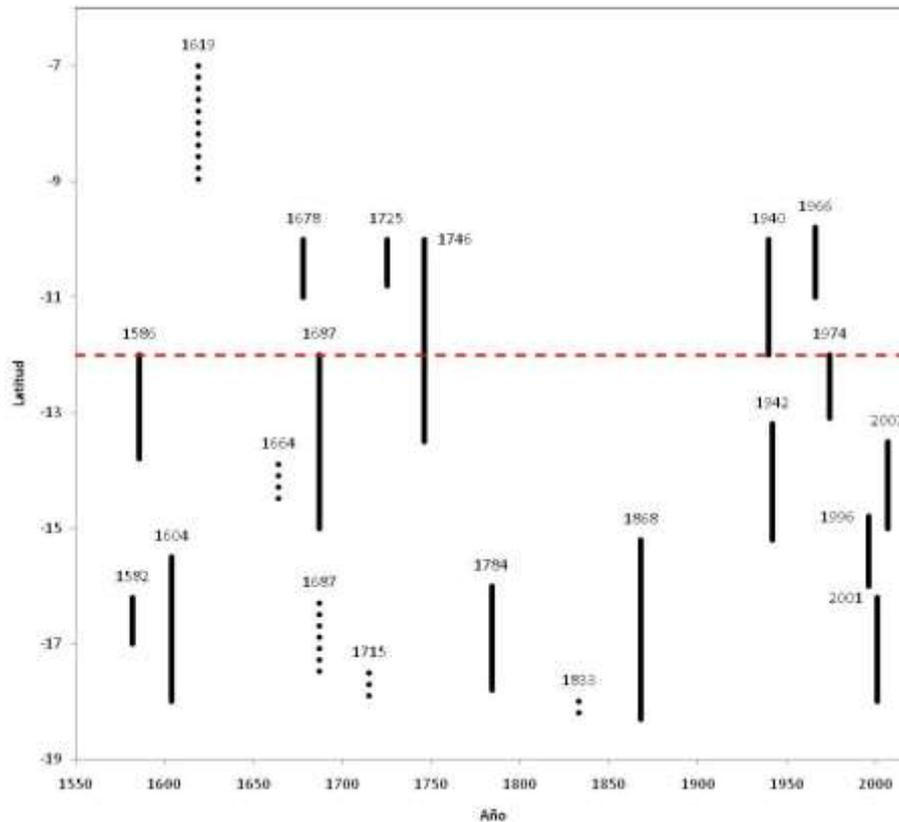


Figura 202. Zona de ruptura de los terremotos históricos ocurridos en el Perú. Las longitudes de las barras representan la longitud de ruptura, las barras con líneas punteadas representan los terremotos que no han producido tsunamis y la línea roja muestra la ubicación de la Ciudad de Lima. (Dorbath et al., 1990)

7.2. Tsunamis históricos en el Perú

Debido su ubicación, el Perú ha experimentado algunos de los más grandes tsunamis que han ocurrido en el mundo, de acuerdo con la base de tsunami tomada de la National Geographic Data Center (NGDC) Tsunami Database, son 4 los grandes tsunamis que han afectado las cosas peruanas y que han sido registrados también en otros países (Figura 203 y Tabla 6).

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

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

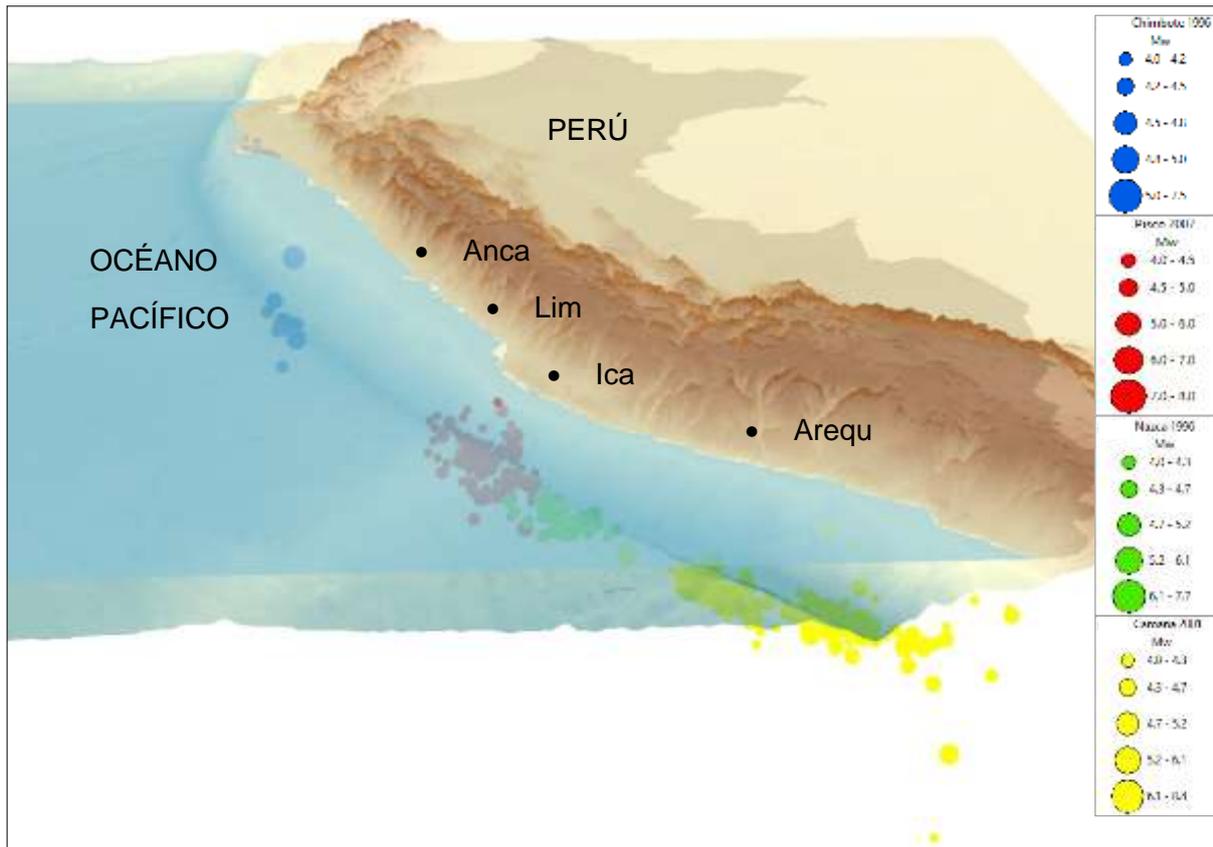


Figura 203. Ubicación de los terremotos, y las réplicas, que produjeron los cuatro tsunamis que afectaron al Perú y otros países según NGDC Tsunami Database.

Por ejemplo, el tsunami que ocurrió el 23 de junio del año 2001 en la zona sur del Perú fue generado por un sismo de magnitud Mw 8.4 con epicentro $16.26^{\circ}\text{S } 73.64^{\circ}\text{O}$. De acuerdo a USGS por lo menos 75 personas fallecieron, donde 26 a causa del tsunami producido, 2687 personas heridas, 17510 viviendas fueron destruidas y 35549 viviendas fueron afectadas en las aéreas de Arequipa, Camaná y Tacna. (Figura 204 y Figura 205). Otro ejemplo más reciente es el tsunami que ocurrió el 15 de agosto del año 2007, donde las áreas costeras de Chiriquí y Paracas fueron las más afectadas, por otro lado, en Camaná se entrevistó a los pobladores en las cercanías a las zonas costeras afectadas, quienes manifestaron que 20 minutos después de ocurrido el sismo, arribaron a la costa una serie de olas que inundaron sus viviendas. Según el reporte de Dirección de Hidrografía y Navegación (DHN), las olas alcanzaron alturas máximas de inundación (run-up) de hasta 2.91m y para unas distancias de 102.7m.



Figura 204. La erosión producto del tsunami del 23 de junio del año 2001 en la playa la Punta-Camaná, la altura máxima de ola en esta zona fue hasta de 7.5m (izquierda) (ITST, 2001a). Un bote pesquero arrastrado 1.3km en la zona donde la inundación llegó a 2km producto del tsunami del 15 de agosto de 2007 (derecha) (Fritz et al., 2008).



Figura 205. Consecuencias producidas por el tsunami del 23 de junio del año 2001 en la playa La Punta en Camaná (Fotos: Municipalidad de Camaná).

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

7.3. Ámbito de Estudio

El ámbito de análisis de este estudio cubre al distrito del Cercado del Callao, exclusivamente en lo que corresponde a las áreas que se determinen como zonas inundables.

El distrito del Cercado del Callao pertenece a la Provincia Constitucional del Callao, es una localidad de un área que limita por el norte con el distrito de Ventanilla; por el este con los distritos de San Miguel, Cercado de Lima y San Martín de Porres; por el oeste con el distrito de La Punta y el Océano Pacífico y por el sur con los distritos de La Perla, Bellavista y el Océano Pacífico. La Figura 206 muestra la ubicación del distrito de El Cercado del Callao en el mapa de Lima Metropolitana y el Callao.

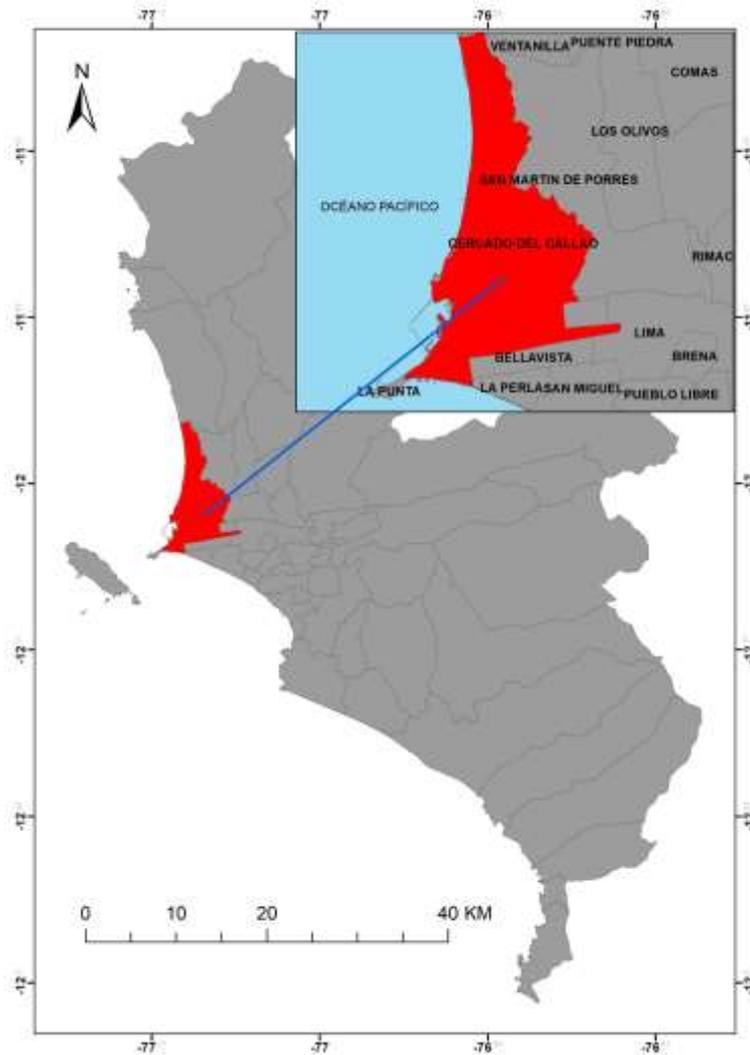


Figura 206. Localización del distrito Del Cercado del Callao.

7.4. Procedimiento de Análisis

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

7.5. Consideraciones Teóricas

7.5.1. Conceptos Básicos

Tsunami

Un tsunami es generado por perturbaciones de un volumen de agua en el mar, asociadas en la mayoría de los casos, con la ocurrencia de violentos sismos cuyos epicentros están en el lecho del océano o cerca de él. En el caso que un tsunami sea producido por un terremoto, éste producirá un levantamiento o hundimiento abrupto de un gran sector del fondo marino, lo que generará desplazamientos verticales repentinos de grandes volúmenes de agua. Esta alteración del nivel del mar, posteriormente al tender al equilibrio, generará una serie de ondas en todas direcciones a través del océano.

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

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

La Figura 207 muestra el proceso del origen de un tsunami, partiendo del inicio de un evento sísmico, donde la placa sudamericana se desliza violentamente por debajo de la placa sudamericana, produciendo un levantamiento en el fondo marino que desplazará el agua que se encuentre sobre esta dislocación.

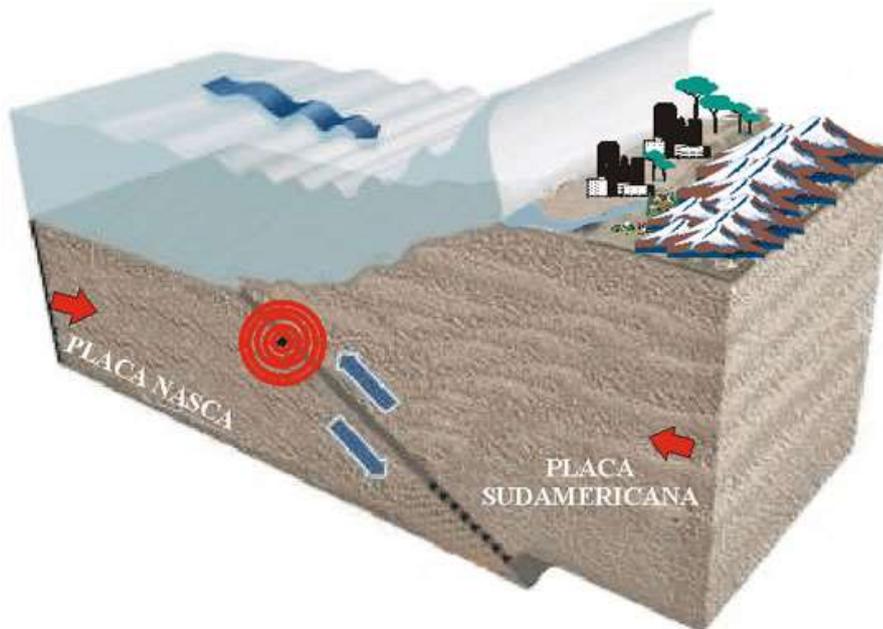


Figura 207. Proceso del origen de los tsunamis en las costas peruanas (Fuente: www.oannes.org.pe).



Tipos

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

- De Origen Local, son aquellos que tienen su punto de generación muy cercana a la costa ya sea por deslizamientos submarinos, como el ocurrido en las bahías de Alaska, EE.UU. (1964), o sismos en el litoral, como el de Lima, Perú (1940). En estos casos el ataque es inmediato a la generación.
- De Origen Cercano, aquellos que tienen su origen a pocos kilómetros de la costa, es decir, menor a 1000 km aproximadamente, estos eventos producen olas con tiempos de arribo a la costa de 10 a 30 minutos, según las condiciones locales del fondo marino, como el ocurrido en Lima en el año 1746.
- Origen Lejano, aquellos cuyo origen se encuentra a más de 1000 km de la zona de interés, su arribo se produce en tiempos que van desde 2 a 22 horas, como por ejemplo el ocurrido en Japón el 11 de marzo de 2011 que viajó a través de todo el Océano Pacífico para arribar a las costas peruanas, pero ya con una altura muy pequeña.

Características

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

- Período, tiempo que sucede entre el paso de dos ondas sucesivas.
- Longitud de Onda, distancia entre dos crestas sucesivas.
- Altura de Onda, distancia vertical entre el seno o valle y la cresta.

