

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



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

PRODUCTO 03: DISTRITO DE EL AGUSTINO

TOMO III: ESTIMACIÓN DEL RIESGO



LIMA – NOVIEMBRE 2013



PRODUCTO 03 – TOMO III – ESTIMACIÓN DEL RIESGO

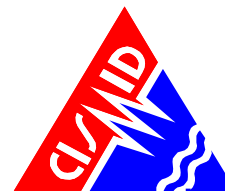
ÍNDICE

ÍNDICE	1
LISTA DE FIGURAS.....	3
LISTA TABLAS.....	8
1. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA.....	9
1.1. Mapas de Zonas de Isoperiodos	9
1.2. Mapa de Microzonificación Sísmica	9
1.3. Mapas de Zonas de Aceleraciones	10
1.4. Zonas de Velocidades	11
2. MAPAS DE VULNERABILIDAD.....	12
2.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral	12
2.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal	12
2.1.2. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo	14
2.1.3. Procedimiento y Control de Calidad de Datos de Campo.....	15
2.1.4. Georeferenciación y Compatibilización de Planos	15
2.1.5. Sistematización de la Información.....	16
2.1.6. Ubicación de las manzanas a evaluar.....	16
2.2. Base de datos geo-espacial	17
2.2.1. Mapa de Uso de Suelo	20



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



2.2.2.	Mapa de Materiales Predominantes.....	21
2.2.3.	Mapa de Alturas de Edificación	22
2.2.4.	Mapa de Tipologías Estructurales	22
2.2.5.	Mapa de Estado de Conservación	23
2.2.6.	Mapa de Vulnerabilidad.....	24
3.	MAPAS DE RIESGO.....	60
3.1.	Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico	60
3.2.	Mapa de Sectores Críticos	65
4.	ESTUDIO PRELIMINAR DE RIESGO DE LAS REDES DE DISTRIBUCIÓN DE AGUA	74
4.1.	Acerca de la Vulnerabilidad de sistemas de agua	74
4.2.	Planta de Tratamiento de la Atarjea.....	74
4.3.	Sistema de Agua y Alcantarillado.....	77
4.4.	Mapa de Tipo de Tubería de Agua.....	81
4.5.	Mapa de Roturas para un Escenario Sísmico.....	82
5.	REFERENCIAS	87



LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Formato para vivienda representativa de la manzana	13
Figura 2. Sectores del distrito de El Agustino.	14
Figura 3. Manzanas totales (1379) versus manzanas seleccionadas (297).	17
Figura 4. Base de datos de los lotes representativos por manzana.	18
Figura 5. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento.	20
Figura 6. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de El Agustino	21
Figura 7. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de El Agustino	21
Figura 8. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de El Agustino. .	22
Figura 9. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de El Agustino	23
Figura 10. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de El Agustino	23
Figura 11. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de El Agustino	28
Figura 12. Viviendas típicas del Sector 01.	29
Figura 13. Zona comercial del Sector 01.	29
Figura 14. Edificaciones del Sector 02, de tres y dos pisos.	30
Figura 15. Viviendas sin tarrajeo del Sector 02	30
Figura 16. Viviendas - comercio	31
Figura 17. Edificación de mampostería de 4 niveles. Manzana 402. Uso para vivienda. Mal estado de conservación.	32
Figura 18. Edificaciones de mampostería de un nivel. Regular estado de conservación. Manzana 511. Uso destinado a vivienda.	32
Figura 19. Edificaciones de dos niveles con uso destinado a vivienda y comercio. Manzana 747.	32
Figura 20. Edificación de tres niveles. Se aprecia que la construcción original sufrió una ampliación. Manzana 343.	32
Figura 21. Edificaciones de mampostería de tres niveles, en buen estado de conservación. Uso: vivienda-comercio. Manzana: 798.	33



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Figura 22. Edificaciones de mampostería de tres niveles en regular estado de conservación. Manzana 1148	33
Figura 23. Edificaciones de mampostería de un nivel, en buen estado de conservación. Uso: vivienda. Manzana: 752.....	34
Figura 24. Edificaciones de mampostería de dos niveles, en buen estado de conservación. Uso: vivienda-comercio. Manzana: 737.....	34
Figura 25. Edificaciones de mampostería de 03 niveles. Se observa que sobre el nivel superior se ha construido una ampliación provisional de madera. Manzana 678.....	35
Figura 26. Edificaciones de mampostería de tres niveles. Uso compartido: vivienda-comercio. Manzana 902.	35
Figura 27. Edificaciones de un nivel. Uso: vivienda. Manzana 156.....	35
Figura 28. Entrada al edificio del Poder Judicial Lima Este. Manzana: 1308.	35
Figura 29. Edificaciones características del Sector 06.....	36
Figura 30. Edificaciones de albañilería tarrajeadas parcial y/o totalmente	36
Figura 31. Edificaciones con irregularidad estructural	37
Figura 32. Edificaciones de albañilería con unidades tubulares de dos y tres niveles	37
Figura 33. Edificaciones de viviendas del Sector 08, de dos y tres pisos.	38
Figura 34. Viviendas- comercio del Sector 08.	38
Figura 35. Edificación de cuatro niveles; uso: vivienda-comercio. Manzana: 1301.....	39
Figura 36. Edificaciones de mampostería de tres niveles. Uso: vivienda-comercio. Manzana 53.....	39
Figura 37. Edificaciones de dos niveles. Manzana 514. Regular estado de conservación....	39
Figura 38. Edificaciones de cuatro niveles. El último nivel con construcción de madera. Uso: vivienda. Manzana 440.....	39
Figura 39. Industria. Manzana 27.	40
Figura 40. Edificaciones de mampostería. Manzana 1151.	40
Figura 41. I.E. N°1187.....	41
Figura 42. Colegio Ignacio Merino	41
Figura 43. I.E.P. José Sabogal	42
Figura 44. I.E.MX. Nicolás de Piérola	42



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Figura 45. I.E. 1169 Almirante Miguel Grau Seminario.....	43
Figura 46. Módulo de Atención de Salud.....	43
Figura 47. Capilla.....	44
Figura 48. I.E. N° 1025: María Prado de Bellido.....	44
Figura 49. Colegio Privado Juventud Científica.....	45
Figura 50. Institución Educativa Ramón Castilla.....	45
Figura 51. I.E.P. José Carlos Mariátegui.....	46
Figura 52. I.E.P. Johannes Kepler.....	46
Figura 53. Colegio Privado María Montessori.....	47
Figura 54. C.E.N.E. Johannes Gutemberg.....	47
Figura 55. I.E.P. John Wallis.....	48
Figura 56. I.E.P. Sagrado Corazón de Jesús.....	48
Figura 57. I.E.P. Mundo Feliz.....	49
Figura 58. Centro de Salud Catalina Huanca.....	49
Figura 59. Centro de Atención Primaria Essalud El Agustino.....	50
Figura 60. I.E. N° 1045 Nuestra Señora de Fátima.....	50
Figura 61. I.E. Fe y Alegría N° 39.....	51
Figura 62. Universidad Nacional Federico Villarreal, Sede de las Ciencias de la Salud.....	51
Figura 63. Hospital Nacional Hipólito Unanue.....	52
Figura 64. Centro educativo particular de 4 niveles.....	52
Figura 65. Establecimiento de salud de dos niveles.....	53
Figura 66. Centro educativo particular de 2 niveles.....	53
Figura 67. Iglesia de dos niveles.....	54
Figura 68. Centro educativo particular Saco Oliveros de 2 niveles.....	54
Figura 69. Centro educativo José de la Torre Ugarte de 2 niveles con presencia de columna corta.....	55
Figura 70. Centro educativo Santa Rita de 3 niveles.....	55
Figura 71. Centro educativo Santa Rita de 3 niveles.....	56



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Figura 72. I.E. Juana Infantes Vera.	56
Figura 73. I.E. 0009 José María Arguedas.	57
Figura 74. I.E.P. Corazón de Jesús.	57
Figura 75. Centro de Salud Bethanía.	58
Figura 76. I.E.I 068 Bethanía.	58
Figura 77. I.E.N. “Perú – Japón”	59
Figura 78. I.E. La Pradera II.	59
Figura 79. Policlínico La Pradera.	60
Figura 80. Proceso de generación del mapa de riesgo.	62
Figura 81. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas.	62
Figura 82. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW).	63
Figura 83. Ubicación de manzanas a intervenir.	66
Figura 84. Detalle de inclusión de columnas de reforzamiento en muro sin confinamiento existente.	68
Figura 85. Detalle de refuerzo sobre las caras del muro.	69
Figura 86. Reforzamiento con bandas de refuerzo.	70
Figura 87. Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera.	71
Figura 88. Detalle de reforzamiento de zapata para columna.	71
Figura 89. Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación.	72
Figura 90. Detalle de la cimentación de la placa visto en planta.	73
Figura 91. Esquema de la planta de tratamiento de la Atarjea.	75
Figura 92. Extracción de testigos de concreto endurecido. Obsérvese la corrosión en el muro.	76
Figura 93. Corrosión del refuerzo en los muros de los decantadores.	76
Figura 94. Vista de un decantador.	76
Figura 95. Fisuras en canal de salida del decantador.	76
Figura 96. Idealización matemática del decantador.	77
Figura 97. Roturas por Km. en tubos CIP y PVC.	79



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

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

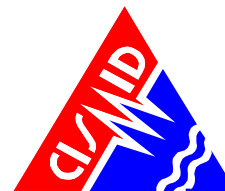


Figura 98: Roturas por Km. En tubos de acero dúctil	79
Figura 99: Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC	80
Figura 100: Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil	81
Figura 101. Roturas por criterio de Yamazaki (2008)	83
Figura 102. Roturas por criterio de Isoyama (2000).....	84



LISTA TABLAS

Tabla 1. Descripción de los campos de la base de datos.	19
Tabla 2. Resultados del daño en el distrito de El Agustino para un escenario de sismo severo	64
Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales.....	64
Tabla 4. Composición por material de la muestra estudiada	65
Tabla 5. Composición de la muestra por nivel de daño esperado.....	66
Tabla 6. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de El Agustino	78
Tabla 7. Tipo de tuberías de agua en el distrito de El Agustino	82
Tabla 8. Respuesta de las tuberías frente a un evento sísmico severo en el Distrito de El Agustino	83



Producto 03 - Tomo III: Estimación del Riesgo

1. MICROZONIFICACIÓN SÍSMICA

1.1. Mapas de Zonas de Isoperiodos

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

La zona I mostrada en color verde oscuro representa periodos de vibración menores a 0.1 s. Esta zona se concentra en las laderas de los cerros del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido conformado por roca fracturada superficialmente.