Teoría de Aguas Poco Profundas

Para el modelamiento de los tsunamis se usa la teoría de aguas poco profundas, esta teoría considera que la profundidad característica es mucho menor que la longitud de onda de las olas en el mar, teniendo en cuenta esta asunción y considerando el agua de mar como un fluido incompresible de densidad ρ la ecuación de continuidad (Ec. 16) y las ecuaciones de cantidad de movimiento (Ec. 17 y Ec. 18) describe cómo las velocidad y la presión de un fluido en movimiento están relacionadas. Estas ecuaciones son resueltas (Imamura, 1995). Las dos básicas expresiones son mostradas a continuación. La ecuación de continuidad puede ser expresada como:

$$\frac{\partial \eta}{\partial t} + \frac{\partial M}{\partial x} + \frac{\partial N}{\partial y} = 0 \tag{Ec. 16}$$

Donde:

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



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

$$\frac{\partial M}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{M^2}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{MN}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial x} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} M \sqrt{M^2 + N^2} \quad \text{Ec. 17}$$

$$\frac{\partial N}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{MN}{D} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\frac{N^2}{D} \right) = -gD \frac{\partial \eta}{\partial y} - \frac{gn^2}{D^{7/3}} N \sqrt{M^2 + N^2} \quad \text{Ec. 18}$$

$$M = \int_{-h}^{\eta} u dz = \bar{u} (\eta + h) \quad \text{Ec. 19}$$

$$N = \int_{-h}^{\eta} v dz = \bar{v} (\eta + h) \quad \text{Ec. 20}$$

$$D = \eta + h \quad \text{Ec. 21}$$

Donde:

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

D : profundidad total del océano

n : coeficiente de rugosidad de Manning

u y v : vector de velocidad en las direcciones x e y

\bar{u} y \bar{v} : velocidad promedio en las direcciones x e y

g : aceleración de la gravedad

h : profundidad del mar

La estabilidad numérica es definida como el tiempo que asegura que la velocidad de propagación numérica no exceda a la velocidad de propagación del medio físico o velocidad del tsunami, esta condición se define con la Ec. 22.

$$\Delta t \leq \frac{\Delta x}{\sqrt{2gh_{\max}}}$$

Ec. 22

Donde:

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

Parámetros de Fuente Sísmica

La fuente sísmica de los terremotos para la generación de la condición inicial del tsunami o la deformación inicial de la superficie del océano, puede describirse teóricamente usando nueve parámetros, estos son mostrados en la Figura 208.

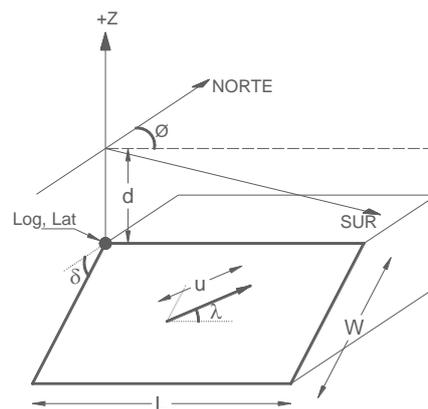


Figura 208. Parámetros de fuente sísmica para la generación de la condición inicial del tsunami.

Donde:

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

 d : Profundidad de la esquina superior izquierda del área de la falla, L : Longitud del área de la falla, W : Ancho del área de la falla, Φ : Dirección (Azimut) de la falla, λ : Ángulo de deslizamiento, δ : Ángulo de inmersión de la falla, u : Dislocación,



Estos parámetros son requeridos para la posterior simulación numérica del tsunami y tienen que ser obtenidos para cada una de las fallas y subfallas (si las hubiera) de las fuentes sísmicas.

Cabe resaltar además que para el cálculo de la magnitud de momento (M_w) de un sismo son necesarios tres de estos parámetros: la longitud, el ancho y la dislocación.

Escenario Sísmico

Para determinar la amenaza por tsunamis en el área de estudio, se realiza una revisión de la sismicidad histórica con el fin de determinar los escenarios sísmicos con más probabilidad de ocurrencia. Con esta información se establecen los parámetros de la fuente sísmica para calcular la deformación inicial de la superficie del océano. Seguidamente, se realiza la simulación numérica del tsunami. Como resultado de este análisis se obtiene la variación del nivel de agua en las zonas probables de Refugio, el tiempo de arribo de la primera ola y las alturas máximas de las olas en las costas del área de estudio, estos cálculos numéricos se basan en la teoría de aguas poco profundas, finalmente se propone el mapa de inundación para cada escenario sísmico considerado por el tsunami.

En este estudio los modelos fuente están basados en seis diferentes escenarios sísmicos. El primero es un modelo basado en la distribución de acoplamiento intersísmico en las zonas de subducción en un periodo de 275 años desde el terremoto de 1746, aquí también se incluyen las mediciones de la deformación del fondo marino obtenidos a partir de sensores GPS y transpondedores acústicos, así también información de sismos históricos para finalmente proponer la distribución de deslizamientos que resulta en una magnitud de 8.8 M_w (Pulido et al., 2011).

Los otros cinco escenarios fueron calculados escalando los desplazamientos propuestos por el modelo anteriormente mencionado, de tal manera que resulten en sismos de las siguientes magnitudes 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9 y 9.0 M_w . Así de esta manera tener un rango de escenarios de diferentes magnitudes.

Parámetros de las fuentes sísmicas

La fuente del primer escenario sísmico está dividida en 280 sub fallas, cada una de 20 km x 20 km, en un área de ruptura de 700 km de largo por 160 km de ancho, la magnitud de momento calculada es de 8.8 M_w (ver Figura 209 derecha abajo). La distribución de deslizamientos muestra dos asperezas principales, la mayor localizada a 70 km al oeste de Lima con un deslizamiento de 15.4 m, y la segunda al sur de Lima con un valor de hasta 13.0 m, la Figura 209 muestra la distribución de desplazamientos.

Los otros cinco escenarios tienen las mismas características a excepción de la magnitud de los desplazamientos, siendo los mayores desplazamientos de las subfallas de 4.9, 6.9, 9.8, 15.4, 20.0 y 28.4 metros para los escenarios 8.5, 8.6, 8.7, 8.8, 8.9 y 9.0 M_w respectivamente (La característica de la falla de cada escenario se pueden observar en el ANEXO 1.

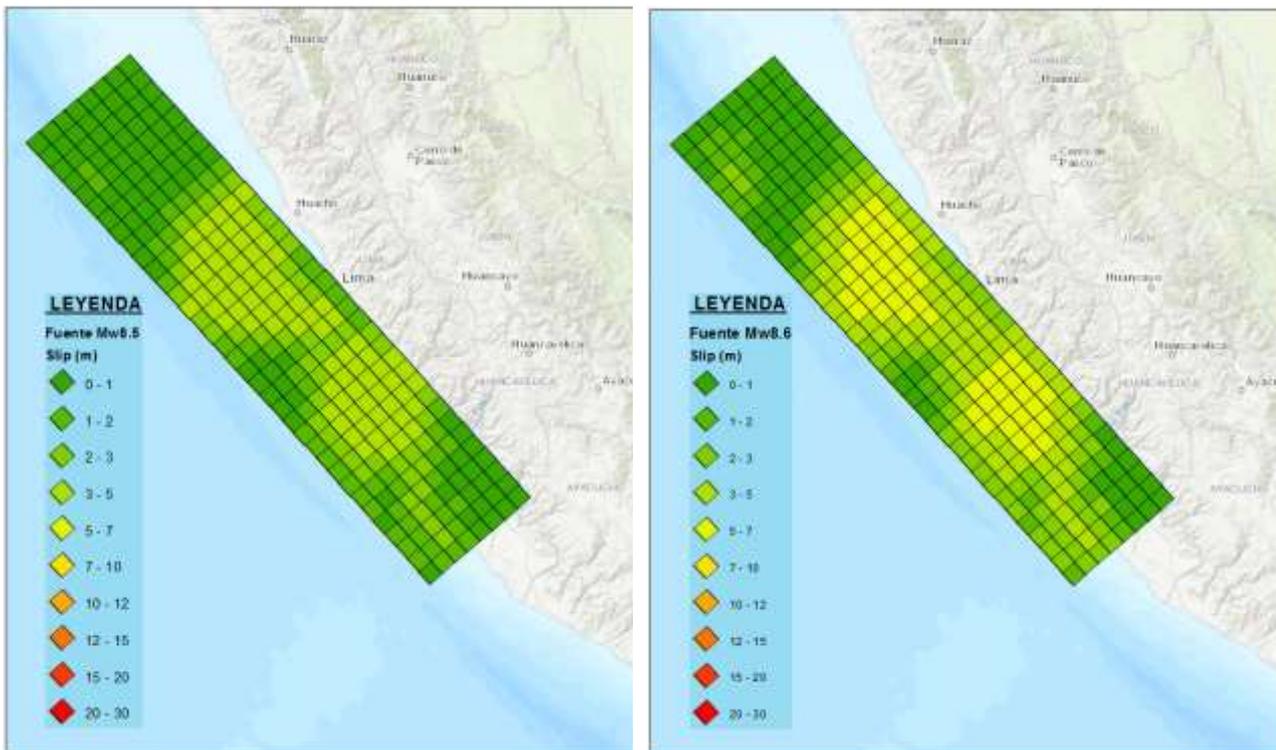
Para el escalamiento de los escenarios sísmicos menores a 8.8 M_w generados por Pulido et. al., 2011, se le solicitó al autor las características geométricas y sísmicas de las 280 sub fallas que generaban este escenario sísmico. El escalamiento para los sismos de menor magnitud

se realizó a través de un coeficiente que multiplique al desplazamiento o dislocación de cada una de las subfallas y luego calcular la energía traducida en momento sísmico M_0 generada por este desplazamiento, luego se suman todas estas energías obteniendo la energía de toda la falla y se calcula la magnitud de momento equivalente (M_w)

$$M_w = \log(M_0 + 1)/1.5 - 10.73 \quad \text{Ec. 8}$$

Al aplicar este escalamiento se mantuvo las características geométricas de la fuente (el largo y ancho se mantuvo constante) generando fuentes sísmicas equivalentes con menores desplazamientos o dislocaciones al momento de la ruptura. Los resultados de este escalamiento se muestran en la Figura 209.

Como se aprecia en esta figura, los desplazamientos en las subfallas ubicadas en los extremos de la fuente sísmica presentan desplazamientos menores haciendo que el tamaño total de la falla se reduzca de manera automática, demostrándose que a menores magnitudes el tamaño total efectivo de la falla se ve reducido.



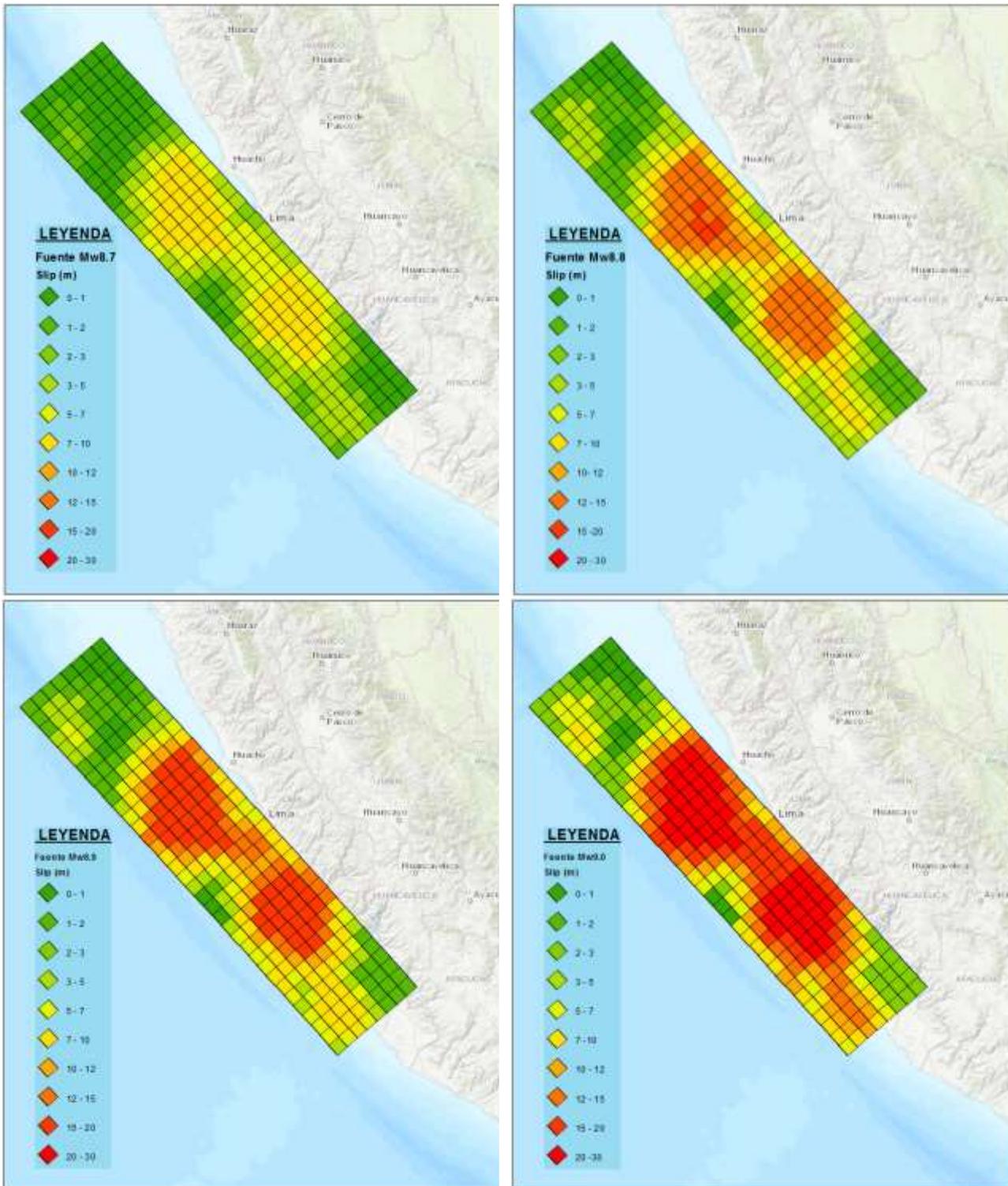


Figura 209. Distribución de desplazamientos para los seis escenarios sísmicos de 8.5 – 9.0 Mw, que constan de 280 sub fallas cada uno.

7.6. Análisis del Tsunami para el distrito del Cercado del Callao

7.6.1. Fase de la Deformación Inicial de la Superficie del Océano

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

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

$$u_i = \frac{1}{F} \iint_{\Sigma} \Delta u_j \left[\lambda \delta_{jk} \frac{\partial u_i^n}{\partial \xi_n} + \mu \left(\frac{\partial u_i^j}{\partial \xi_k} + \frac{\partial u_i^k}{\partial \xi_j} \right) \right] v_k d\Sigma \quad \text{Ec. 9}$$

Donde:

δ_{jk} : Delta de Kronecker,

λ y μ : Constantes de Lamé,

v_k : Dirección coseno de la normal al elemento de superficie $d\Sigma$,

u_i^j : Componente "i" del desplazamiento en el punto (x_1, x_2, x_3) debido a la fuerza de magnitud "F" en la dirección "j" en (ξ_1, ξ_2, ξ_3) ,

La Figura 210 muestra el resultado de la condición inicial del tsunami para los escenarios sísmicos. Donde el color rojo representa el desplazamiento vertical positivo (levantamiento) y el color azul representa el desplazamiento vertical negativo (hundimiento).

En la simulación numérica de la propagación e inundación del tsunami, la línea marea es definida de acuerdo a la condición inicial del tsunami Figura 210. Esto significa que, de acuerdo a este análisis, el nivel de la marea en la costa estaría descendiendo, lo que comúnmente es llamado "el retroceso del mar", como condición inicial del tsunami y como una señal de alerta de la venida del tsunami.



PERÚ

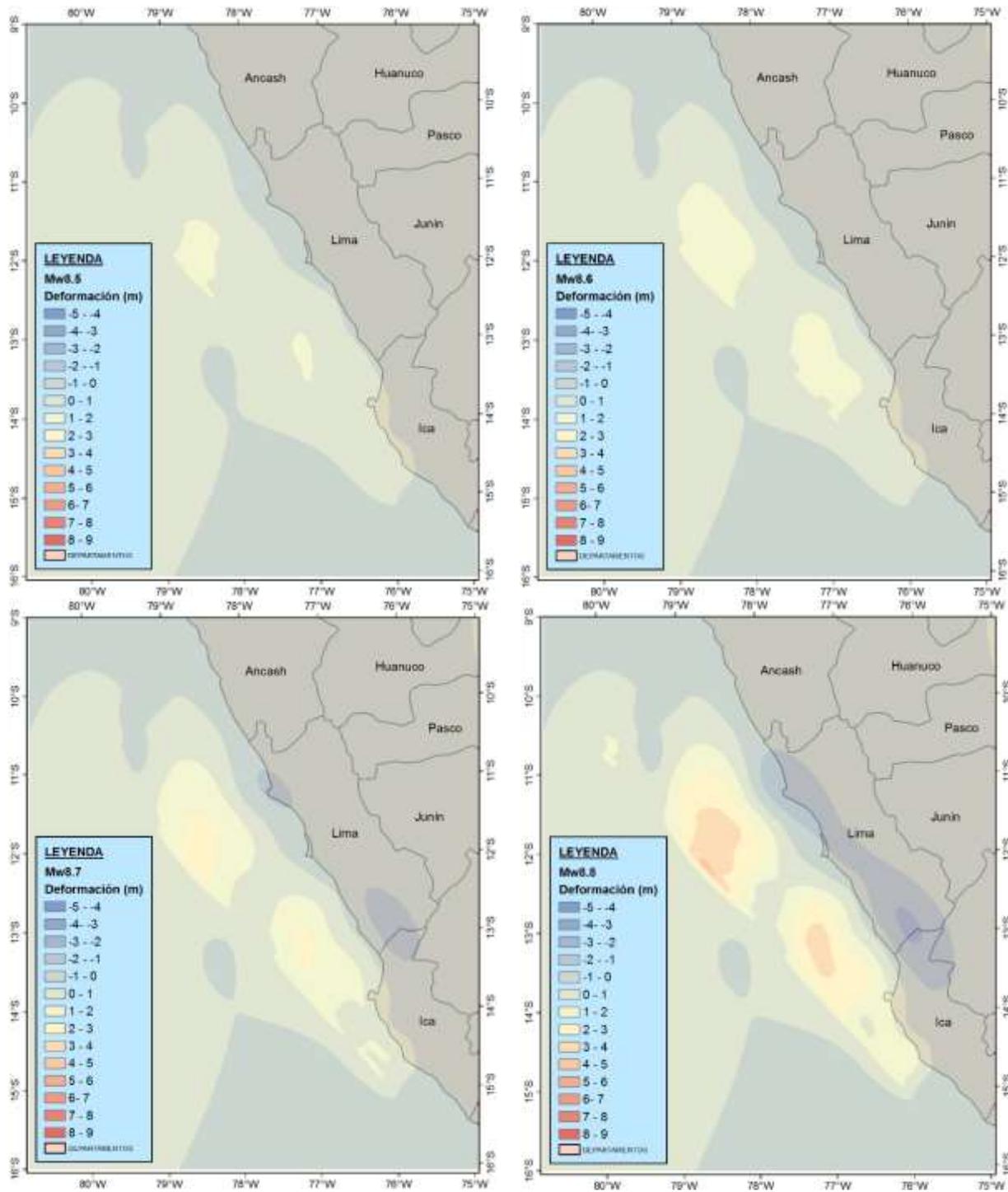
Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento

Viceministerio de Vivienda y Urbanismo

Programa Nuestras Ciudades



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



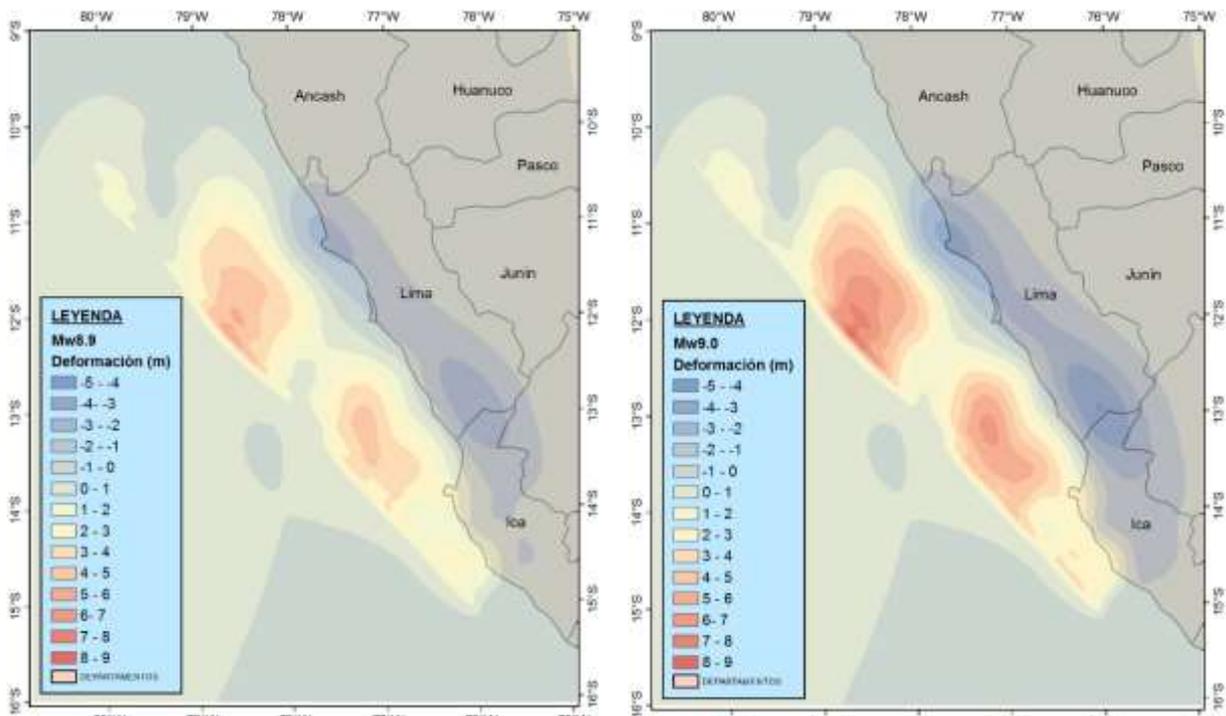


Figura 210. Deformación inicial de la superficie del océano para los seis escenarios sísmicos de 8.5 – 9.0 Mw

De las figuras anteriores se observa que, aunque la diferencia de las magnitudes es de solo 0.1, las deformaciones positivas (levantamiento) en el fondo marino difieren en varios metros, dando a entender así que los 9 parámetros mencionados en la Figura 208, son necesarios para definir las condiciones iniciales del fondo marino y no sólo aquellos que se usan para el cálculo de la magnitud Mw.

7.6.2. Fase de la Propagación del Tsunami

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

La propagación e inundación fueron calculadas usando TUNAMI-N2 en el sistema de coordenadas UTM utilizando el datum WGS84, Zona 18S y el área de cálculo fue dividida en cuatro dominios o regiones, donde los dominios se conectan unos a otros usando el sistema de mallas anidadas. Estos dominios se pueden ver en la Figura 211.

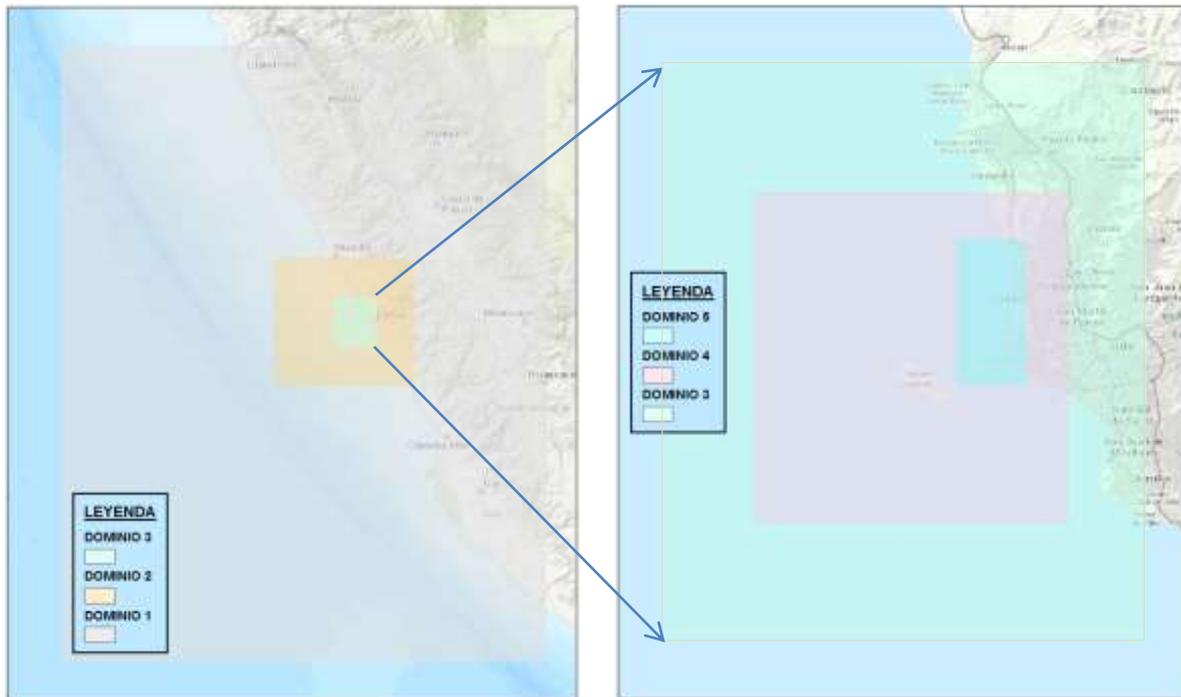


Figura 211. Dominios utilizados EN la simulación numérica, distribución de los 5 dominios.
(Mapa base: Fuente GEBCO y NOAA)

Para la simulación del tsunami, la batimetría fue tomada desde la página web del General Bathymetric Chart of the Ocean (GEBCO) con una resolución espacial de 30 segundos de arco, que para la ubicación geográfica de estudio se interpola a aproximadamente 415 metros y para el análisis de inundación se utiliza una batimetría de 15 metros obtenida de los portulanos y recaladas por la DHN (Tabla 7).

El tiempo total de simulación es de 3 horas (180 minutos) y el intervalo de tiempo para la simulación, con el fin de satisfacer la estabilidad numérica, es de 0.2 segundos.

Asumiendo que el evento sísmico propuesto más desfavorable ocurriera a las 10 am, la Figura 212 muestra la propagación de las ondas para el de 9.0 Mw en los tiempos (a) de 1 minuto, (b) el tiempo de arribo de la primera onda a la costa (minuto 20) y (c) minuto de la máxima altura de la inundación (minuto 48). Cabe resaltar que, al usar escenarios de la misma fuente escalada, los tiempos de arribo de la primeras ondas u olas son bastante similares y esto se puede ver claramente en la Figura 214.

Además, la Figura 212 (a) muestra la distribución espacial de la condición inicial del tsunami calculado para un sismo de magnitud 9.0 Mw, donde las zonas en azul representan el desplazamiento vertical positivo del mar y las zonas en celeste el desplazamiento vertical negativo (b) muestra la propagación del tsunami 20 minutos después de iniciado el evento sísmico. En esta figura se observa el arribo de la primera onda a la costa.

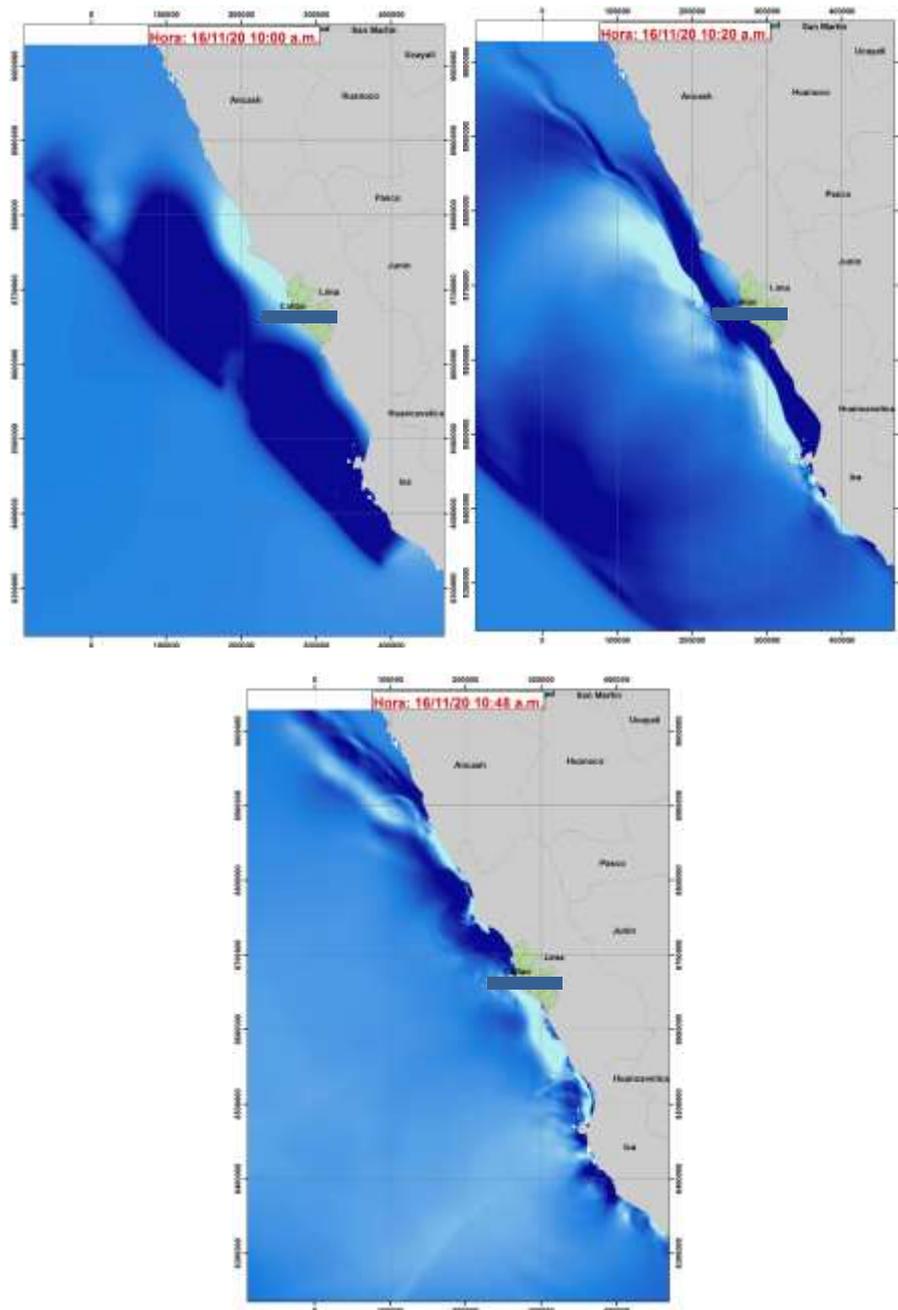


Figura 212. Capturas instantáneas en diferentes instantes de la propagación del tsunami, donde el color azul representa el desplazamiento vertical positivo y el color celeste el desplazamiento vertical negativo de la superficie del océano para el escenario de 8.8 Mw.