La zona II mostrada en color verde medio, está definida para períodos de vibración de 0.10 a 0.20s. Esta zona abarca la mayor parte del área de estudio. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido, con capas profundas de gravas de compacidad media a densa.

La zona III en color verde claro, está definida para períodos de vibración de 0.2 a 0.3 s. Esta zona se concentra sobre áreas puntuales en la parte baja del distrito. Las características dinámicas de vibración de esta zona corresponden a un suelo rígido, con capas profundas de gravas de compacidad media a densa.

1.2. Mapa de Microzonificación Sísmica

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



Zona I

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

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho, varía entre 2.0 y 5.0 kg/cm², si se desplanta sobre la grava a una profundidad mínima de 0.8 m; y mayor a 5.0 kg/cm², si se desplanta sobre la roca ligeramente alterada o sana a una profundidad mínima de 0.4 m. Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtremores del suelo en esta zona predominan en el intervalo de 0.10 s a 0.2 s.

Zona II

Esta zona incluye al depósito de arenas sueltas, de 4.0 m de espesor, registrado de manera focalizada en el cerro El Agustino. El tipo de material descrito en esta zona presenta características geotécnicas poco favorables para la cimentación de edificaciones.

La capacidad de carga admisible en esta zona, para una cimentación corrida de 0.60 m de ancho y a una profundidad mínima de 1.00 m, es de 0.70 kg/cm². Se considera que la cimentación debe estar asentada sobre terreno natural y bajo ninguna circunstancia sobre materiales de rellenos.

Los valores de microtremores del suelo en esta zona predominan en el intervalo de 0.1 s a 0.2 s

Zona V

Esta zona incluye a los rellenos antrópicos, identificados en algunos sectores sobre la superficie del terreno natural y otros sectores en el interior de antiguas excavaciones mineras. Dadas las características desfavorables de los materiales de rellenos, se considera que estos sectores no son aptos para la construcción de edificaciones.

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

1.3. Mapas de Zonas de Aceleraciones

Una vez determinado el mapa de microzonificación sísmica en el área de estudio, es necesario caracterizar las zonas identificadas de manera cuantitativamente estimando el valor de aceleración horizontal máximo esperada para el suelo; para ello se utilizará como



dato de entrada el resultado de la aceleración esperada para terreno firme del estudio de peligro sísmico para el distrito El Agustino (ver ítem 6.5, Tomo II) que corresponde para un suelo “Tipo C” (IBC) un valor de aceleración horizontal máxima de diseño PGA de 433.18 gals; los valores de aceleración máxima proyectados para las diferentes zonas mostrados en el mapa de Microzonificación Sísmica III-3 se obtienen multiplicando los parámetros del suelo propuestos en la Norma Técnica de Edificación E.030 Diseño Sismorresistente por la aceleración máxima PGA de 433.18 gals de la siguiente manera:

Zona	Factor	Aceleración máxima
I	1.0	433.18 cm/s ²
II	1.2	519.82 cm/s ²
V	1.5	649.77 cm/s ²

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

1.4. Zonas de Velocidades

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

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

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

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



valores de velocidades máximas esperadas del suelo para el distrito de El Agustino se muestran en el mapa III-4 del presente Tomo III.

2. MAPAS DE VULNERABILIDAD

2.1. Exploración de Campo de Tipo Muestral

2.1.1. Preparación de Actividades, Coordinación y Personal

Para el desarrollo de las actividades de toma de datos de campo, se inició el trabajo a con la selección de los ingenieros coordinadores, responsabilidad que recayó en el Ing. Patricia Gibu, Ing. Francisco Ríos, Ing. Jorge Gallardo, Dr. Miguel Díaz y el Dr. Carlos Zavala. Se organizaron 5 grupos de trabajo seleccionándose tres personas por cada grupo para el levantamiento de información de campo, contado con un total de 15 personas para el levantamiento de la información. El personal seleccionado fue formado por un grupo de jóvenes Ingenieros, Estudiantes de Post grado y Estudiantes del último año de ingeniería que laboran como asistentes de investigación o realizan su tesis de grado o post grado en nuestro Centro. Este personal recibió un entrenamiento basado en el procedimiento de evaluación. Este procedimiento ha sido diseñado para nuestra realidad a fin que sea utilizado en los sistemas constructivos predominantes en la zona de estudio.

a) Metodología de toma de datos

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

b) Plantilla para la encuesta

Para tal efecto se utiliza una ficha de evaluación de daños utilizada por nuestra Institución en la evaluación rápida de estructuras, la cual se presenta en la Figura 1. La Ficha está dividida en cinco áreas:

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

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

CONVENIO CISMID/FICUNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL SECTORES DEL DISTRITO DEL AGUSTINO				
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) Policia o Bomberos (B) Educativo (E) Hospital (H) Industrial (I) Baldío (B) Otros (O)	S M N L A C W I L F B U W T	Mampostería de Arcilla Sin Refuerzo Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Rígidos Mampostería Armada o Confinada con Diafragmas Flexibles Construcción Informal en Albañilería Adobe y Quincha Pórticos de Concreto Estructura de Concreto Armado con Placas Pórticos de Concreto con Vanos Rigidizados con Mampostería Estructura Celular de Concreto Pórtico de Acero Resistentes a Momento Pórtico de Acero Arriostrados con Diagonales Estructura de Perfiles Livianos Entramados de Madera 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 Uso (X) Caso Valido Use (V)	
1AVSR			1PISOS + ADOBE + USO VIVIENDA + MAMPOSTERIA DE ARCILLA SIN REFUERZO + REGUL	
Foto 1 - Numero	Foto 5 - Numero Achurar lote representativo			Foto 2 - Numero
Foto 3 - Numero				Foto 4 - Numero

Formato de Ayuda para Codificación del Lote

CONVENIO CISMID/FICUNI - MINISTERIO DE VIVIENDA CONSTRUCCIÓN Y SANEAMIENTO ESTUDIO DE RIESGO SISMICO DEL SECTORES DEL DISTRITO DEL AGUSTINO				
CODIGO DE MANZANA		CODIGO INTERNO		
ESTRUCTURACIÓN				
Material	Adobe	Mampostería	Concreto	Observaciones
Estado de Conservación	Bueno Regular Malo			
Cimentación	Asentamiento	Si	No	
	Humedad en la Base	Si	No	
Techo				
Adobe	Mampostería	Concreto	Otros	
Madera Caña Torra Barro Otro	Losa de CA Aligerado Calamina Otro	Losa de CA Aligerado Placa Colaborante Otro		
Elementos Estructurales				
Fisuración				
Columnas	Fisuras		NOTA	Fisura Vertical (V)
Vigas	Fisuras		Sin Fisuras (X)	Fisura Diagonal (D)
Muros	Fisuras			Fisura Horizontal (H)
Estado de Muros				
Unidad	Artisanal	Industrial	Sólido	Tubular/Hueco
Confinamiento	Si	No		
Fisuras	Si	No		
Tarrajeo	Si	No		
Estado de conservación	Bueno	Regular	Malo	
Achurar lote representativo				

Figura 1. Formato para vivienda representativa de la manzana

2.1.2. Sectorización y Levantamiento de Datos de Campo

- Preparación de planos para la toma de datos: Basado en la información de planos georeferenciados del INEI del último censo de vivienda del año 2007 y aquellos proporcionados por la Municipalidad de El Agustino, se imprimieron los planos para la elaboración de los trabajos de campo en las zonas de estudio. A partir de la información suministrada el distrito se dividió en 10 sectores, tal como se muestra en el Mapa No. E-01.
- Para tener una mejor referencia de las zonas a las cuales se va a levantar la información y disponer los equipos para este fin, se elaboró una imagen satelital de alta resolución a través de la información encontrada en Google Maps.
- Distribución de coordinadores responsables de los equipos de evaluadores: Con los ocho equipos de tres evaluadores cada uno se realizaron salidas periódicas de campo por un espacio de cuatro semanas, trabajándose inclusive días no laborales y feriados. Los coordinadores de grupo, sectorizaron el distrito, para que cada grupo de tres personas trabajase en zonas involucradas reportando la información levantada a los coordinadores, quienes con sus asistentes, transfirieron la información generada en las fichas a una base de datos utilizando una hoja de cálculo con campos similares al de la ficha. Esta información fue introducida a un sistema de información geográfica (SIG) para su georeferenciación espacial.

La sectorización del distrito se muestra en la Figura 2, que se adjunta a continuación, en donde son identificados los 10 sectores en que se dividió el distrito de El Agustino.