También se muestran las amplitudes de las ondas versus el tiempo transcurrido después de haberse iniciado el tsunami para los diferentes escenarios sísmicos, estas señales fueron registradas por 11 estaciones mareográficas virtuales ubicadas en la zona costera del distrito del Cercado del Callao, como se muestra en la Figura 213.

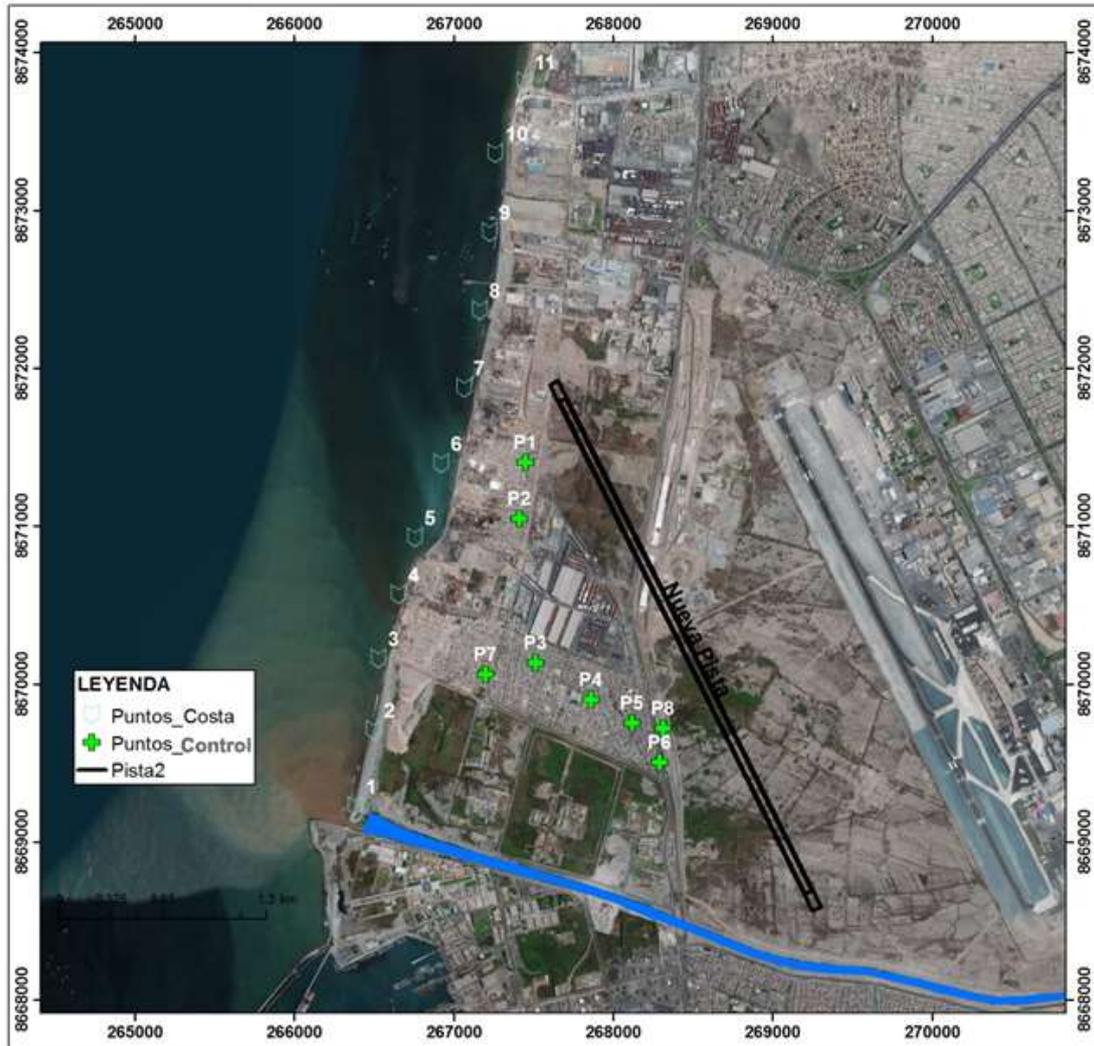


Figura 213. Ubicación de los mareógrafos virtuales situados en las costas del Cercado del Callao.

La Figura 214 muestra como varía la amplitud en el transcurso del tiempo para el punto 5. Esta es una representación sintética del tsunami registrado en cuatro puntos cercanos a las zonas urbanas de la costa del Callao (Ver Figura 213), estas señales son el resultado de la sustracción de la señal astronómica de la señal mareográfica sintética del tsunami, la señal del tsunami muestra que en este escenario la primera ola arriba al distrito del Cercado del Callao aproximadamente 20 minutos después del evento sísmico, alcanzando su máxima altura de 11.3 metros a los 48 minutos.

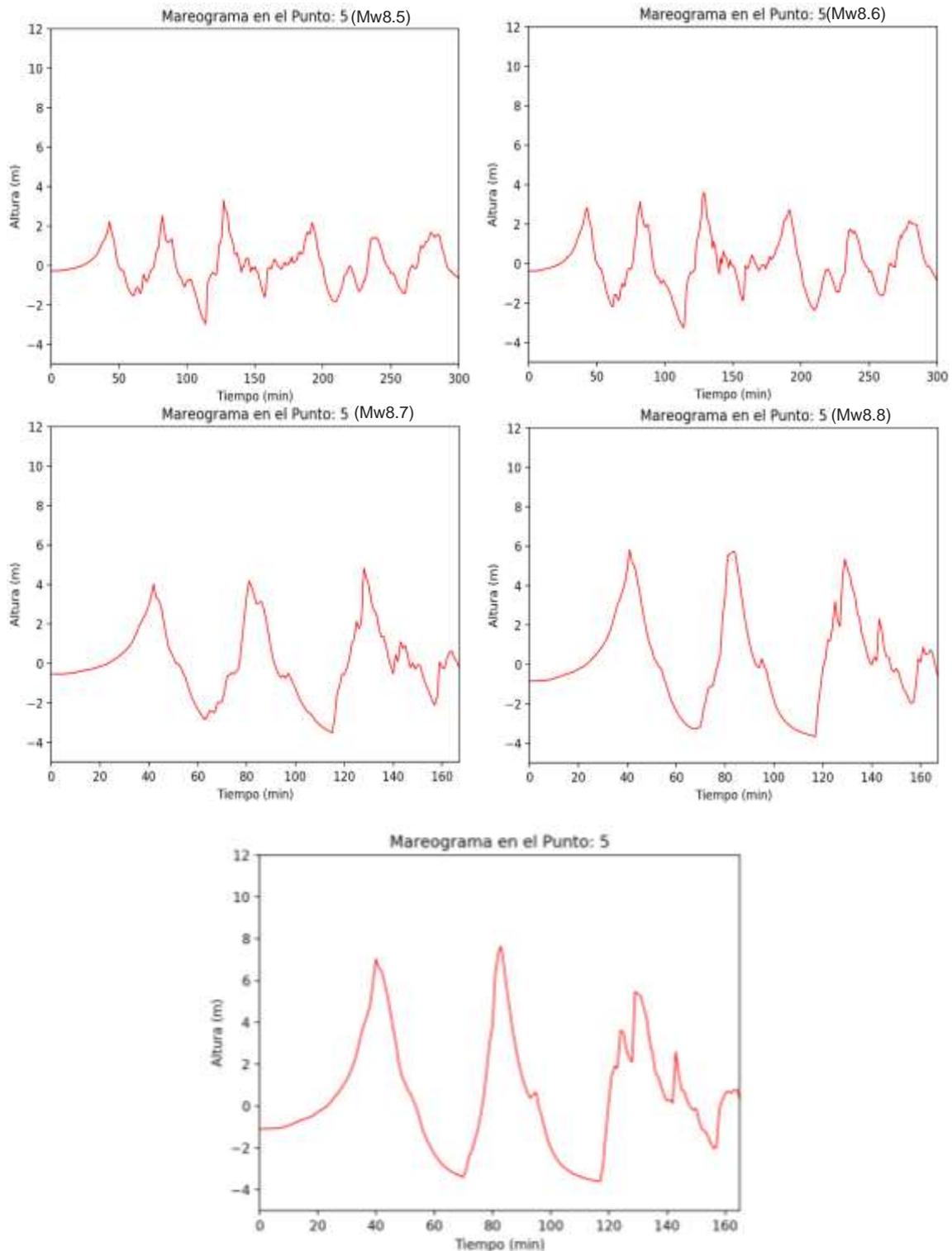


Figura 214. Señal sintética del tsunami para los escenarios propuestos de 8.5 a 8.9 Mw en las costas del Cercado del Callao.

7.6.3. Fase de Inundación

En esta etapa se utilizó la batimetría obtenida por la DHN (Dirección de Hidrografía y Navegación) mediante los Portulanos y cartas de Recalada, interpolados hasta 15 metros, sumándola con la batimetría obtenida por la DNH durante el proyecto SATREPS del 2010, con una resolución de 5 m. Así también, la topografía fue obtenida utilizando un servicio de Google Maps para obtener la elevación e integrada con la información obtenida del Shuttle Radar Topography Mission (SRTM), esta última fue descargada con una resolución espacial de 30 metros y fue interpolada hasta los 15 metros, Además se consiguió topografía de alta resolución mediante el levantamiento fotogramétrico con imágenes de dron. La Tabla 7 detalla dónde se usó la batimetría y topografía para cada dominio, siendo el dominio 5 el usado para el análisis de inundación, en la Figura 211 (b) se observa la extensión de este dominio.

Tabla 7. Fuentes y resolución de la topografía y batimetría para la simulación numérica

Dominio	Este(m)		Norte (m)		Resolución (m)	Fuente de Datos	
	Min	Max	Min	Max		Batimetría	Topografía
1	-123900	504255	8222000	9028355	405	GEBCO 27 s	GEBCO 27 s
2	152600	333095	8582900	8750435	135	GEBCO 9 s	GEBCO 9 s
3	228200	283370	8633500	8699695	45	DHN 45 m	SRTM+Google
4	238675	274540	8646775	8684890	15	DHN 15 m	SRTM+RPAS
5	261885	269720	8662700	8679430	5	DHN 5 m	SRTM+RPAS

Además, se establecieron 11 estaciones mareográficas virtuales a lo largo de la costa del área de estudio, en estas estaciones virtuales se puede registrar las variaciones en el nivel del mar producto del tsunami, los valores máximos de estos registros estarían dando las probables amplitudes máximas o altura de las olas máximas que estaría atacando las costas del Cercado del Callao. Los valores de las alturas máximas a lo largo de la costa del Cercado del Callao se resumen en la Tabla 8.

Tabla 8. Alturas máximas de ola obtenidas del modelo numérico de simulación de Tsunami

Mw	Hmáx (m)
8.5	3.90
8.6	4.60
8.7	6.20
8.8	7.20
8.9	8.90
9.0	12.00

La Figura 216 muestra las alturas de olas esperadas producto del tsunami a lo largo de la costa de la Zona de estudio, de acuerdo con esta figura, se ve la diferencia de alturas de ola entre la primera y la máxima, con alturas de ola de hasta 6.5 y 7.2 metros respectivamente para el evento de 8.8 Mw, en esta figura también se puede observar claramente el terreno ganado el mar. Asimismo, se muestra en la Figura 215, el gráfico de las alturas de ola a lo largo

de la costa de la zona de estudio, cercana al Aeropuerto Jorge Chávez, para todos los escenarios.

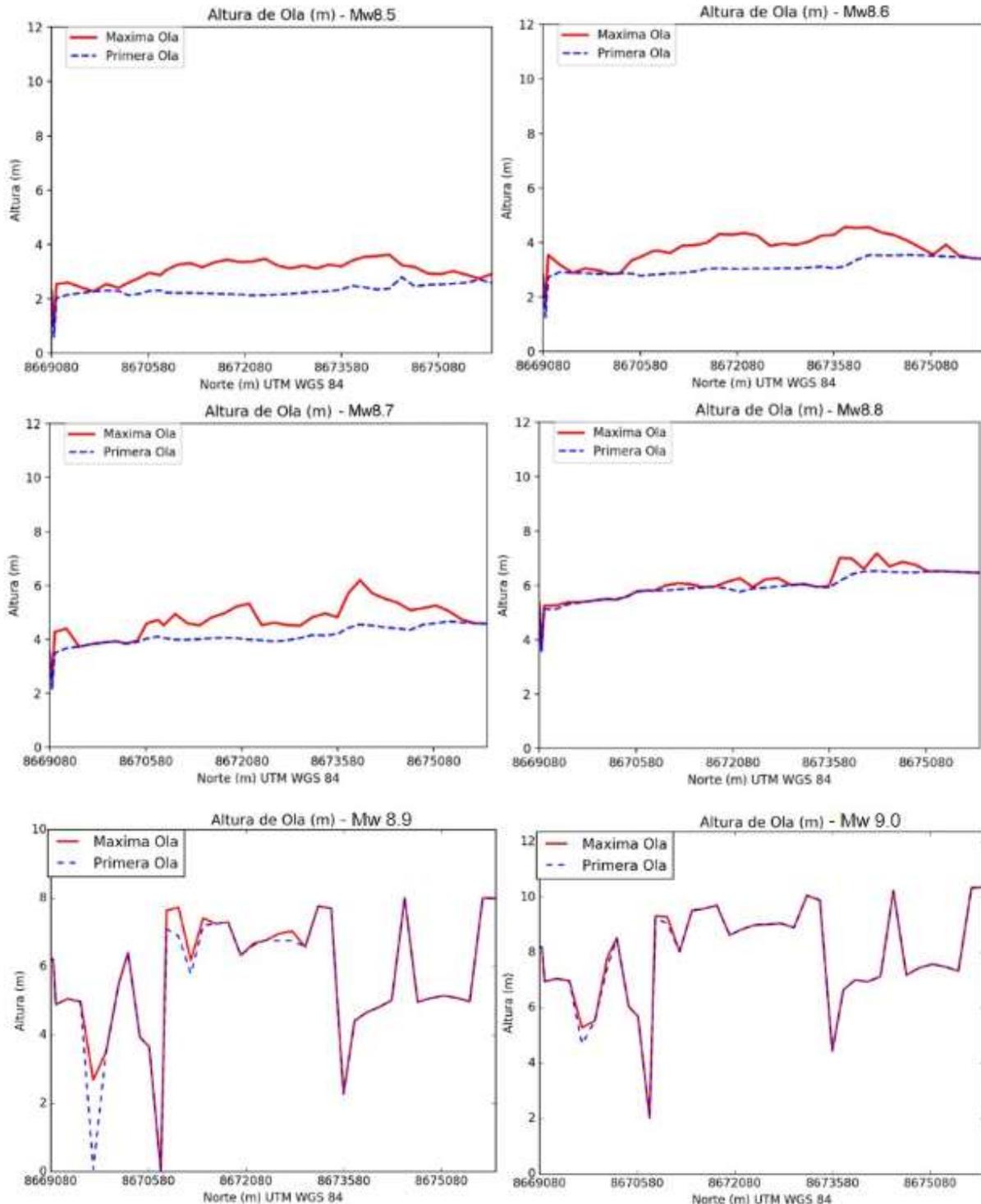


Figura 215. Alturas de la primera y máxima ola a lo largo de la costa de la zona de estudio para los seis escenarios, de Norte a Sur.

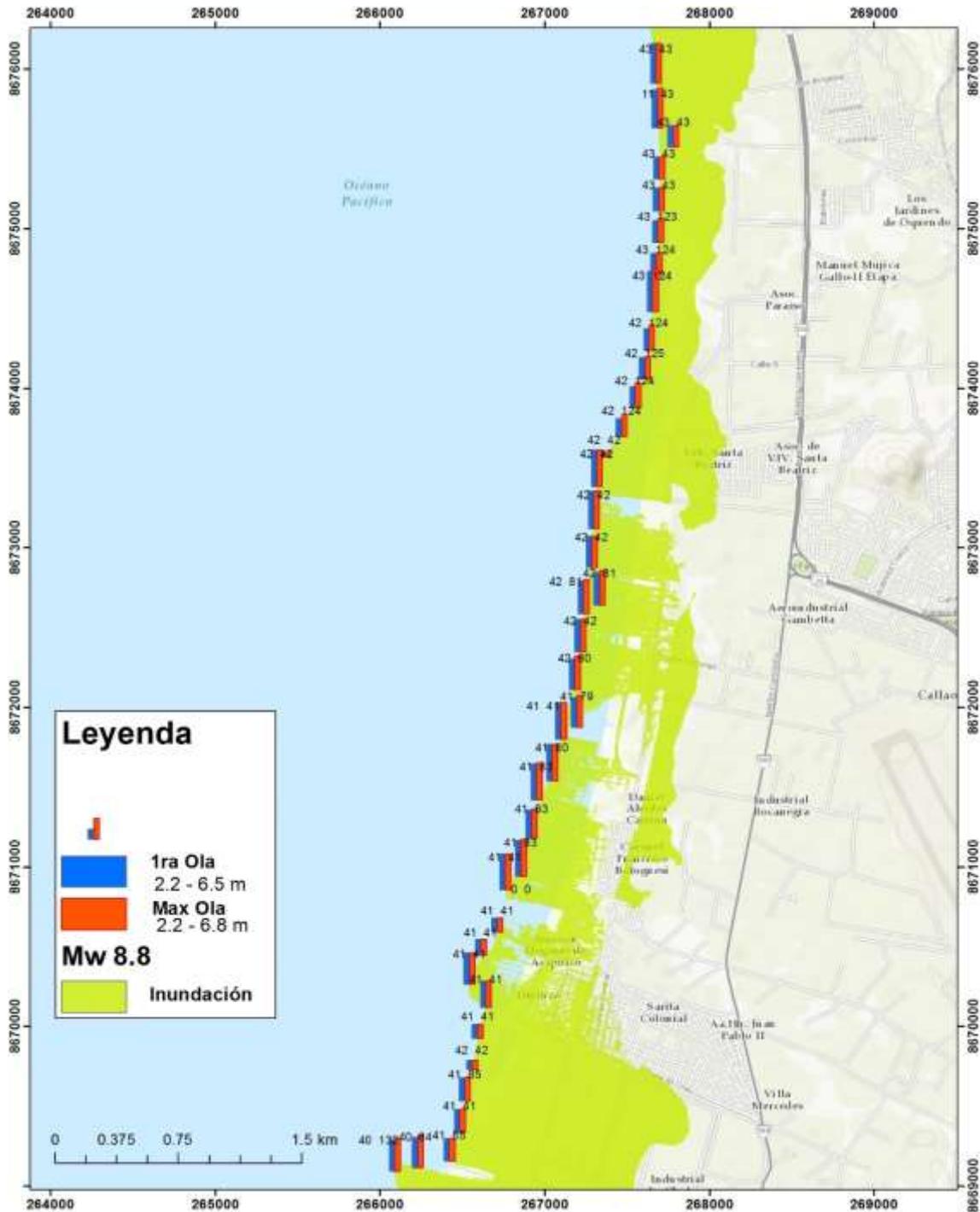


Figura 216. Alturas de olas a lo largo de la costa del Callao. Las barras celestes y anaranjadas representan la altura de la primera y máxima ola en la costa respectivamente para el escenario de Mw 8.8.



Finalmente, estas alturas deberán ser corregidas por las alturas máximas de mareas.

Para esta corrección se usan los valores calculados por la Dirección de Hidrografía y Navegación de la Marina de Guerra del Perú en base a la data histórica de las estaciones mareográficas instalados a lo largo de la costa peruana, dicha información incluye un ciclo nodal lunar de 19 años hasta el 2020.

En esta data histórica se puede encontrar que, en las costas de Callao se tiene un valor de pleamar de 1.50 metros. Con este valor se corrigen los valores obtenidos de la simulación para asegurar una evaluación de daños en el caso más desfavorable.

Finalmente, los valores de altura con los cuales se han evaluado las áreas de inundación se presentan en la Tabla 9, los valores se presentan redondeados.

Tabla 9. Valores corregidos de alturas máximas de olas.

Mw	Hmáx corregida (m)
8.5	5.3
8.6	6.1
8.7	7.7
8.8	8.7
8.9	10.4
9.0	13.5

Así como se obtienen las alturas máximas en las costas también se elaboraron mapas con las alturas de inundación para el área de estudio y los resultados se muestran en la Figura 217, Figura 218, Figura 219, Figura 220, Figura 221 y Figura 222 para los eventos de magnitudes de 8.5 a 9.0 Mw respectivamente.

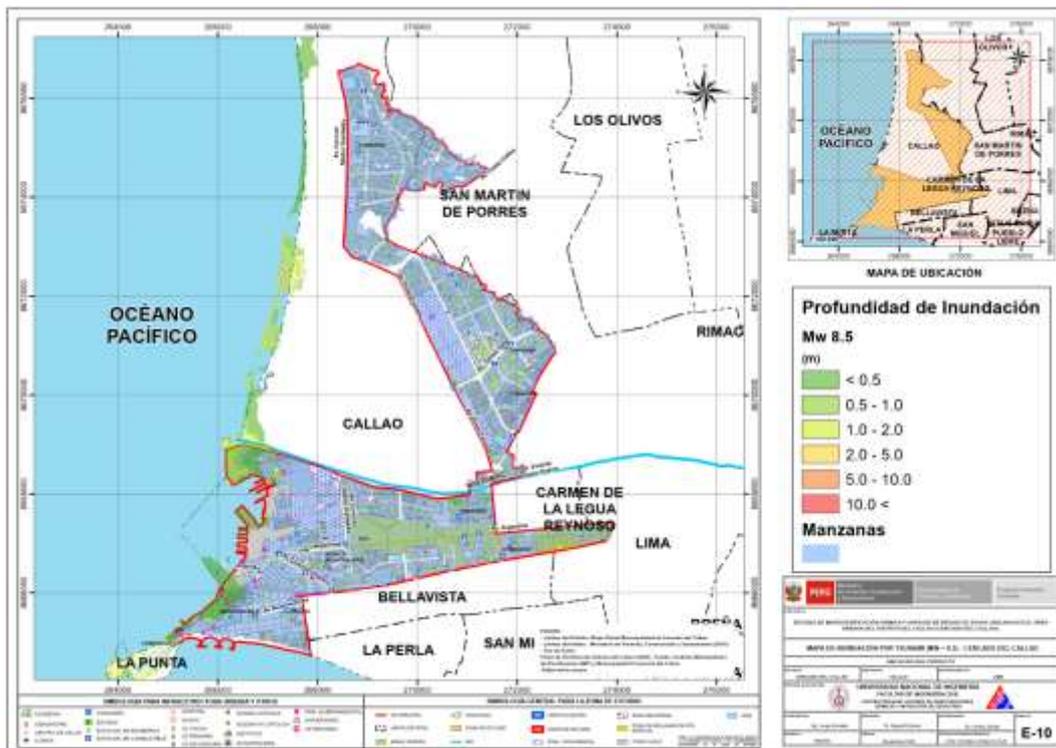


Figura 217. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.5 Mw.

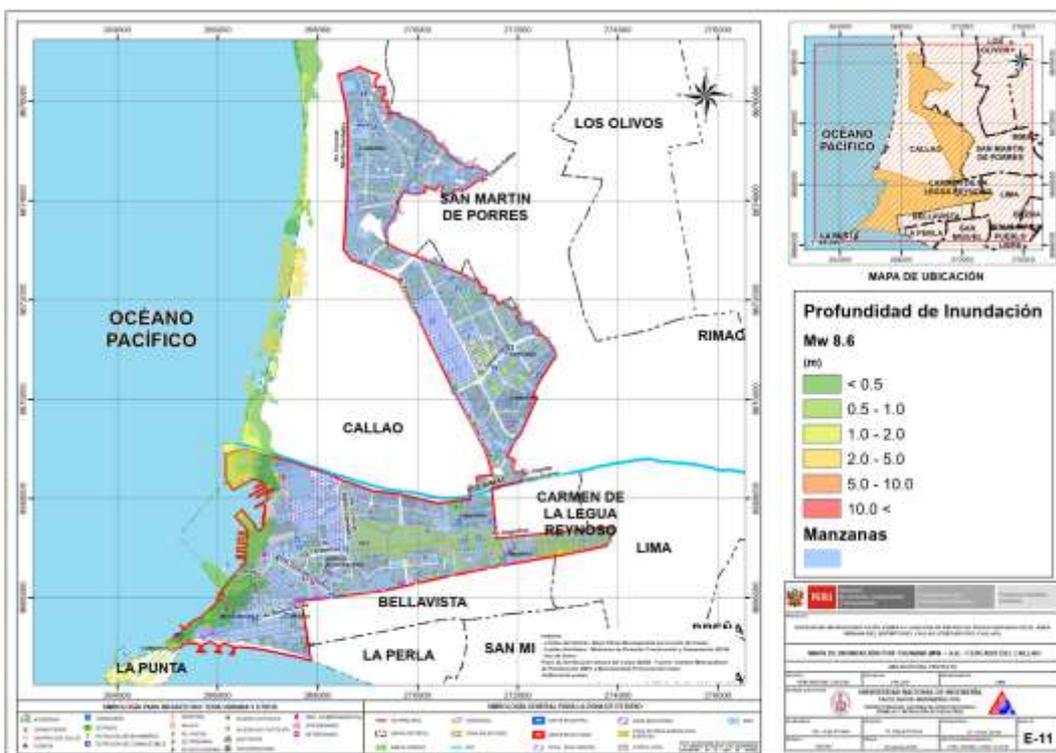


Figura 218. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.6 Mw.

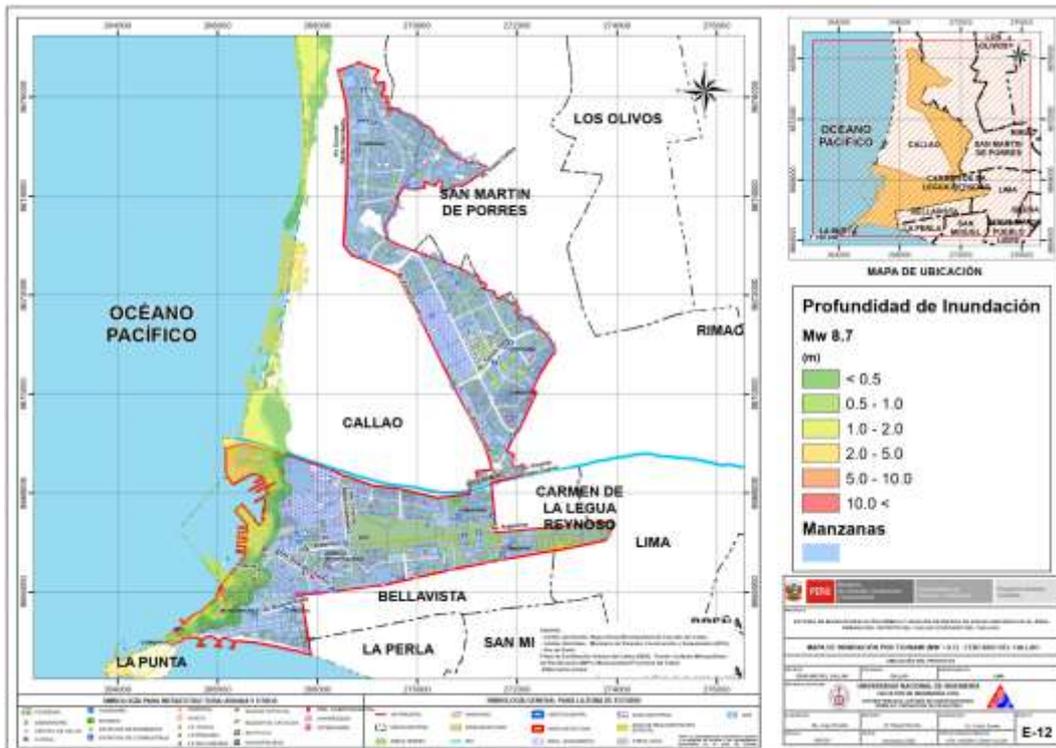


Figura 219. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.7 Mw.

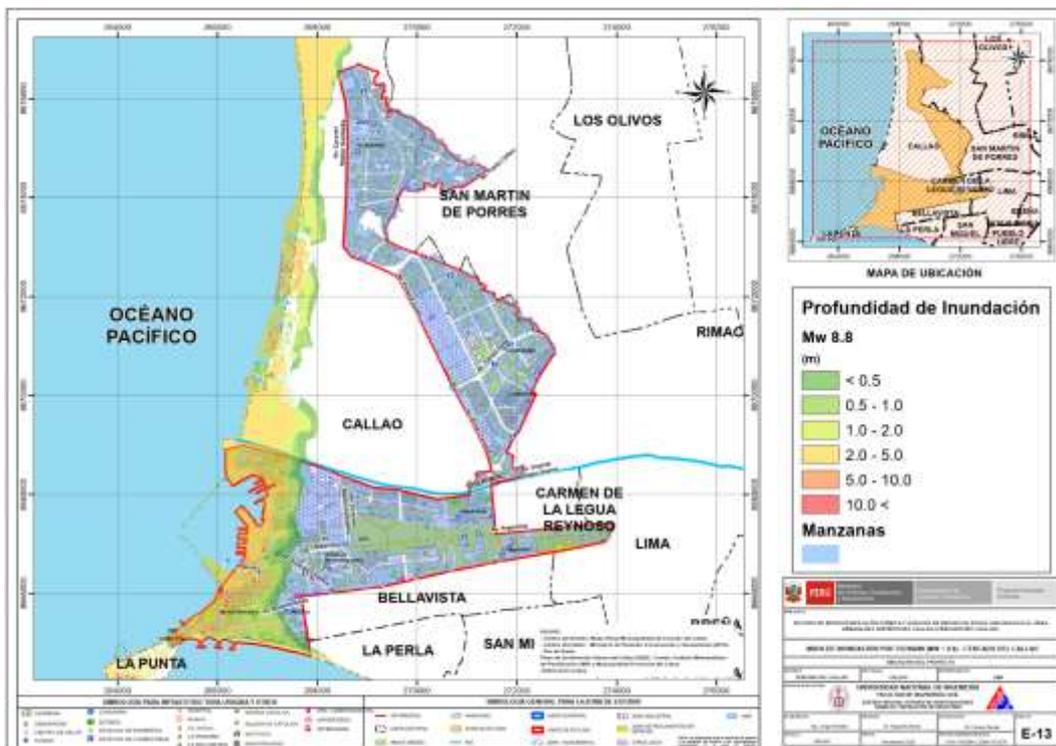


Figura 220. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.8 Mw.