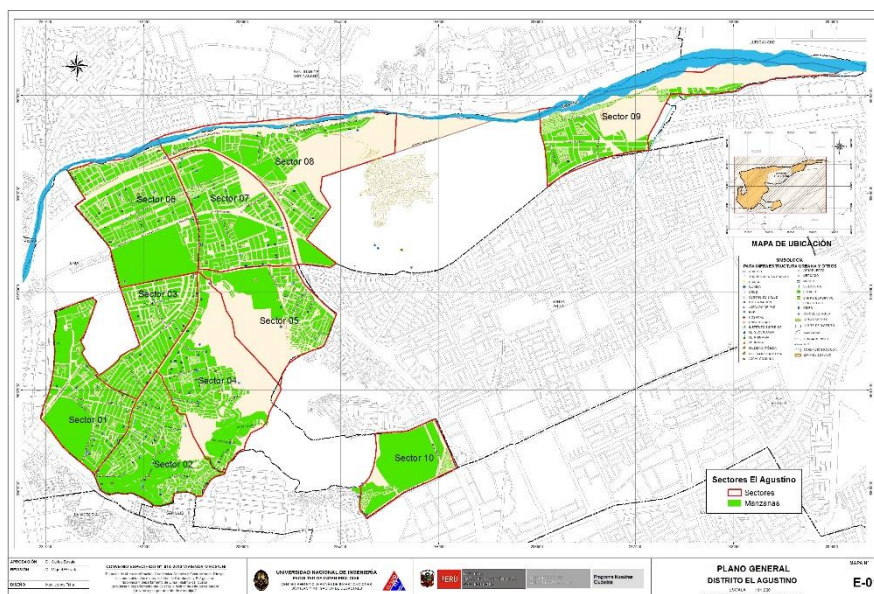


Figura 2. Sectores del distrito de El Agustino.



2.1.3. Procedimiento y Control de Calidad de Datos de Campo

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

La información recabada en campo fue vertida en una base de datos en formato SHAPE, la cual fue procesada por el programa ArcGIS versión 9.2. La digitalización fue desarrollada por cuatro asistentes y un supervisor, quienes procesaron la información de campo.

- b) Clasificación de datos

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

- c) Verificación de los datos recogidos

Se llevaron a cabo dos niveles de control de calidad:

c1 - Un control de calidad en campo:

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

c2 – Un control de calidad en gabinete:

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

2.1.4. 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.



2.1.5. Sistematización de la Información

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

La evaluación de las edificaciones, si bien es cierto que se identificó una evaluación genérica a nivel de lote, la presentación de los resultados se basa en la identificación del lote representativo de la manzana. Para realizar la evaluación y trabajo de campo se seleccionó una muestra estadística distribuida espacialmente entre todas las manzanas del distrito. Para la selección de manzanas se definió que por lo menos el 20% del total de manzanas debe ser evaluado.

2.1.6. 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:

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

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

Es decir, si bien la ubicación de la distribución sigue un valor aleatorio tanto para las coordenadas Norte como Este, en un sistema de referencia UTM, esta ubicación tiene límites de borde, los cuales son los límites del distrito que son respetados al momento de generar las coordenadas de las selección de las manzanas. Es así que se generaron número aleatorios que siguen una distribución uniforme. En la Figura 3 se presenta el total de las 1379 manzanas del área estudiada del distrito, en color rojo las evaluadas y en color verde las no evaluadas. Se presentan las 297 manzanas evaluadas en color rojo y las no evaluadas en color verde. El porcentaje de manzanas a evaluar es de 22%, lo cual hace una muestra significativa. En el Mapa E-02 del Anexo I se presenta en detalle las manzanas que fueron evaluadas.

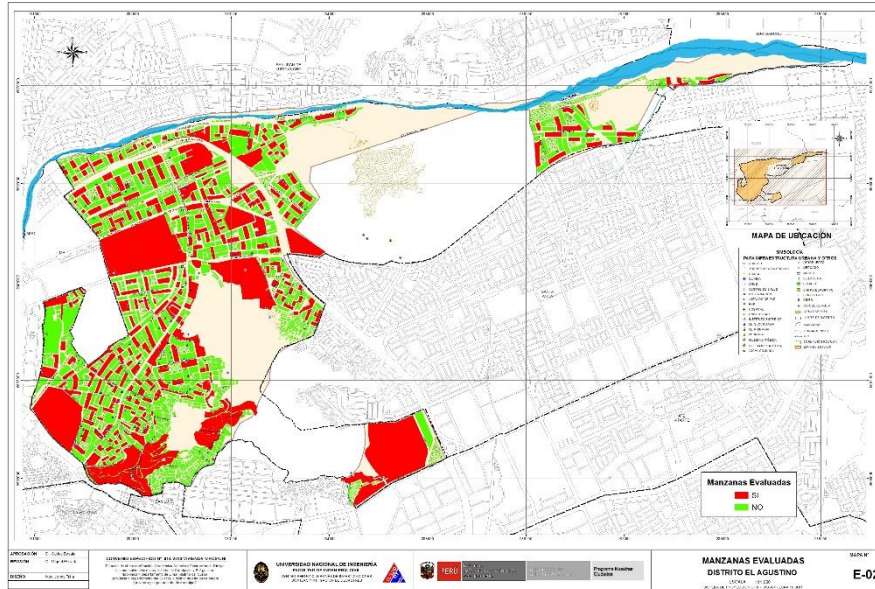


Figura 3. Manzanas totales (1379) versus manzanas seleccionadas (297).

En el presente trabajo se optó por considerar un nivel de confianza del 95% bajo el supuesto que exista un error del orden del 5.04% en la desviación estándar, dando como resultado que el tamaño de la muestra es del 22% 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).

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

El tamaño muestral mínimo calculado es de 297 manzanas. En el presente estudio se considera que del total de las 1379 manzanas se tiene una muestra con un error en la desviación estándar del 5%.

2.2. Base de datos geo-espacial

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



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

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



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

Levantamiento de Información - Distrito de El Agustino													
Num	CodMza	LoteRepre	Cond. De Cimentación			Fisuras			Muros				Fotos
			CimentA	CimentH	Techo	FisuraCol	FisuraVig	FisuraMur	Unidad de Albañilería		Confin	Tarrajeo	
1	92	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00256.jpg
2	54	03MVMB	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	SI	.\Fotos_S06A\DSC00257.jpg
3	169	03MEMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	SI	.\Fotos_S06A\DSC00258.jpg
4	258	03MCMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Sólido	NO	SI	
5	96	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	
6	379	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	SI	.\Fotos_S06A\DSC00262.jpg
7	177	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	SI	.\Fotos_S06A\DSC00263.jpg
8	366	04MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00264.jpg
9	363	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	
10	314	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00266.jpg
11	431	02MVNM	NO	NO	Calamina	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00267.jpg
12	316	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	
13	418	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00268.jpg
14	91	05CMZR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	ND	ND	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00265.jpg
15	1328	01CECR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Industrial	Sólido	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00273.jpg
16	432	03MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00274.jpg
17	388	02MVNR	NO	NO	Calamina	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00275.jpg
18	100	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	
19	305	03MVMR	NO	SI	Calamina	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	NO	.\Fotos_S06A\DSC00277.jpg
20	338	02MVMR	NO	NO	Aligerado	X	X	X	Artesanal	Hueco	NO	SI	.\Fotos_S06A\DSC00278.jpg

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

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

En la plataforma SIG se genera la base de datos geo-espacial la cual permite una rápida observación de las condiciones de las edificaciones de las manzanas, no sólo desde el punto de vista descriptivo, sino también gráfico, ya que se integran a la base de datos las fotografías de las manzanas. Por cada manzana se tomaron 5 fotografías, una por cada esquina y una del detalle del lote representativo.

La Tabla 1 presenta la base de datos descriptiva. En esta tabla se muestran todos los campos ordenados alfabéticamente. Esta base de datos contiene la integración de todos los datos, es decir de los datos levantados en campo así como los valores obtenidos del



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



procesamiento de la información, para finalizar con el valor del costo de reparación, que es explicado más adelante.

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

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

La Figura 5 muestra el detalle de los datos de una manzana evaluada. Como se puede apreciar en esta base de datos geo-espacial se ha integrado una imagen de satélite, obtenida desde Google Earth, la información cartográfica de los bordes de las manzanas y dentro de la base de datos descriptiva además de la información levantada en campo se encuentra la información procesada. Adicionalmente, se han integrado fotografía de las manzanas evaluadas por medio de hipervínculos a los archivos que contienen a estas fotos.

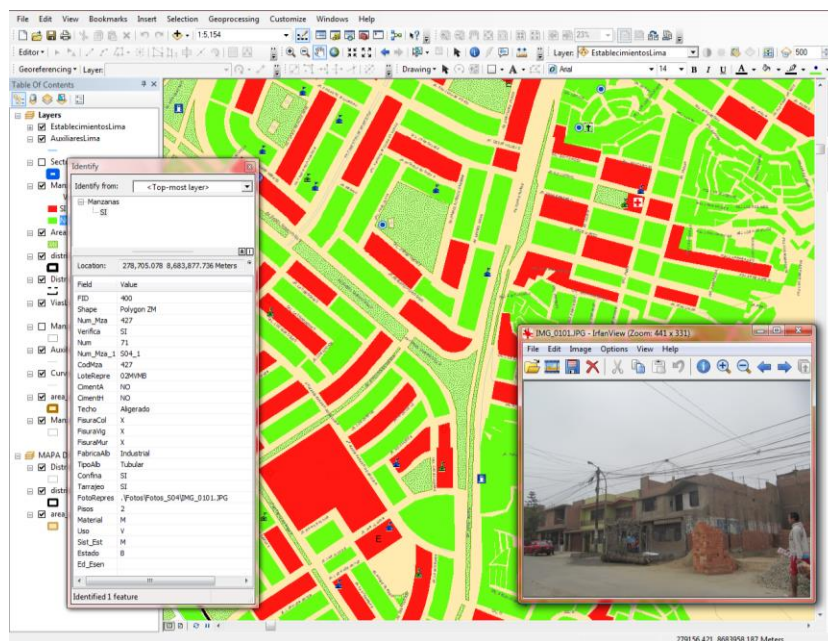


Figura 5. Base de datos Geo-espacial, integración de información cartográfica, descriptiva y procesamiento.

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

2.2.1. Mapa de Uso de Suelo

En el mapa E05 se presenta las manzanas evaluadas y clasificadas de acuerdo al uso del suelo de las edificaciones. En la Figura 6 se presenta el análisis estadístico de la muestra en lo referente al uso del suelo o uso de la edificación de la muestra estudiada. Puede leerse que es predominante el uso en viviendas que ocupan un 83% de la muestra, seguido de

viviendas comercio que representan el 8% de la muestra y edificaciones destinadas a escuelas que representan el 5% de las edificaciones en el área estudiada.



Figura 6. Distribución del uso del suelo de la muestra del distrito de El Agustino

2.2.2. Mapa de Materiales Predominantes

En el mapa No. E04, referente a los materiales existentes en las edificaciones del distrito de El Agustino, se realizó un análisis estadístico de la muestra, dando como resultado la gráfica que se presenta en la Figura 7, donde es notorio que el material predominante es la mampostería de ladrillo que representa el 93% de la muestra. Debe destacarse que existen edificaciones de concreto que representan un 6% de la muestra, así como viviendas de madera en laderas de cerros que representan el 0.3% de las edificaciones muestreadas.



Figura 7. Distribución de los materiales de construcción de la muestra del distrito de El Agustino

2.2.3. Mapa de Alturas de Edificación

En el mapa E-03 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 8, donde se puede apreciar que en el Distrito de El Agustino, predominan las edificaciones de tres pisos que corresponde al 50% del total de las edificaciones evaluadas y es la tendencia general en el distrito. En segundo lugar de repetición de niveles de altura son las edificaciones de dos pisos y que corresponde al 41% del total de las edificaciones evaluadas. Este distrito también cuenta con edificaciones de un piso, pero en un porcentaje mucho menor, equivalente al 4% del total de las edificaciones evaluadas, y edificaciones de cuatro pisos que corresponden al 3% del total de las edificaciones. Este número relativamente bajo de altura de edificaciones se debe a que el Distrito de El Agustino, es un distrito que está en pleno desarrollo y por lo tanto aún no se encuentran edificaciones de gran altura relativa.

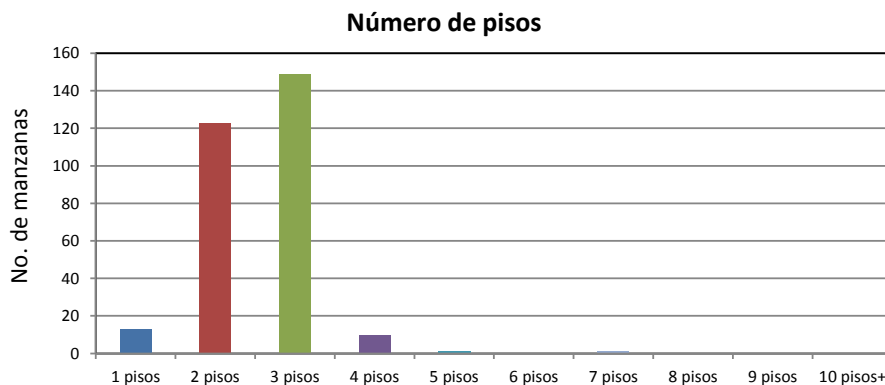


Figura 8. Distribución del número de pisos de las edificaciones del distrito de El Agustino.

2.2.4. Mapa de Tipologías Estructurales

En el mapa E05 se presenta el levantamiento de información de las manzanas evaluadas relacionadas con el sistema estructural usado en las edificaciones. La Figura 9 presenta la distribución del uso de los sistemas estructurales que arrojó la estadística de la muestra usada en el distrito de El Agustino. En el gráfico se entiende que el sistema estructural más utilizado es la mampostería de ladrillos de arcilla con diafragmas o techos rígidos que ocupa el 90% de la muestra. Le siguen a este sistema en uso la albañilería confinada con diafragma o techo flexible con un 2% de la muestra, que generalmente se tiene en el último nivel de la edificación. Por otro lado un 5% de la muestra está representado por edificaciones con pórticos de concreto, generalmente usadas en zonas comerciales.

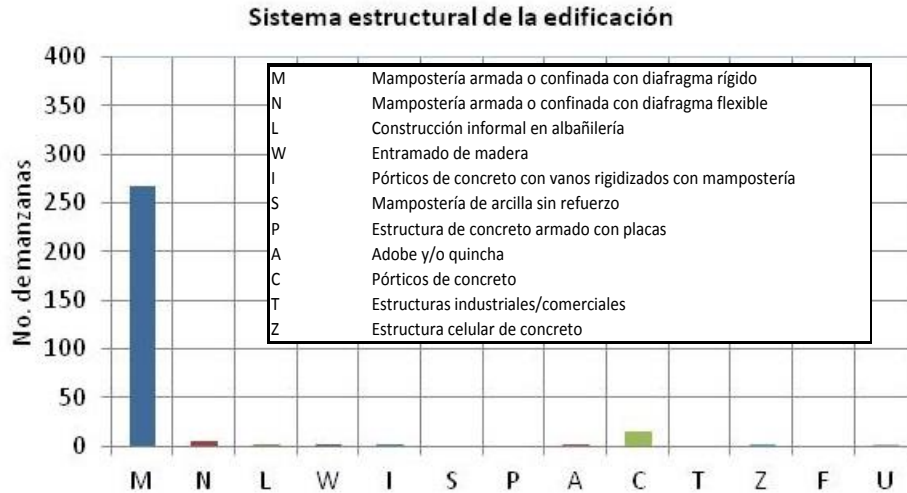


Figura 9. Distribución del uso del sistema estructural muestra del distrito de El Agustino

2.2.5. Mapa de Estado de Conservación

El mapa temático E07 presenta el estado de conservación de las viviendas del distrito de El Agustino. La Figura 10 presenta los resultados estadísticos de la muestra analizada. El 18.2% de las edificaciones se encuentra en buen estado de conservación, mientras que el 78.1% de la muestra presenta un estado regular de conservación, en contra de un 3.7% que presenta un mal estado de conservación.

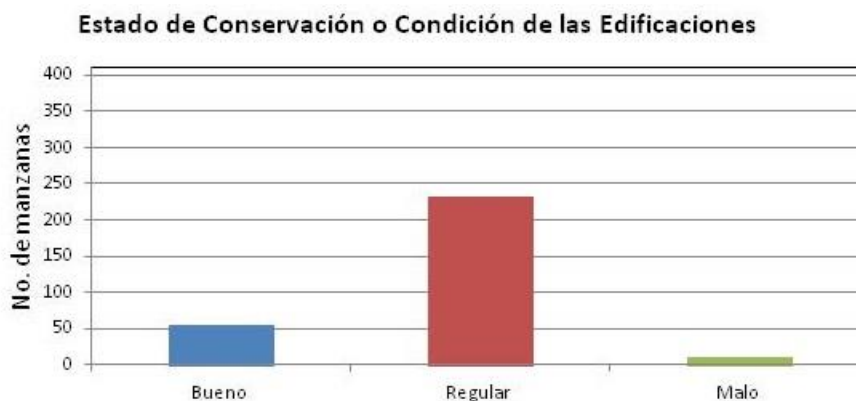


Figura 10. Estado de conservación de la muestra de edificaciones del distrito de El Agustino



2.2.6. Mapa de Vulnerabilidad

Conceptos Generales

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

Formas de Evaluación

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

Método Determinístico

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

Método por Criterio

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

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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:

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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



muros, paneles y módulos a escala natural ensayados en CISMID a lo largo de sus 25 años de experiencia de laboratorio.

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

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

Edificaciones con Nivel de Vulnerabilidad Alto:

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

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



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



- 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

- Lotes:** Se evaluaron la totalidad de los lotes de la muestra, siendo el material predominante la albañilería, con presencia en el 93% de los lotes.
- Muros:** Tal como se indicó, el ladrillo tiene una presencia del 93% en las viviendas cuyo sistema estructural son los muros, sean éstas de 1 piso (4%), 2 pisos (41%), 3 pisos (50%) y 4 pisos (3%). De acuerdo a lo observado en varios casos, las construcciones son realizadas con intervención de maestros de obra y personal obrero, sin tener la asesoría técnica de un profesional de la especialidad. Asimismo, aproximadamente el 93% de las viviendas presentan columnas de confinamiento de concreto armado en sus paredes, no teniendo el 7% de las viviendas evaluadas, elementos de refuerzo vertical.
- Coberturas y Sistema de techos:** Del total de lotes inspeccionados, el 90% de ellos tienen techos aligerados de ladrillo con viguetas de concreto armado, y el 2%, poseen coberturas de calamina, esteras o madera. Estas coberturas se concentran en los sectores emergentes como las laderas de cerros y asentamientos humanos.
- Estado de Conservación:** El estado de conservación de las construcciones en un 18.2% es aceptable y bueno. Un 78.1% de las viviendas muestran un estado de conservación regular y otro 3.7% de las viviendas presentan un mal estado de conservación, especialmente, por las condiciones provisionales de sus materiales en techos, la inestabilidad de los taludes, y las malas condiciones del suelo.

Con respecto a los resultados del estudio en el distrito de El Agustino, se tienen edificaciones con vulnerabilidades relativamente bajas y medias, a excepción de la zona localizada entre la Av. Ferrocarril y Jr. Leoncio Prado casi donde se han encontrado edificaciones con altas vulnerabilidades, como se muestra en la Figura 11.

En esta ubicación existen edificios de muros de ductilidad limitada de siete pisos, edificaciones que de acuerdo a las investigaciones experimentales en CISMID sobrepasan la altura recomendada para este tipo de sistema estructural; hecho que los hace vulnerables para un escenario de sismo severo.