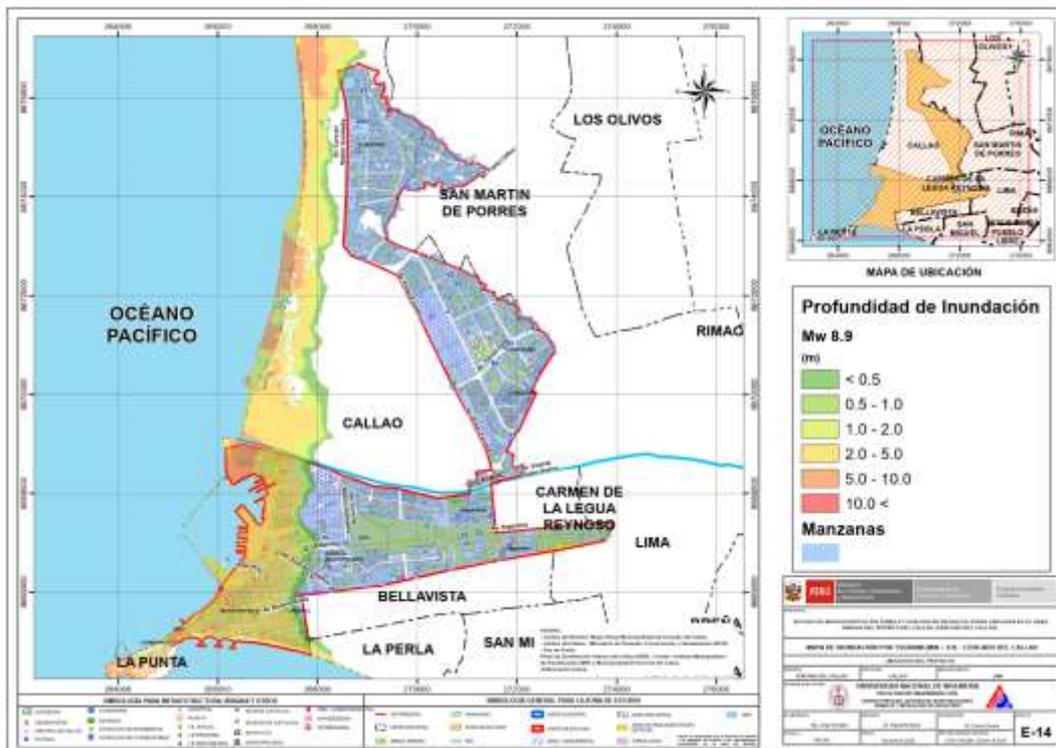


Figura 221. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 8.9 Mw.

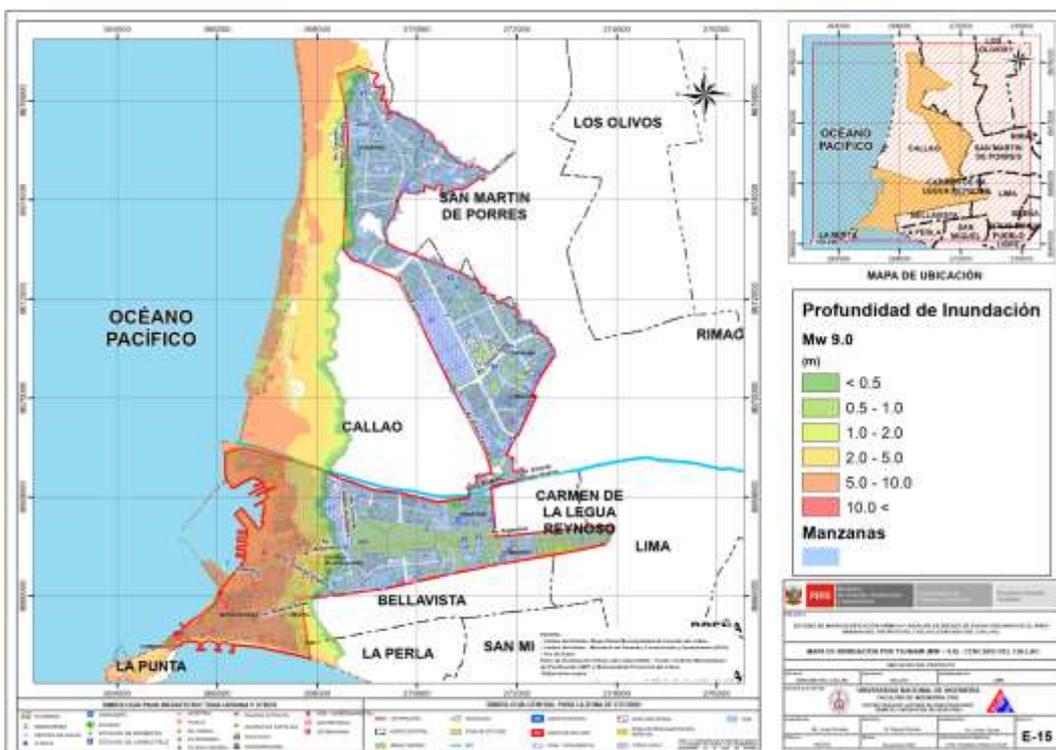


Figura 222. Profundidades de inundación para el Cercado del Callao con el escenario sísmico de magnitud 9.0 Mw.



7.7. Análisis de Resultados

Se ha realizado un análisis cuantitativo de seis escenarios probables de tsunamis que podrían atacar las costas del Cercado del Callao, utilizando la teoría de las aguas poco profundas. Como resultado de este análisis se obtuvo la propagación e inundación para todos los escenarios planteados y este resultado ha sido plasmado en mapas temáticos que ayudarán a un mejor entendimiento.

De la Figura 217 a la Figura 222 se pueden apreciar todos los mapas de inundación, afectando a varias de las manzanas del distrito según la magnitud del evento modelado, la Tabla 10 muestra la afectación de las manzanas del distrito por el posible tsunami de acuerdo a su magnitud.

Tabla 10. Número de manzanas afectadas por el tsunami según la magnitud simulada.

Mw	n° Mzas afectadas
8.5	78
8.6	145
8.7	222
8.8	457
8.9	592
9.0	744

Para todos los escenarios sísmicos planteados, debido a la ausencia de alguna barrera natural como un acantilado se observa que el área inundada alcanza muchas viviendas de la zona (ver Tabla 10) siendo una gran amenaza para los pobladores del distrito, sobre todo si el escenario sísmico tiene una magnitud superior a 8.7

7.8. Recomendaciones

El tiempo de evacuación promedio disponible sería de entre 15 y 20 minutos, el cual parecería insuficiente, aunque se realice inmediatamente, esto debido a la gran cantidad de población expuesta y a la ausencia de protección natural o hecha por el hombre (Muros de la contención, torres de evacuación etc.)

Por otro lado, la forma más adecuada para evacuar recomendada es a pie, ya que se usualmente se genera demasiado tráfico vehicular.

La realización de simulacros de sismo y tsunami ayuda a la sensibilización de la población, para ello los mapas de peligro son muy importantes ya que muestran de una manera entendible la extensión de la amenaza.



8. REFERENCIAS

- [1] Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness - Eduardo Miranda and Carlos J. Reyes Journal of Structural Engineering ASCE / July 2002.
- [2] Approximate lateral deformation demands in multistory buildings - Miranda, E. (1999). Journal of Structural Engineering ASCE. /1999.
- [3] Estimación rápida de la Respuesta Sísmica en base a sistemas de un grado de libertad para el cálculo de vulnerabilidad sísmica – Carlos Zavala y Ricardo Proaño – XIV Congreso de Ingeniería Civil Iquitos Perú / Octubre 2003.
- [4] Estimación Rápida de Desplazamientos Laterales Producidos por Sismo -Hugo Scaletti Farina – FIC – UNI /2003.
- [5] Simulador Respuesta Sísmica y Nivel de Daño –SRSND – Carlos Zavala – CISMID/FIC/UNI/ Noviembre 2007.
- [6] Efectos del Terremoto de Managua en los efectos de agua y alcantarillado - Ing. E. Pallawlecial IX Seminario Centroamericano de Ingenieros Sanitarios Panamá /Septiembre 1973.
- [7] Reducción del Daño Sísmico – Guía para empresas de agua – Organización Panamericana de la Salud (OPS) y American Water Works Association (AWWA)/ 2003.
- [8] 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 (7CU EE) /March 2010.
- [9] AASHTO LRFD 2012 Bridge Design Specifications 6th Edition (US) – Customary U.S. Units 2012 – Publication code: LRFDUS-6.
- [10] Alva Hurtado J. E. (2004), "Banco de Datos de Mapas de Isosistas en el Perú", Página web del CISMID – FIC – UNI (<http://www.cismid-uni.org/component/k2/item/68-banco-de-datos-de-isosistas-del-peru>).
- [11] Alva Hurtado J. E., Meneses J. y Guzmán V. (1984), "Distribución de Máximas Intensidades Sísmicas Observadas en el Perú", V Congreso Nacional de Ingeniería Civil, Tacna, Perú.
- [12] American Society of Civil Engineers - Structural Engineering Institute (2010), "Minimum Design Loads for Buildings and Other Structures".
- [13] Bernal, I. (2000), "Características de la Sismicidad en la Región Sur del Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 69 – 80. Lima, Perú.
- [14] Berrocal J., (1974), "South American Seismotectonics from SAAS data", Thesis submitted for the Degree of Doctor of Philosophy in the University of Edinburg.
- [15] Bolaños A. y Monroy O. (2004), "Espectros de Peligro Sísmico Uniforme", Tesis para Optar el Grado de Magíster en Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería, Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima.
- [16] Bommer, J. J., (2002), "Deterministic vs. Probabilistic Seismic Hazard Assessment: An Exaggerated and Obstructive Dichotomy", Journal of Earthquake Engineering, Vol. 6, Special Issue 1, pp. 43 – 73, Imperial College Press.
- [17] Bommer, J. J., (2012), "Challenges of Building Logic Trees for Probabilistic Seismic Hazard Analysis" Earthquake Spectra, Volume 28, N°. 4, pages 1723-1735, November 2012. Earthquake Engineering Research Institute.

**PERÚ**Ministerio
de Vivienda, Construcción
y SaneamientoViceministerio de
Vivienda y UrbanismoPrograma Nuestras
CiudadesUNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL
CENTRO PERUANO JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES

- [18] Boore, D. (1983), "Stochastic simulation of high frequency ground motion based on seismological models of the radiated spectra", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 73, N° 6, pp. 1865-1894.
- [19] Boore, D.; Joyner, W. (1982), "The empirical prediction of ground motion", Seismological Society of America, Vol. 72, N° 6, pp. S43-S60.
- [20] Cahill, T.; Isacks, B. (1992), "Seismicity and shape of the subducted Nazca plate". Journal of Geophysical Research, Vol. 97, No.B12, p. 17503-17529.
- [21] Castillo J. (1993), "Peligro Sísmico en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- [22] Castillo, J; Alva, J. (1998), "Peligro sísmico en el Perú", Memorias del VIII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones, SPMSIF, Lima, Perú.
- [23] Cornell A. (1968), "Engineering Seismic Risk Analysis", Bulletin of the Seismological Society of America", Vol 58, N°5 págs.1538-1606.
- [24] Deza E. (1969), "Estudio Preliminar Sobre las Zonas de Transición que Separan Posibles Regiones Sismotectónicas del Margen Occidental de Sudamérica: Zona de Transición en el Perú", I Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Lima, Perú.
- [25] Deza E. y Carbonell C. (1978), "Regionalización Sismotectónica Preliminar del Perú", IV Congreso Peruano de Geología, Lima, Perú.
- [26] Dorbath, L., Cisternas, A. y Dorbath, C. (1990) "Assessment of the Size of large and Great Historical Earthquakes in Peru". BSSA, 80, pg 551-576.
- [27] Esteva, L. (1970), "Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño", Publicación N° 19 del Instituto de Ingeniería, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [28] Gamarra, C. A. (2010), "Nuevas Fuentes Sismogénicas para la Evaluación del Peligro Sísmico y Generación de Espectros de Peligro Uniforme en el Perú", Tesis de Grado, Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería Lima.
- [29] Giovanni M. K., Beck S. L. & Wagner L. (2002), "The June 23, 2001 Peru Earthquake and the Southern Peru Subduction Zone". Geophysical Research Letters, Vol 29, N° 21, 2018.
- [30] Grange, F. et al (1984), "Tectonics implications of the micro earthquake seismicity and fault plane Solutions in the Southern Peru", Journal of Geophysical Research, Vol. 89, Pp 6139-6152.
- [31] Gutenberg, B. (1945), "Magnitude determination for deep-focus earthquakes", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 35, pp. 117-130.
- [32] Gutenberg, B.; Richter, C. (1956), "Earthquake magnitude: intensity, energy, and acceleration", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 46, pp. 104-145.
- [33] Hanks, T.; Kanamori, H. (1979), "A moment magnitude scale", Journal of Geophysical Research, Vol. 84, pp. 2348-2350.
- [34] Hynes-Griffin, M.E., and Franklin, A.G., (1984), "Rationalizing the Seismic Coefficient Method", Miscellaneous Paper GL-84,-13, U.S. Army Corps of Engineers, Waterways Experiment Station, Vicksburg, Mississippi.
- [35] Instituto Geofísico del Perú. (2001), "Catálogo Sísmico del Perú: Versión Revisada y Actualizada". Lima, Perú.
- [36] International Building Code (2012), "2012 International Building Code", International Code Council, INC (ICC) - USA.