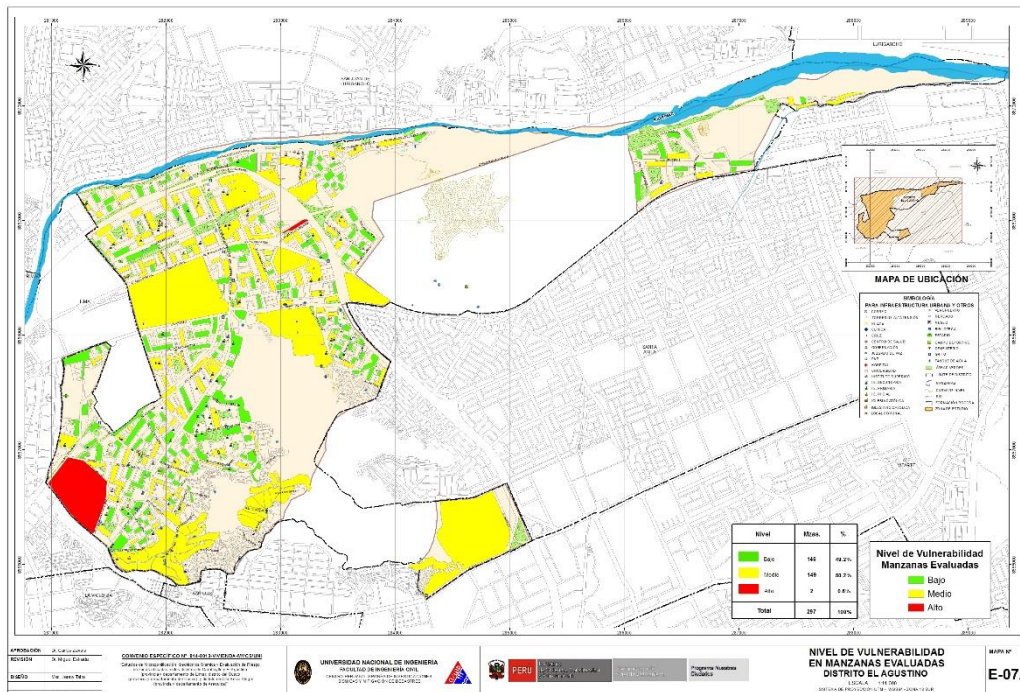


Figura 11. Mapa de vulnerabilidad del Distrito de El Agustino

En la Figura 11 se puede observar en color verde las zonas de baja vulnerabilidad que representa el 49% del total de la muestra evaluada, mientras que el 50% de la muestra refleja la existencia de una vulnerabilidad media, la que esta presentada en color amarillo; y las zonas en color rojo muestran las edificaciones de alta vulnerabilidad que porcentualmente representa el 1% de la muestra.

RESULTADOS OBTENIDOS EN LOS PRINCIPALES SECTORES

SECTOR 01

El Sector 01 se encuentra ubicado entre las avenidas Jr. Conchucos, Jr. José Rivera y Dávalos, Jr. Ancash, Av. Inca Ripac y Av. José de la Riva Agüero. Este sector se caracteriza por ser principalmente residencial, con viviendas de tres pisos en su mayoría, seguidas de viviendas de dos, y un piso como se muestra en la Figura 12. El material predominante es la albañilería de ladrillo artesanal sólido y pandereta, con un sistema estructural de mampostería confinada y techo aligerado.



Figura 12. Viviendas típicas del Sector 01.

El Sector 01 tiene zona comercial como se muestra en la Figura 13. En general, las edificaciones del sector se encuentran en buen estado de conservación.



Figura 13. Zona comercial del Sector 01.

SECTOR 02

El Sector 2 está ubicado en la parte Sur del distrito, entre la Av. José de la Riva Agüero, Jr. Pedro Chamocho, Jr. Los Incas, Calle Tayacaja, y la Av. Inca Garcilazo de la Vega. En este sector se evaluaron 37 manzanas. Las edificaciones de este sector son de dos y tres pisos en mayoría cuyo material es albañilería y dedicado a viviendas, como puede apreciarse en la Figura 14.



Figura 14. Edificaciones del Sector 02, de tres y dos pisos.

Predomina el sistema estructural de albañilería confinada usando unidades sólidas y tubulares (pandereta) y se encuentran en buen estado de conservación. Es en general un sector consolidado, hay pocos casos en proceso de ampliación, con muros de pisos superiores sin tarrajeo pero la mayoría no parecen de reciente construcción tal como se ve en la Figura 15.



Figura 15. Viviendas sin tarrajeo del Sector 02

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



Figura 16. Viviendas - comercio

SECTOR 03

El Sector 03 está limitado por el Norte con el jirón Ancash, por el Este con la Av. José de la Riva Agüero, por el Sur con la Av. Inca Rípac, y por el Oeste con el Pasaje Francia y la Av. Plácido Jiménez. En este sector fueron evaluadas 40 manzanas.

En general, este sector corresponde a una zona de viviendas unifamiliares y multifamiliares, donde la mayoría de las edificaciones son de 2, 3 y 4 pisos de mampostería confinada y techos de losa aligerada. En la Avenida Riva Agüero destaca la presencia de edificaciones cuyo uso es de vivienda y comercio. En un gran porcentaje, el uso de las edificaciones es de uso residencial, y algunas manzanas son de uso educativo.

El sistema estructural predominante es el de mampostería confinada. En algunos casos, especialmente, en aquellas edificaciones destinadas a colegios, se encuentran sistemas aporticados de concreto armado, con divisiones de mampostería.

Un alto porcentaje de las edificaciones se encuentran en un regular estado de conservación y en menor medida, se encuentran las viviendas en buen y mal estado de conservación; en este último rubro, resalta la existencia de algunas edificaciones antiguas de uno o dos niveles. No se observaron indicios de asentamiento pero si había presencia de humedad en la base de los muros principalmente. No se observaron fisuras importantes en los elementos estructurales.

La Figura 17, Figura 18, Figura 19 y Figura 20, muestran algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



Figura 17. Edificación de mampostería de 4 niveles. Manzana 402. Uso para vivienda. Mal estado de conservación.



Figura 18. Edificaciones de mampostería de un nivel. Regular estado de conservación. Manzana 511. Uso destinado a vivienda.



Figura 19. Edificaciones de dos niveles con uso destinado a vivienda y comercio. Manzana 747.



Figura 20. Edificación de tres niveles. Se aprecia que la construcción original sufrió una ampliación. Manzana 343.

SECTOR 04

El Sector 04 está limitado por el Norte con la Av. César Vallejo, por el Este y por el Sur con cerros aledaños, y por el Oeste con la Av. Riva Agüero y el Jr. Pedro Chamocho. En este sector fueron evaluadas 18 manzanas.

En general, este sector corresponde a una zona de viviendas unifamiliares y multifamiliares, donde la mayoría de las edificaciones son de 2 y 3 pisos de mampostería confinada y techos de losa aligerada. En la Avenida Riva Agüero destaca la presencia de edificaciones cuyo uso es de vivienda y comercio. En un gran porcentaje, el uso de las edificaciones es de uso residencial, y algunas manzanas son de uso educativo. Resalta la existencia de hasta siete colegios en este sector.

El sistema estructural predominante es el de mampostería confinada. En algunos casos, especialmente, en aquellas edificaciones destinadas a colegios, se encuentran sistemas aporticados de concreto armado, con divisiones de mampostería.

Un 60% de las edificaciones se encuentran en un regular estado de conservación y el otro 40% en buen estado de conservación. No se observaron indicios de asentamiento pero si había presencia de humedad en la base de los muros principalmente. No se observaron fisuras importantes en los elementos estructurales.

La Figura 21, Figura 22, Figura 23 y Figura 24, muestran algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



Figura 21. Edificaciones de mampostería de tres niveles, en buen estado de conservación. Uso: vivienda-comercio. Manzana: 798.



Figura 22. Edificaciones de mampostería de tres niveles en regular estado de conservación. Manzana 1148



Figura 23. Edificaciones de mampostería de un nivel, en buen estado de conservación. Uso: vivienda. Manzana: 752.



Figura 24. Edificaciones de mampostería de dos niveles, en buen estado de conservación. Uso: vivienda-comercio. Manzana: 737.

SECTOR 05

El Sector 05 está limitado por el Norte con la Av. César Vallejo, por el Este por la Vía de Evitamiento y la Av. Venezuela, y por el Sur y por el Oeste con cerros aledaños. En este sector fueron evaluadas 23 manzanas.

En general, este sector corresponde a una zona de viviendas unifamiliares y multifamiliares, donde la mayoría de las edificaciones son de 2 y 3 pisos de mampostería confinada y techos de losa aligerada. Destaca la presencia del Hospital Hipólito Unanue, de la Universidad Nacional Federico Villarreal, y de una dependencia del Poder Judicial Lima Este.

En un gran porcentaje, el uso de las edificaciones es de uso residencial, y algunas manzanas son de uso educativo. Resalta la existencia de colegios Fe y Alegría en este sector.

El sistema estructural predominante es el de mampostería confinada. En algunos casos, especialmente, en aquellas edificaciones destinadas a los servicios educativos y de salud, se encuentran sistemas porticados de concreto armado, con divisiones de mampostería.

Más del 70% de las edificaciones se encuentran en un regular estado de conservación y el resto se reparten entre buen y mal estado de conservación. No se observaron indicios de asentamiento pero si había presencia de humedad en la base de los muros principalmente. No se observaron fisuras importantes en los elementos estructurales.

La Figura 26, Figura 27 y Figura 28 muestran algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



Figura 25. Edificaciones de mampostería de 03 niveles. Se observa que sobre el nivel superior se ha construido una ampliación provisional de madera. Manzana 678.



Figura 26. Edificaciones de mampostería de tres niveles. Uso compartido: vivienda-comercio. Manzana 902.



Figura 27. Edificaciones de un nivel. Uso: vivienda. Manzana 156.



Figura 28. Entrada al edificio del Poder Judicial Lima Este. Manzana: 1308.

SECTOR 06

El Sector 06 está ubicado entre las Av. Malecón de la Amistad, Av. José Carlos Mariátegui, Jr. Ancash y Av. Placido Jiménez; La Vía de Evitamiento atraviesa este sector. Otra característica de este sector es que colinda con el distrito de San Juan de Lurigancho. En este sector se evaluaron 48 manzanas. Las edificaciones de este sector son de dos y tres pisos en mayoría cuyo material es albañilería y usado para viviendas, como puede apreciarse en la Figura 29.



Figura 29. Edificaciones características del Sector 06

Gran parte de las edificaciones de este sector son de albañilería sin confinar con unidades tubulares (pandereta); por otro lado, algunas edificaciones se encuentran tarrajeadas parcialmente, como se muestra en la Figura 30.