- [37] Isacks B., Oliver J. y Sykes L.R., (1968), "Seismology and Global Tectonics", Journal of Geophysical Research, Vol 73, N°18, páginas: 5855-5899.
- [38] Kramer, S. L., (1996), "Geotechnical Earthquake Engineering". Prentice Hall, New Jersey, USA.
- [39] Macharé, J., Benavente, C., Laurence, A. (2009), "Síntesis Descriptiva del Mapa Neotectónico 2008", Boletín N° 40 Serie C Geodinámica e Ingeniería Geológica, INGEMMET
- [40] Macharé, J., Fenton, C., Machette, M., Lavenue, A., Costa, C. and Dart, R., (2003), "Database and Map of Quaternary Faults and Folds of Peru and its Offshore Regions", Open-File Report 03-451, US Geological Survey, U.S.A.
- [41] Macharé, J., Laurence, A., Romero, J., Costa, C., Ramírez, V., Lara, L., et al. (2009), "Atlas de Deformaciones Cuaternarias de los Andes", Proyecto Multinacional Andino: Geociencias para las Comunidades Andinas, Publicación Geológica Multinacional N° 7.
- [42] McGuire R.K. (1974), "Seismic Structural Response Risk Analysis incorporating Peak Response Regression on Earthquake Magnitude and Distance", MIT Report R74-51 Cambridge MA, USA.
- [43] Ministerio de Energía y Minas (1995), "Guía Ambiental para el Manejo de Relaves Mineros"
- [44] Ordaz, M., Aguilar A., Arboleda J: (1999), "Program for Computing Seismic Hazard: CRISIS 2003 Ver 3.0.1", Institute of Engineering, Universidad Nacional Autónoma de México.
- [45] Patwardhan, K.; Sadigh, I. M.; Idriss and Youngs, R. (1978). "Attenuation of Strong Motion Effect of Site Conditions. Transmission Path Characteristics and Focal Depths", submitted to the Bull Seismological Society of America.
- [46] Pomachagua, O. (2000), "Características Generales de la Tectónica y Sismicidad de Perú", Revista de Trabajos de Investigación, CNDG, IGP, pp. 93 – 104. Lima, Perú.
- [47] Richter C.F. (1958), "Elementary Seismology", W.H. Freeman Co., San Francisco.
- [48] S. Rodríguez, H. Tavera, (1991), Determinación con Alta Resolución de la zona Wadati-Benioff en la Región del Perú Central, Revista Geofísica Vol. 9, N°2, 141-159.
- [49] Sadigh K. Chang C., Egan J., Makdisi F., Youngs R. R., (1997), "Attenuation Relationship for Shallow Crustal Earthquakes Based on California Strong Motion Data", Seismological Research Letters, Volume 68, Number 1, January/February.
- [50] Scordilis E 2006: Empirical global relations converting Ms and mb to moment magnitude, Journal of Seismology 10: pp. 225-236.
- [51] Sébrier M., Huamán D., Blanc J. L., Macharé J., Bonnot D. y Cabrera J. (1982), "Observaciones acerca de la Neotectónica del Perú", Instituto Geofísico del Perú, Lima, Perú.
- [52] Silgado E., (1969), "Sismicidad de la Región Occidental de la América del Sur entre los paralelos 2° y 18° Latitud Sur", Primer Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Antisísmica, pp. 33-44.
- [53] Silgado E. (1973), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú 1955- 1970", Geofísica Panamericana, Vol 2 pp. 179-243.
- [54] Silgado E. (1978), "Historia de los Sismos más Notables ocurridos en el Perú (1513-1974)", Instituto de Geología y Minería, Boletín N°3, Serie C, Geodinámica e Ingeniería Geológica, Lima, Perú.



- [55] Silgado E. (1992), "Investigación de Sismicidad Histórica en la América del Sur en los Siglos XVI, XVII, XVIII y XIX", CONCYTEC, Lima, Perú.
- [56] SISRA (1985), "Catálogo de Terremotos para América del Sur" Vol 7a, 7b y 7c, Proyecto SISRA, CERESIS, Lima, Perú.
- [57] Slemmons D. (1982), "Magnitude of Active Faults", U.S. Army Engineer Waterways Experimental Station, USA.
- [58] Tavera H. y Buforn E (1998), "Sismicidad y Sismotectónica de Perú", Física de la Tierra, N° 10, pp. 187 – 219. España.
- [59] Tavera H., (1998), "Mecanismo Focal de Terremotos en Perú y Sismotectónica", Tesis para Optar el Grado de Doctor en Ciencias Físicas, Facultad de Ciencias Físicas, Universidad Complutense de Madrid, España.
- [60] Tavera H., Buforn E., Bernal I., Antayhua Y. & Vilcapoma L. (2002), "The Arequipa (Peru) Earthquake of June 23, 2001", Journal of Seismology, Vol. 6, pp. 279 – 283.
- [61] Tavera H., Vilca R. y Marín G. (2006), "Inferences on the Geometry of the Nazca Plate in Northwestern Peru Based on Data Collected by a Local Seismograph Network", Earth Science Research Journal, Vol. 10, N° 1, pp. 15 – 24.
- [62] Weichert, Dieter H. (1980), "Estimation of the Earthquake Recurrence Parameters for Unequal Observation Periods for Different Magnitudes", Bulletin of Seismological Society of America, Vol. 70, N°. 4, pp. 1337-1346, August, 1980.
- [63] Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J. and Humprey, J. R. (1997), "Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes", Seismological Research Letters, Vol. 68, Numb. 1, Pp. 58 – 73, USA.
- [64] Zhao, J., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., et al (2006), "Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period", Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 96, No. 3, pp. 898 – 913, June 2006, doi: 10.1785/0120050122.
- [65] Silgado F., E., (1992). Investigaciones de sismicidad histórica en la América del Sur en los siglos XVI, XVII, XVIII y XIX, Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología, Lima, Peru.
- [66] ITST, 2001a, Report of the June 23, 2001 Peruvian Tsunami Field Survey of the International Tsunami Survey Team (ITST).
- [67] Fritz, H. M., Kalligeris, N., Borrero, J. C., Broncano, P., and Ortega, E., 2008, The 15 August 2007 Peru tsunami run-up observations and modeling, Geophysical Research Letters, vol. 35, L10604, doi: 10.1029/2008GL033494.
- [68] Imamura, F., 1995, Review of the tsunami simulation with a finite difference method, Long Wave Run-up Models, Word Science, 25-42.
- [69] Dorbath L., Cisternas A., y Dorbath C., 1990, Assessment of the Size of Large and Great Historical Earthquakes in Peru, Bulletin of the Seismological Society of America, Vol. 80, No. 3, pp. 551-576.
- [70] Okada, Y., 1985, Surface Deformation Due to shear and Tensile Faults in Half-space, Bulletin Seismological Society of America. Vol. 75, No. 4, 1135-1154.
- [71] N. Pulido, H. Tavera, H. Perfettini, M. Chlieh, Z. Aguilar, S. Aoi, S. Nakai, and F. Yamazaki, "Estimation of Slip Scenarios for Megathrust Earthquakes: A Case Study for Peru," in Effects of Surface Geology on Seismic Motion, pp. 1-6, 2011.



- [72] C. Jimenez, N. Moggiano, E. Mas, B. Adriano, S. Koshimura, Y. Fujii, and H. Yanagisawa, "Seismic Source of 1746 Callao Earthquake from Tsunami Numerical Modeling," *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.2, pp. 266-273, 2013.
- [73] B. Adriano, E. Mas, S. Koshimura, Y. Fujii, S. Yauri, C. Jimenez and H. Yanagisawa, "Tsunami Inundation Mapping in Lima for Two Tsunami Source Scenarios", *Journal of Disaster Research*, Vol.8, No.2, pp 274-284, 2013.
- [74] Kuroiwa J., *Reducción de Desastres, Viviendo en Armonía con la Naturaleza*, 2002.
- [75] *Evaluación del Riesgo de Tsunamis en Quintero Chile*, En revista chilena de ingeniería (ISSN0370-4009). No 453, abril 2008.
- [76] "Estudio de Tsunamis de Origen Cercano en el Callao Centro – Norte, Planes de Evacuación y Uso de Suelo", 2008, E. Mas y V Jácome. Facultad de Ingeniería Civil – Universidad Nacional de Ingeniería.
- [77] "Tabla de Mareas 2015", 2015, Dirección de Hidrografía y Navegación, Marina de Guerra del Perú, Ministerio de Defensa, República del Perú.



ANEXO 1. Tabla de los parámetros de las fuentes sísmicas que consideran 280 sub fallas

Sub Falla	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Profundidad (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Buzamiento (°)	Desplazamiento (°)	Desp. 8.5 (m)	Desp. 8.6 (m)	Desp. 8.7 (m)	Desp. 8.8 (m)
1	387514.74	8328974.09	7441	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07
2	374270.24	8343930.57	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61
3	361020.03	8358891.86	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61
4	347742.88	8373835.91	7441	20000	20000	319	15	56	1.48	2.07	2.95	4.61
5	334460.41	8388774.09	7441	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07
6	321151.18	8403717.51	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61
7	307837.04	8418644.38	7441	20000	20000	319	15	56	1.97	2.77	3.93	6.15
8	294507.24	8433576.95	7441	20000	20000	319	15	52	1.97	2.77	3.93	6.15
9	281151.29	8448493.18	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61
10	267790.88	8463404.50	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61
11	254404.44	8478321.99	7441	20000	20000	319	15	68	1.48	2.07	2.95	4.61
12	241013.97	8493223.90	7441	20000	20000	319	15	76	1.48	2.07	2.95	4.61
13	227608.72	8508121.39	7441	20000	20000	319	15	76	0.98	1.38	1.97	3.07
14	214318.10	8523093.52	7441	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
15	201013.25	8538050.66	7441	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
16	187694.21	8553004.07	7441	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
17	173821.13	8567692.89	7441	20000	20000	319	15	72	0.98	1.38	1.97	3.07
18	160344.34	8582571.18	7441	20000	20000	319	15	60	1.48	2.07	2.95	4.61
19	146842.71	8597457.15	7441	20000	20000	319	15	68	1.97	2.77	3.93	6.15
20	133338.42	8612329.12	7441	20000	20000	319	15	76	2.46	3.46	4.92	7.69
21	119809.72	8627198.08	7441	20000	20000	319	15	72	2.95	4.15	5.90	9.22
22	106278.39	8642075.60	7441	20000	20000	319	15	68	3.44	4.84	6.89	10.76
23	92723.11	8656939.43	7441	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69
24	79165.69	8671801.14	7441	20000	20000	319	15	76	1.48	2.07	2.95	4.61
25	65595.21	8686671.87	7441	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07
26	52001.24	8701529.50	7441	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54
27	38405.61	8716385.62	7441	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54
28	24786.46	8731251.20	7441	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54
29	11166.14	8746104.60	7441	20000	20000	319	15	72	0.49	0.69	0.98	1.54
30	-2466.46	8760968.04	7441	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07
31	-16121.80	8775819.36	7441	20000	20000	319	15	40	0.98	1.38	1.97	3.07
32	-29777.99	8790670.21	7441	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07
33	-43456.97	8805531.54	7441	20000	20000	319	15	48	0.49	0.69	0.98	1.54
34	-57136.30	8820381.71	7441	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54
35	-70826.96	8835231.86	7441	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54
36	402077.87	8341649.54	12617	20000	20000	319	15	52	1.48	2.07	2.95	4.61
37	388847.36	8356624.94	12617	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15
38	375589.82	8371582.85	12617	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15
39	362326.85	8386545.67	12617	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15
40	349037.19	8401491.35	12617	20000	20000	319	15	56	1.48	2.07	2.95	4.61
41	335742.50	8416431.27	12617	20000	20000	319	15	56	0.98	1.38	1.97	3.07
42	322432.09	8431376.61	12617	20000	20000	319	15	68	1.48	2.07	2.95	4.61
43	309095.48	8446305.37	12617	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69
44	295754.34	8461228.93	12617	20000	20000	319	15	64	2.46	3.46	4.92	7.69
45	282387.13	8476158.40	12617	20000	20000	319	15	64	2.46	3.46	4.92	7.69
46	269015.83	8491072.01	12617	20000	20000	319	15	68	2.95	4.15	5.90	9.22
47	255629.59	8505992.00	12617	20000	20000	319	15	64	2.46	3.46	4.92	7.69
48	242217.94	8520896.32	12617	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15
49	228802.61	8535796.43	12617	20000	20000	319	15	80	0.98	1.38	1.97	3.07
50	215361.96	8550703.38	12617	20000	20000	319	15	72	0.98	1.38	1.97	3.07
51	201918.07	8565595.46	12617	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54
52	188460.14	8580483.81	12617	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07
53	174977.33	8595379.57	12617	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15
54	161491.80	8610261.05	12617	20000	20000	319	15	52	2.95	4.15	5.90	9.22
55	147981.82	8625139.26	12617	20000	20000	319	15	56	3.44	4.84	6.89	10.76
56	134469.18	8640025.73	12617	20000	20000	319	15	64	4.43	6.22	8.85	13.83



Sub Falla	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Profundidad (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Buzamiento (°)	Desplazamiento (°)	Desp. 8.5 (m)	Desp. 8.6 (m)	Desp. 8.7 (m)	Desp. 8.8 (m)
57	120932.53	8654898.25	12617	20000	20000	319	15	68	4.43	6.22	8.85	13.83
58	107393.54	8669779.44	12617	20000	20000	319	15	68	3.44	4.84	6.89	10.76
59	93841.76	8684647.20	12617	20000	20000	319	15	68	2.46	3.46	4.92	7.69
60	80266.28	8699512.67	12617	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15
61	66688.95	8714387.43	12617	20000	20000	319	15	48	1.48	2.07	2.95	4.61
62	53088.37	8729249.20	12617	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54
63	39486.42	8744109.59	12617	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54
64	25872.15	8758979.72	12617	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54
65	12235.10	8773837.47	12617	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07
66	-1403.01	8788705.54	12617	20000	20000	319	15	64	1.48	2.07	2.95	4.61
67	-15063.60	8803561.63	12617	20000	20000	319	15	48	1.48	2.07	2.95	4.61
68	-28724.76	8818417.36	12617	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07
69	-42397.47	8833283.87	12617	20000	20000	319	15	68	0.98	1.38	1.97	3.07
70	-56092.20	8848138.99	12617	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54
71	416667.13	8354326.16	17794	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15
72	403429.03	8369298.22	17794	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69
73	390185.44	8384274.92	17794	20000	20000	319	15	72	2.46	3.46	4.92	7.69
74	376915.09	8399234.23	17794	20000	20000	319	15	68	2.46	3.46	4.92	7.69
75	363639.58	8414198.56	17794	20000	20000	319	15	52	2.46	3.46	4.92	7.69
76	350348.43	8429145.93	17794	20000	20000	319	15	44	1.97	2.77	3.93	6.15
77	337030.95	8444087.51	17794	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15
78	323708.81	8459034.69	17794	20000	20000	319	15	60	2.95	4.15	5.90	9.22
79	310360.71	8473965.39	17794	20000	20000	319	15	56	3.44	4.84	6.89	10.76
80	297008.37	8488891.01	17794	20000	20000	319	15	64	3.44	4.84	6.89	10.76
81	283630.22	8503822.64	17794	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30
82	270248.26	8518738.53	17794	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30
83	256851.72	8533649.83	17794	20000	20000	319	15	64	2.95	4.15	5.90	9.22
84	243429.83	8548567.72	17794	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15
85	230004.64	8563470.44	17794	20000	20000	319	15	68	1.48	2.07	2.95	4.61
86	216554.38	8578380.12	17794	20000	20000	319	15	56	0.98	1.38	1.97	3.07
87	203101.17	8593275.03	17794	20000	20000	319	15	40	1.48	2.07	2.95	4.61
88	189634.18	8608166.33	17794	20000	20000	319	15	44	2.46	3.46	4.92	7.69
89	176142.58	8623065.17	17794	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76
90	162648.53	8637949.83	17794	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30
91	149130.29	8652831.35	17794	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83
92	135609.67	8667721.24	17794	20000	20000	319	15	60	4.43	6.22	8.85	13.83
93	122076.20	8682597.43	17794	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30
94	108518.86	8697482.14	17794	20000	20000	319	15	68	3.44	4.84	6.89	10.76
95	94959.90	8712353.68	17794	20000	20000	319	15	64	2.95	4.15	5.90	9.22
96	81377.52	8727223.05	17794	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15
97	67793.55	8742101.82	17794	20000	20000	319	15	72	0.98	1.38	1.97	3.07
98	54197.54	8756967.88	17794	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54
99	40829.28	8771913.53	17794	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
100	26958.47	8786706.89	17794	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54
101	13315.85	8801569.14	17794	20000	20000	319	15	56	0.98	1.38	1.97	3.07
102	-327.37	8816430.75	17794	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07
103	-13993.15	8831302.67	17794	20000	20000	319	15	64	0.98	1.38	1.97	3.07
104	-27659.05	8846163.27	17794	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07
105	-41336.22	8861034.77	17794	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54
106	431260.95	8366992.97	22970	20000	20000	319	15	76	1.48	2.07	2.95	4.61
107	418036.58	8381972.80	22970	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15
108	404785.35	8396946.05	22970	20000	20000	319	15	76	1.97	2.77	3.93	6.15
109	391528.91	8411924.03	22970	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15
110	378245.96	8426884.74	22970	20000	20000	319	15	48	2.46	3.46	4.92	7.69
111	364958.20	8441839.51	22970	20000	20000	319	15	48	2.46	3.46	4.92	7.69
112	351654.94	8456799.54	22970	20000	20000	319	15	52	2.95	4.15	5.90	9.22
113	338325.66	8471742.83	22970	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30
114	324992.01	8486691.83	22970	20000	20000	319	15	60	4.43	6.22	8.85	13.83
115	311632.66	8501624.46	22970	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30
116	298269.34	8516552.12	22970	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30



Sub Falla	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Profundidad (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Buzamiento (°)	Desplazamiento (°)	Desp. 8.5 (m)	Desp. 8.6 (m)	Desp. 8.7 (m)	Desp. 8.8 (m)
117	284891.31	8531485.99	22970	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83
118	271488.07	8546404.05	22970	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30
119	258081.36	8561317.73	22970	20000	20000	319	15	64	2.95	4.15	5.90	9.22
120	244649.56	8576238.10	22970	20000	20000	319	15	68	2.46	3.46	4.92	7.69
121	231214.73	8591143.42	22970	20000	20000	319	15	60	1.97	2.77	3.93	6.15
122	217765.97	8606055.92	22970	20000	20000	319	15	48	2.46	3.46	4.92	7.69
123	204292.78	8620953.55	22970	20000	20000	319	15	40	3.44	4.84	6.89	10.76
124	190816.96	8635847.80	22970	20000	20000	319	15	44	4.43	6.22	8.85	13.83
125	177316.79	8650749.69	22970	20000	20000	319	15	44	4.92	6.92	9.84	15.37
126	163814.44	8665637.53	22970	20000	20000	319	15	48	4.92	6.92	9.84	15.37
127	150288.17	8680522.34	22970	20000	20000	319	15	52	4.43	6.22	8.85	13.83
128	136759.80	8695415.64	22970	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30
129	123218.85	8710295.36	22970	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30
130	109654.42	8725172.64	22970	20000	20000	319	15	64	3.44	4.84	6.89	10.76
131	96088.38	8740059.02	22970	20000	20000	319	15	52	2.46	3.46	4.92	7.69
132	82499.31	8754932.28	22970	20000	20000	319	15	48	1.48	2.07	2.95	4.61
133	68908.94	8769815.05	22970	20000	20000	319	15	72	0.49	0.69	0.98	1.54
134	55557.78	8784755.15	22970	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
135	42194.97	8799705.17	22970	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
136	28056.25	8814432.86	22970	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54
137	14408.31	8829299.61	22970	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54
138	760.03	8844165.83	22970	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07
139	-12899.55	8859042.65	22970	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54
140	-26580.94	8873907.95	22970	20000	20000	319	15	52	0.49	0.69	0.98	1.54
141	445880.77	8379639.18	28147	20000	20000	319	15	48	0.98	1.38	1.97	3.07
142	432648.43	8394637.73	28147	20000	20000	319	15	56	0.98	1.38	1.97	3.07
143	419410.90	8409618.62	28147	20000	20000	319	15	56	1.48	2.07	2.95	4.61
144	406146.75	8424593.03	28147	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07
145	392877.68	8439572.29	28147	20000	20000	319	15	52	1.48	2.07	2.95	4.61
146	379593.16	8454534.43	28147	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69
147	366282.50	8469490.63	28147	20000	20000	319	15	56	2.95	4.15	5.90	9.22
148	352967.42	8484452.25	28147	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30
149	339626.57	8499397.24	28147	20000	20000	319	15	64	4.43	6.22	8.85	13.83
150	326281.63	8514348.05	28147	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30
151	312922.08	8529282.67	28147	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83
152	299537.17	8544212.28	28147	20000	20000	319	15	52	4.43	6.22	8.85	13.83
153	286148.66	8559148.29	28147	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30
154	272735.19	8574068.60	28147	20000	20000	319	15	52	3.44	4.84	6.89	10.76
155	259318.53	8588984.63	28147	20000	20000	319	15	64	2.95	4.15	5.90	9.22
156	245877.04	8603907.48	28147	20000	20000	319	15	60	2.95	4.15	5.90	9.22
157	232432.79	8618815.39	28147	20000	20000	319	15	48	3.44	4.84	6.89	10.76
158	218975.00	8633719.52	28147	20000	20000	319	15	40	3.93	5.53	7.87	12.30
159	205492.82	8648631.04	28147	20000	20000	319	15	40	4.43	6.22	8.85	13.83
160	192008.40	8663528.21	28147	20000	20000	319	15	48	4.92	6.92	9.84	15.37
161	178499.89	8678433.15	28147	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83
162	164989.47	8693324.16	28147	20000	20000	319	15	56	4.92	6.92	9.84	15.37
163	151466.31	8708212.37	28147	20000	20000	319	15	64	4.43	6.22	8.85	13.83
164	137919.49	8723108.95	28147	20000	20000	319	15	60	4.43	6.22	8.85	13.83
165	124371.28	8737992.18	28147	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30
166	110799.86	8752873.10	28147	20000	20000	319	15	56	2.95	4.15	5.90	9.22
167	97227.11	8767763.23	28147	20000	20000	319	15	56	1.97	2.77	3.93	6.15
168	83642.52	8782640.50	28147	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07
169	70297.07	8797597.02	28147	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
170	56940.37	8812541.21	28147	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
171	42796.48	8827274.41	28147	20000	20000	319	15	72	0.49	0.69	0.98	1.54
172	29165.44	8842157.65	28147	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54
173	15512.39	8857028.88	28147	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54
174	1859.30	8871899.70	28147	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54
175	-11508.97	8886852.02	28147	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
176	460504.91	8392287.05	33323	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54



Sub Falla	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Profundidad (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimut (°)	Buzamiento (°)	Desplazamiento (°)	Desp. 8.5 (m)	Desp. 8.6 (m)	Desp. 8.7 (m)	Desp. 8.8 (m)
177	447286.04	8407282.21	33323	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54
178	434040.48	8422281.70	33323	20000	20000	319	15	80	0.49	0.69	0.98	1.54
179	420789.99	8437263.63	33323	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54
180	407513.16	8452239.20	33323	20000	20000	319	15	80	0.98	1.38	1.97	3.07
181	394231.68	8467219.71	33323	20000	20000	319	15	76	1.97	2.77	3.93	6.15
182	380935.02	8482183.20	33323	20000	20000	319	15	72	2.46	3.46	4.92	7.69
183	367612.47	8497140.87	33323	20000	20000	319	15	72	3.44	4.84	6.89	10.76
184	354285.79	8512104.07	33323	20000	20000	319	15	68	4.43	6.22	8.85	13.83
185	340944.43	8527050.81	33323	20000	20000	319	15	68	3.93	5.53	7.87	12.30
186	327577.65	8541992.28	33323	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30
187	314207.23	8556939.87	33323	20000	20000	319	15	52	4.43	6.22	8.85	13.83
188	300811.78	8571871.49	33323	20000	20000	319	15	40	4.43	6.22	8.85	13.83
189	287413.01	8586809.63	33323	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76
190	273989.53	8601732.17	33323	20000	20000	319	15	52	2.95	4.15	5.90	9.22
191	260563.15	8616650.56	33323	20000	20000	319	15	52	3.44	4.84	6.89	10.76
192	247123.07	8631575.96	33323	20000	20000	319	15	48	3.44	4.84	6.89	10.76
193	233658.76	8646486.34	33323	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76
194	220192.05	8661393.16	33323	20000	20000	319	15	40	3.44	4.84	6.89	10.76
195	206701.22	8676307.49	33323	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30
196	193208.42	8691207.58	33323	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30
197	179702.70	8706115.67	33323	20000	20000	319	15	64	4.43	6.22	8.85	13.83
198	166173.53	8721009.71	33323	20000	20000	319	15	56	4.43	6.22	8.85	13.83
199	152642.80	8735901.20	33323	20000	20000	319	15	52	4.43	6.22	8.85	13.83
200	139088.68	8750801.16	33323	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30
201	125533.44	8765687.90	33323	20000	20000	319	15	60	2.95	4.15	5.90	9.22
202	111966.19	8780572.57	33323	20000	20000	319	15	48	1.97	2.77	3.93	6.15
203	98376.01	8795466.31	33323	20000	20000	319	15	52	0.98	1.38	1.97	3.07
204	84785.21	8810347.45	33323	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54
205	71171.90	8825226.98	33323	20000	20000	319	15	68	0.49	0.69	0.98	1.54
206	57558.04	8840116.47	33323	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54
207	43922.11	8854993.68	33323	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54
208	30285.95	8869881.26	33323	20000	20000	319	15	52	0.49	0.69	0.98	1.54
209	16934.81	8884827.63	33323	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
210	3562.08	8899784.63	33323	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
211	475154.84	8404914.66	38499	20000	20000	319	15	76	0.49	0.69	0.98	1.54
212	461927.70	8419928.48	38499	20000	20000	319	15	52	0.49	0.69	0.98	1.54
213	448695.57	8434924.46	38499	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54
214	435437.03	8449913.82	38499	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54
215	422173.79	8464907.84	38499	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07
216	408895.30	8479884.58	38499	20000	20000	319	15	44	1.48	2.07	2.95	4.61
217	395590.82	8494866.30	38499	20000	20000	319	15	68	1.97	2.77	3.93	6.15
218	382282.24	8509831.14	38499	20000	20000	319	15	76	2.46	3.46	4.92	7.69
219	368948.03	8524790.26	38499	20000	20000	319	15	64	3.44	4.84	6.89	10.76
220	355609.96	8539755.02	38499	20000	20000	319	15	60	3.93	5.53	7.87	12.30
221	342257.49	8554703.43	38499	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30
222	328879.86	8569646.68	38499	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30
223	315498.86	8584596.15	38499	20000	20000	319	15	40	3.93	5.53	7.87	12.30
224	302093.09	8599529.78	38499	20000	20000	319	15	40	3.44	4.84	6.89	10.76
225	288684.28	8614470.02	38499	20000	20000	319	15	44	2.95	4.15	5.90	9.22
226	275261.90	8629394.87	38499	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76
227	261815.14	8644315.50	38499	20000	20000	319	15	48	3.44	4.84	6.89	10.76
228	248365.84	8659243.35	38499	20000	20000	319	15	44	2.95	4.15	5.90	9.22
229	234892.56	8674156.30	38499	20000	20000	319	15	44	2.46	3.46	4.92	7.69
230	221417.15	8689065.80	38499	20000	20000	319	15	56	2.95	4.15	5.90	9.22
231	207928.80	8703983.02	38499	20000	20000	319	15	64	3.44	4.84	6.89	10.76
232	194416.93	8718885.91	38499	20000	20000	319	15	64	3.93	5.53	7.87	12.30
233	180903.45	8733785.96	38499	20000	20000	319	15	56	3.93	5.53	7.87	12.30
234	167366.55	8748694.21	38499	20000	20000	319	15	48	4.43	6.22	8.85	13.83
235	153828.47	8763588.95	38499	20000	20000	319	15	48	3.93	5.53	7.87	12.30
236	140267.27	8778492.29	38499	20000	20000	319	15	48	2.95	4.15	5.90	9.22



Sub Falla	Coord. X (m)	Coord. Y (m)	Profundidad (m)	Longitud (m)	Ancho (m)	Azimet (°)	Buzamiento (°)	Desplazamiento (°)	Desp. 8.5 (m)	Desp. 8.6 (m)	Desp. 8.7 (m)	Desp. 8.8 (m)
237	126705.23	8793382.52	38499	20000	20000	319	15	44	1.48	2.07	2.95	4.61
238	113131.45	8808270.80	38499	20000	20000	319	15	68	0.98	1.38	1.97	3.07
239	99535.00	8823168.28	38499	20000	20000	319	15	60	0.49	0.69	0.98	1.54
240	85938.21	8838053.26	38499	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54
241	72603.49	8853017.83	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
242	59269.05	8867970.46	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
243	45912.84	8882933.23	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
244	32557.11	8897895.54	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
245	19180.19	8912846.23	38499	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
246	489808.88	8417544.32	43676	20000	20000	319	15	52	0.49	0.69	0.98	1.54
247	476594.91	8432554.66	43676	20000	20000	319	15	44	0.49	0.69	0.98	1.54
248	463354.45	8447569.18	43676	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54
249	450109.28	8462565.97	43676	20000	20000	319	15	64	0.49	0.69	0.98	1.54
250	436848.76	8477556.26	43676	20000	20000	319	15	48	0.49	0.69	0.98	1.54
251	423562.21	8492551.27	43676	20000	20000	319	15	56	0.49	0.69	0.98	1.54
252	410271.48	8507529.13	43676	20000	20000	319	15	40	0.98	1.38	1.97	3.07
253	396955.02	8522512.06	43676	20000	20000	319	15	64	1.48	2.07	2.95	4.61
254	383634.74	8537478.23	43676	20000	20000	319	15	56	2.46	3.46	4.92	7.69
255	370299.93	8552438.85	43676	20000	20000	319	15	56	3.44	4.84	6.89	10.76
256	356939.86	8567405.10	43676	20000	20000	319	15	52	3.44	4.84	6.89	10.76
257	343576.49	8582355.16	43676	20000	20000	319	15	44	3.44	4.84	6.89	10.76
258	330188.23	8597300.18	43676	20000	20000	319	15	44	2.95	4.15	5.90	9.22
259	316796.88	8612251.52	43676	20000	20000	319	15	48	2.46	3.46	4.92	7.69
260	303381.02	8627187.13	43676	20000	20000	319	15	44	1.97	2.77	3.93	6.15
261	289962.48	8642118.41	43676	20000	20000	319	15	40	1.97	2.77	3.93	6.15
262	276530.47	8657056.53	43676	20000	20000	319	15	40	1.97	2.77	3.93	6.15
263	263074.43	8671979.49	43676	20000	20000	319	15	48	1.48	2.07	2.95	4.61
264	249616.12	8686909.77	43676	20000	20000	319	15	56	1.48	2.07	2.95	4.61
265	236134.09	8701825.27	43676	20000	20000	319	15	64	1.97	2.77	3.93	6.15
266	222650.22	8716737.43	43676	20000	20000	319	15	56	2.46	3.46	4.92	7.69
267	209153.67	8731657.42	43676	20000	20000	319	15	60	2.46	3.46	4.92	7.69
268	195633.87	8746563.21	43676	20000	20000	319	15	56	2.95	4.15	5.90	9.22
269	182112.73	8761466.27	43676	20000	20000	319	15	44	2.95	4.15	5.90	9.22
270	168568.43	8776377.65	43676	20000	20000	319	15	40	3.44	4.84	6.89	10.76
271	155023.24	8791275.63	43676	20000	20000	319	15	44	2.46	3.46	4.92	7.69
272	141466.14	8806182.45	43676	20000	20000	319	15	40	1.48	2.07	2.95	4.61
273	127886.57	8821076.05	43676	20000	20000	319	15	44	0.98	1.38	1.97	3.07
274	114306.49	8835967.93	43676	20000	20000	319	15	60	0.98	1.38	1.97	3.07
275	100704.00	8850869.13	43676	20000	20000	319	15	40	0.49	0.69	0.98	1.54
276	87101.45	8865757.95	43676	20000	20000	319	15	72	0.49	0.69	0.98	1.54
277	73772.46	8880726.52	43676	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
278	60444.04	8895683.26	43676	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
279	47094.12	8910650.27	43676	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00
280	33733.96	8925616.80	43676	20000	20000	319	15	0	0.00	0.00	0.00	0.00