Figura 30. Edificaciones de albañilería tarrajeadas parcial y/o totalmente

Es importante notar que otro número importante de edificaciones son de un piso, con albañilería artesanal y sin confinamiento altamente vulnerable ante un evento sísmico. También, se puede notar que existen edificaciones de albañilería con cierta irregularidad estructural debido al empleo de los ambientes para comercio, donde existen grandes luces sin secciones adecuada de elementos estructurales. Estas características se pueden observar en la Figura 31.



Figura 31. Edificaciones con irregularidad estructural

SECTOR 07

El Sector 07 está ubicado entre la Vía de Evitamiento, Av. Cesar Vallejo y la Av. José Carlos Mariátegui. Es colindante con el Sector 6. En este sector se evaluaron 43 manzanas. Las edificaciones de este sector son de dos y tres pisos en mayoría cuyo material es albañilería y usado para viviendas y comercio, como puede apreciarse en la Figura 32.



Figura 32. Edificaciones de albañilería con unidades tubulares de dos y tres niveles

SECTOR 08

El Sector 8 está ubicado, entre la Vía de Evitamiento, Av. César Vallejo y Av. Ferrocarril, Ramiro Prialé y Av. Malecón de la Amistad Oeste. En este sector se evaluaron 26 manzanas. Las edificaciones de este sector son de tres y dos pisos en mayoría, cuyo material es albañilería y dedicado a viviendas, como puede apreciarse en la Figura 33 Hay viviendas –comercio en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 34.



Figura 33. Edificaciones de viviendas del Sector 08, de dos y tres pisos.



Figura 34. Viviendas- comercio del Sector 08.

SECTOR 09

El Sector 09, conocido como Las Praderas, tiene la característica de encontrarse desconectado geográficamente del resto del distrito. Está rodeado de sectores que corresponden a los distritos de Santa Anita (Av. El Ferrocarril), Ate Vitarte y San Juan de Lurigancho. En este sector fueron evaluadas 19 manzanas.



Figura 35. Edificación de cuatro niveles; uso: vivienda-comercio. Manzana: 1301.



Figura 36. Edificaciones de mampostería de tres niveles. Uso: vivienda-comercio. Manzana 53.



Figura 37. Edificaciones de dos niveles. Manzana 514. Regular estado de conservación.



Figura 38. Edificaciones de cuatro niveles. El último nivel con construcción de madera. Uso: vivienda. Manzana 440.

SECTOR 10

El Sector 10, al igual que el sector 09, tiene la característica de encontrarse desconectado geográficamente del resto del distrito. Está rodeado de sectores que corresponden a los distritos de Santa Anita (Av. Vía de Evitamiento), y Ate Vitarte (Av. Nicolás Ayllón). En este sector fueron evaluadas 02 manzanas.

En general, en este sector predomina el uso industrial, con una altura de 2, 3 y 4 pisos de mampostería confinada, concreto armado y techos de losa aligerada.

No se encontraron edificaciones de uso educativo.

El sistema estructural predominante es el de mampostería confinada y pórticos de concreto armado. Las edificaciones presentan un regular y buen estado de conservación.

La Figura 39 y Figura 40, muestran algunos tipos de edificaciones encontradas en este sector.



Figura 39. Industria. Manzana 27.

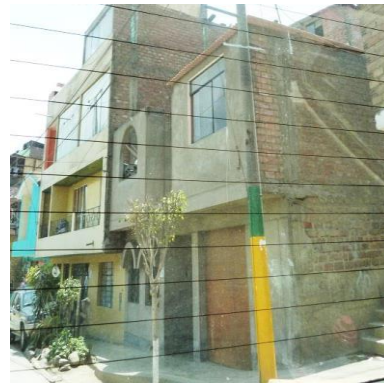


Figura 40. Edificaciones de mampostería. Manzana 1151.

EVALUACIÓN DE EDIFICACIONES ESENCIALES

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

SECTOR 01

- I.E. San Cayetano N°1187, edificación de dos pisos de albañilería confinada con techo aligerado en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 41.



Figura 41. I.E. N°1187.

- Colegio Ignacio Merino, consta de una edificación de cuatro pisos con pórticos de concreto armado y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 42. En la parte inferior lado derecho se observa ventanas altas unidas a las columnas que podría causar el efecto de columna corta, lo que podría ocasionar daños en la estructura en caso de un sismo de gran magnitud.



Figura 42. Colegio Ignacio Merino

- I.E.P. José Sabogal, edificación de tres pisos con pórticos de concreto armado rigidizados con vanos de mampostería en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 43. Se observa que en el primer piso hay ventanas altas unidas a las columnas que podría causar el efecto de columna corta, lo que podría ocasionar daños en la estructura en caso de un sismo de gran magnitud.



Figura 43. I.E.P. José Sabogal

- I.E.MX. Nicolás de Piérola, edificación con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 44.



Figura 44. I.E.MX. Nicolás de Piérola

- I.E. 1169 Almirante Miguel Grau Seminario, edificación de dos pisos en albañilería confinada con techo de losa aligerada en buen estado de conservación como se muestra en la Figura 45.



Figura 45. I.E. 1169 Almirante Miguel Grau Seminario

SECTOR 02

- En este sector se encuentran edificaciones esenciales, entre las que destacan un Módulo de Atención de Salud, y una Capilla cuyo predio original fue de vivienda.



Figura 46. Módulo de Atención de Salud.



Figura 47. Capilla.

SECTOR 03

- I. E N° 1025: María Prado de Bellido, Figura 48. Es una edificación de dos niveles, en base a pórticos de concreto armado y divisiones de albañilería. Se apreció la existencia de columnas cortas en algunos ejes. Regular estado de conservación.



Figura 48. I.E. N° 1025: María Prado de Bellido.

- Colegio Privado Juventud Científica, Figura 49. Es una edificación de cinco niveles, en

base a pórticos de concreto armado y divisiones de albañilería. Regular estado de conservación.



Figura 49. Colegio Privado Juventud Científica.

- Institución Educativa Ramón Castilla, Figura 50. Es una edificación de un nivel, de mampostería confinada. No se apreció la existencia de fisuras importantes. Regular estado de conservación.



Figura 50. Institución Educativa Ramón Castilla.

SECTOR 04

- I.E.P. José Carlos Mariátegui. Figura 51. Es una edificación de dos niveles, en base a pórticos de concreto armado y divisiones de albañilería. Se apreció la existencia de columnas cortas en algunos ejes. Buen estado de conservación.



Figura 51. I.E.P. José Carlos Mariátegui.

- I.E.P. Johannes Kepler. Figura 52. Es una edificación de tres niveles, en base a muros de mampostería confinada. Regular estado de conservación.



Figura 52. I.E.P. Johannes Kepler.

- Colegio Privado María Montessori. Figura 53. Es una edificación de dos niveles, de mampostería confinada. No se apreció la existencia de fisuras importantes. Regular estado de conservación.



Figura 53. Colegio Privado María Montessori.

- C.E.N.E. Johannes Gutenberg. Figura 54. Comprende edificaciones de más de dos niveles, en base a sistemas aporticados de concreto armado. También tiene algunos módulos de mampostería confinada. Buen estado de conservación.



Figura 54. C.E.N.E. Johannes Gutenberg.

- I.E.P. John Wallis. Figura 55. Comprende una edificación de dos niveles, en base a mampostería confinada. Buen estado de conservación.



Figura 55. I.E.P. John Wallis.

- I.E.P. Sagrado Corazón de Jesús. Figura 56. Comprende una edificación de dos niveles, en base a mampostería confinada. Buen estado de conservación.



Figura 56. I.E.P. Sagrado Corazón de Jesús.

- I.E.P. Mundo Feliz. Figura 57. Comprende una edificación de tres niveles, en base a mampostería confinada. Buen estado de conservación.



Figura 57. I.E.P. Mundo Feliz.

- Centro de Salud Catalina Huanca, Figura 58. Comprende una edificación de un nivel, en base a mampostería confinada. No se apreciaron fisuras importantes. Buen estado de conservación.



Figura 58. Centro de Salud Catalina Huanca.

- Centro de Atención Primaria Essalud El Agustino. Figura 59. Comprende una edificación de dos niveles, con una tercera con material provisional. Está construida en base a muros de mampostería confinada. No se apreciaron fisuras importantes. Buen estado de conservación.



Figura 59. Centro de Atención Primaria Essalud El Agustino.

SECTOR 05

- I.E. N° 1045 Nuestra Señora de Fátima. Figura 60. Comprende edificaciones de distintos niveles en buen estado de conservación. Sistema de pórticos de concreto armado con divisiones de albañilería.



Figura 60. I.E. N° 1045 Nuestra Señora de Fátima.

- I.E. Fe y Alegría N° 39. Figura 61. Es una edificación de dos niveles, en base a pórticos de concreto armado con muros de mampostería. Buen estado de conservación.



Figura 61. I.E. Fe y Alegría N° 39

- Universidad Nacional Federico Villarreal, Sede de las Ciencias de la Salud. Figura 62. Comprende varias edificaciones de más de dos niveles, en base a pórticos de concreto armado y muros de mampostería. No se apreció la existencia de fisuras importantes. Buen estado de conservación.



Figura 62. Universidad Nacional Federico Villarreal, Sede de las Ciencias de la Salud.

- Hospital Nacional Hipólito Unanue. Figura 63. Comprende un conjunto de edificaciones de varios niveles, construidos con sistemas porticados de concreto armado y otros de mampostería confinada.



Figura 63. Hospital Nacional Hipólito Unanue.

SECTOR 06



Figura 64. Centro educativo particular de 4 niveles



Figura 65. Establecimiento de salud de dos niveles



Figura 66. Centro educativo particular de 2 niveles



Figura 67. Iglesia de dos niveles

SECTOR 07



Figura 68. Centro educativo particular Saco Oliveros de 2 niveles.



Figura 69. Centro educativo José de la Torre Ugarte de 2 niveles con presencia de columna corta.



Figura 70. Centro educativo Santa Rita de 3 niveles



Figura 71. Centro educativo Santa Rita de 3 niveles

SECTOR 08

- I.E. Juana Infantes Vera, edificación de dos pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 72.



Figura 72. I.E. Juana Infantes Vera.

- I.E. 0009 José María Arguedas, edificación de dos pisos rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 73.



Figura 73. I.E. 0009 José María Arguedas.

- I.E.P. Corazón de Jesús, edificación de cuatro pisos rigidizado con vanos de mampostería y techo de losa aligerada en buen estado de conservación, como se muestra en la Figura 74.



Figura 74. I.E.P. Corazón de Jesús.

- Centro de Salud Bethanía, edificación de dos pisos en albañilería confinada y techo de losa aligerada en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 75.



Figura 75. Centro de Salud Bethanía

- I.E.I 068 Bethanía, edificación de dos pisos en albañilería confinada y techos livianos metálicos en regular estado de conservación, como se muestra en la Figura 76. Se observa que en el primer piso hay ventanas altas unidas a las columnas que podría causar el efecto de columna corta, lo que podría ocasionar daños en la estructura en caso de un sismo de gran magnitud.



Figura 76. I.E.I 068 Bethanía.

- En este sector se encuentran algunas otras edificaciones esenciales tal como el I.E.N. “Perú – Japón” Vicentelo Bajo.



Figura 77. I.E.N. "Perú – Japón"

SECTOR 09

- I.E. La Pradera II. Figura 78. Comprende edificaciones de dos niveles en buen estado de conservación. Sistema de pórticos de concreto armado con divisiones de albañilería.



Figura 78. I.E. La Pradera II.

- Policlínico La Pradera. Figura 79. Comprende una edificación de seis niveles, en base a pórticos de concreto armado con muros de mampostería. No se apreciaron fisuras importantes. Buen estado de conservación.



Figura 79. Policlínico La Pradera.

SECTOR 10

- No se identificaron edificaciones esenciales en este sector. La población recurre a estos servicios, en las manzanas vecinas que corresponden a los distritos de Ate Vitarte y Santa Anita.

3. MAPAS DE RIESGO

3.1. Estudio de Riesgo para un Escenario Sísmico

Definición de Riesgo Sísmico

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

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

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



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

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

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

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

Un proceso de regresión de los diversos tipos de daño y la cuantificación del costo relacionan el valor de la reparación con la distorsión de la respuesta sísmica ($\Delta\delta_j/h_j$) en cada lote. Este costo de reparación (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.

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

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 80.

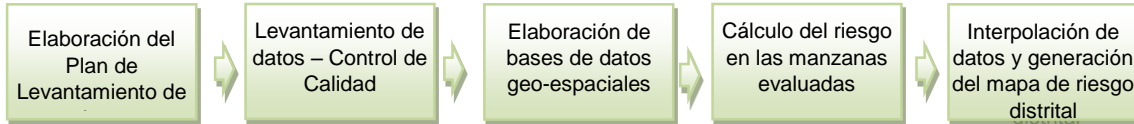


Figura 80. Proceso de generación del mapa de riesgo.

Basados en la información de campo se evaluaron 297 manzanas con los datos de sus lotes representativos, dando como resultado el mapa de costo de reparación mostrado en la Figura 81.

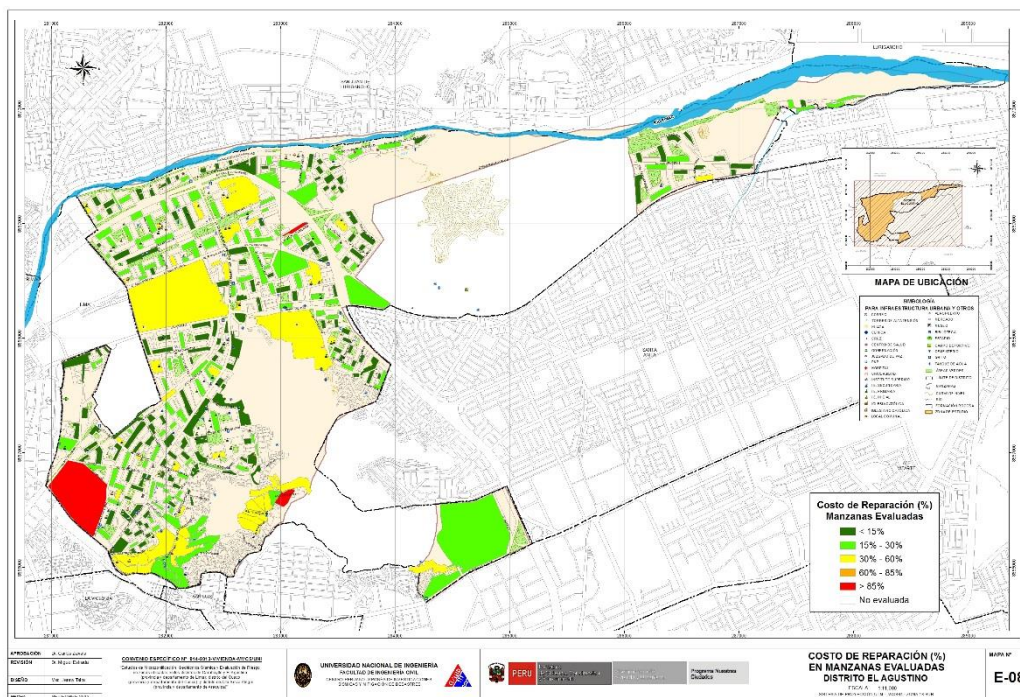


Figura 81. Resultado del cálculo del costo de reparación para las manzanas evaluadas.

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 82 muestra el resultado de la interpolación de los valores del costo de reparación sobre todo el distrito de El Agustino.

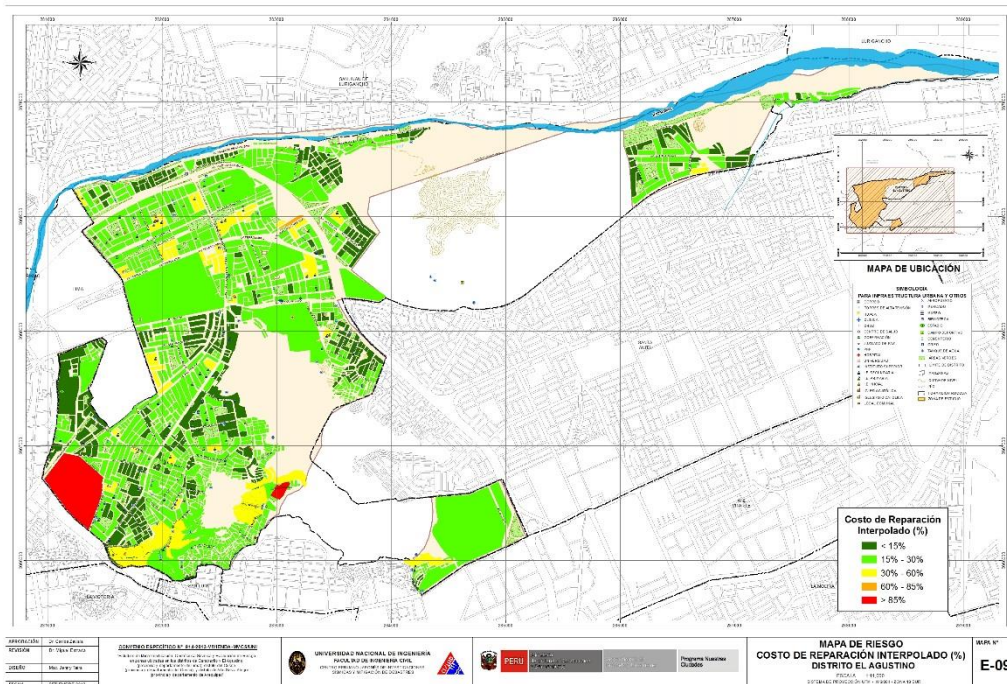


Figura 82. Imagen de interpolación del costo de reparación (método IDW)

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



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

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	131	53%	96%	Daño Leve o sin daño
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	107	43%		
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	7	3%	3%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	0	0%	0%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	2	1%	1%	Colapso
				247	100%		

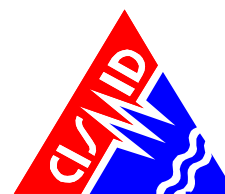
En el Anexo I, en el mapa No. E-09, que presenta el riesgo expresado como porcentaje del costo de la edificación para el distrito de El Agustino bajo un escenario del sismo de Lima 1966. En el mapa se puede apreciar que los sectores en verde tendrían un costo de reparación entre 0~15%. Aquellos sectores en verde agua poseen un costo de reparación entre 15~ 30% del valor de la edificación. Los sectores en amarillo poseerían porcentaje de reparación para sus viviendas entre 30~60%. Las zonas en color naranja, tendrían porcentaje de costo de reparación entre 60 ~ 85%, mientras que las zonas en rojo tendrían viviendas con costos de reparación entre 85% y 100%. Estos dos últimos grupos son diagnosticados como los grupos con indicadores de viviendas en riesgo de colapso que en el distrito no se presentaría para el escenario propuesto. Las aceleraciones asumidas para el diagnóstico son las presentadas en el informe del Microzonificación geotécnica.

Caso especial es el representado por las edificaciones esenciales que en caso de un evento sísmico severo deben de seguir funcionando luego del evento. Bajo esta premisa se tomaron aquellas edificaciones esenciales que formaron parte de la muestra, encontrándose el resumen de los resultados en la tabla siguientes.

Tabla 3. Resultado de daño esperado en edificaciones esenciales

Color	Rango	Nivel Daño	Nivel Daño	Número de Mzas.	%	%	Nivel de Daño
Verde	< 15%	Nivel I	1	0			
Verde agua	15% - 30%	Nivel II	2	1	6%	6%	Daño Leve o sin daño
Amarillo	30% - 60%	Nivel III	3	17	94%	94%	Daño Moderado
Naranja	60% - 85%	Nivel IV	4	0	0%	0%	Daño Severo
Rojo	85%-100%	Nivel V	5	0	0%	0%	Colapso
				18	100%		

Los resultados para las edificaciones esenciales son presentados en el mapa E-09A en donde puede apreciarse los resultados que se presentan en la Tabla 3, que muestra que el



6% de las edificaciones esenciales experimentarían un daño moderado, debido al nivel de demanda sísmica extrema sobre sus sistemas estructurales y los suelos donde se ubican.

3.2. Mapa de Sectores Críticos

Propuesta Técnica de Reforzamiento de Edificaciones de Vivienda por Tipología

Con la finalidad de proponer la técnica de reforzamiento para las edificaciones en el distrito de El Agustino, se estudió la composición de la muestra levantada en campo. Los resultados que se muestran en la Tabla 4 presentan que en el 92.6% de los casos las edificaciones de este distrito son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 6.1% de edificaciones de concreto, 0.7% edificaciones de acero y 0.3% de edificaciones de adobe y madera. La representatividad de la muestra nos orienta a mostrar aquellas técnicas apropiadas para el reforzamiento de viviendas de mampostería y asimismo de edificaciones de concreto.

Tabla 4. Composición por material de la muestra estudiada

Material	Edificaciones	%
Adobe	1	0.3%
Concreto	18	6.1%
Mampostería	275	92.6%
Acero	2	0.7%
Madera	1	0.3%
Otros	0	0.0%
	297	Mza

Por otro lado luego del diagnóstico del riesgo sísmico en los sectores estudiados y considerando los resultados de los lotes representativos de la muestra, se encontró que dependiendo del nivel de daño diagnosticado por material, en la Tabla 5 se muestra el agrupamiento de los Niveles III, IV y V, que serían aquellos que demanden intervención para su refuerzo. Así por ejemplo de las 297 manzanas estudiadas, para edificaciones de mampostería 9 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto, 16 manzanas requerirían de una intervención de reforzamiento.

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

Adobe	Nivel I	0	Concreto	Nivel I	0	Madera	Nivel I	0
	Nivel II	0		Nivel II	2		Nivel II	0
	Nivel III	0		Nivel III	16		Nivel III	0
	Nivel IV	0		Nivel IV	0		Nivel IV	0
	Nivel V	1		Nivel V	0		Nivel V	1
Mampostería	Nivel I	146	Acero	Nivel II	1			
	Nivel II	120		Nivel III	1			
	Nivel III	9		Nivel V	0			
	Nivel IV	0						
	Nivel V	0						

A continuación se proponen algunos casos representativos para el reforzamiento de muros de albañilería existentes con deficiencia de confinamiento, refuerzo de muros de albañilería existentes con deficiencia de tamaño o sección, para el reforzamiento de columnas de concreto y para la inclusión de muros de concreto a partir de columnas existentes. Considerando las manzanas que poseen nivel de daño IV y V, que son aquellas que tendrían que ser intervenidas de forma inmediata, se ha cuantificado que 2 manzanas requieren ser intervenidas para evitar un daño moderado.

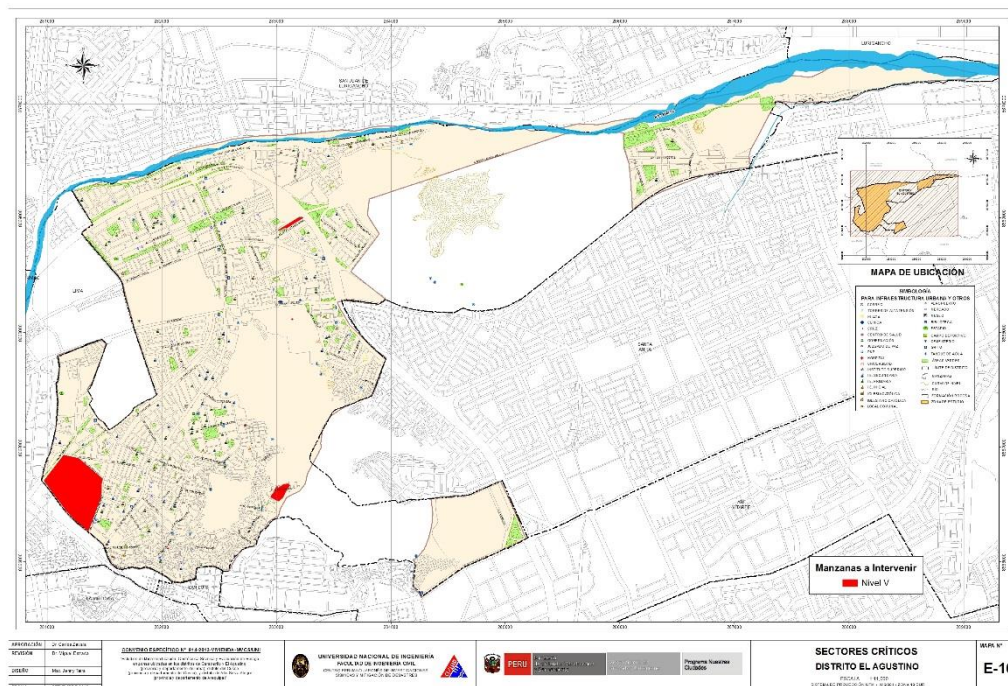


Figura 83. Ubicación de manzanas a intervenir



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



La ubicación de estas edificaciones es presentada en la Figura 83, donde se muestran aquellas viviendas cuyo costo de reparación es superior al 65% de su valor. Las zonas en color rojo muestran las manzanas con una mayor probabilidad de colapso, mientras que las zonas en color rosa claro muestran las manzanas con una alta probabilidad de daño severo. La intervención de estas viviendas debe realizarse luego de una evaluación al detalle de la edificación por parte de un especialista en diseño de estructuras antisísmicas.

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

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

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

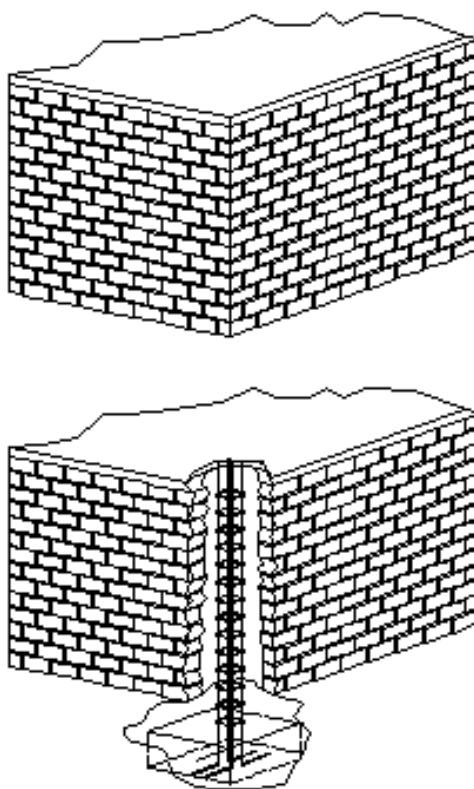


Figura 84. Detalle de inclusión de columnas de reforzamiento en muro sin confinamiento existente

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

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

En la se Figura 85 se muestra la secuencia del refuerzo de un muro de albañilería, considerando el incremento de la sección con la colocación de malla y recubrimiento.



Figura 85. Detalle de refuerzo sobre las caras del muro

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



(a)



(b)

Figura 86. Reforzamiento con bandas de refuerzo.

Reforzamiento de Columnas de Concreto

Cuando existen deficiencias en las secciones de concreto es necesario realizar el incremento de la sección considerando la extracción del recubrimiento y el uso de resinas epóxicas para pegar el concreto existente con el concreto nuevo, formando un suplemento de la columna con deficiencia estructural. En la Figura 87 se muestran dos casos de columna existente donde se requiere incrementar la sección. En el primer caso el incremento de la sección se realiza sobre una dirección mientras que en el segundo, considerando que es una columna esquinera, se incrementa la sección en ambas direcciones. Para esto es necesario retirar el recubrimiento de la columna existente para aplicar una resina epóxica, luego se coloca el acero de refuerzo que debe anclarse al refuerzo de la cimentación el cual describiremos en el siguiente ítem. Colocado el refuerzo, se coloca el encofrado y se coloca el nuevo concreto

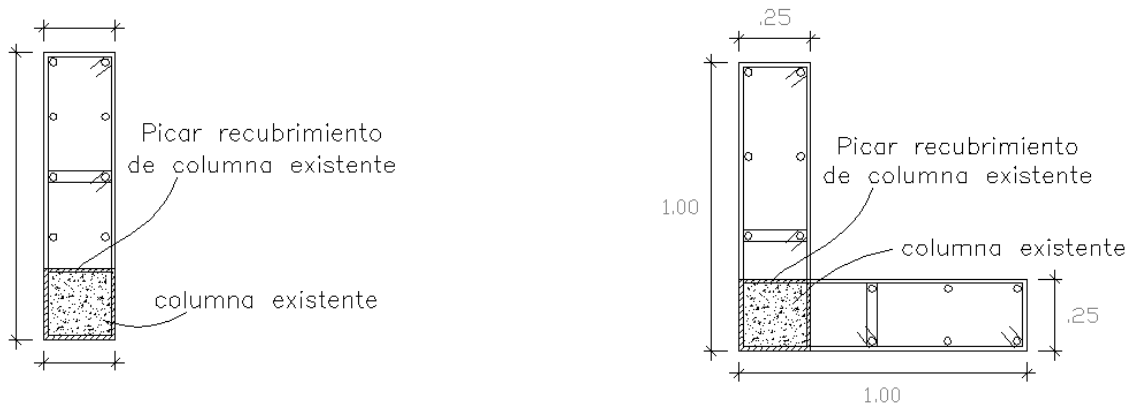


Figura 87. Detalle de reforzamiento para columna existente y esquinera

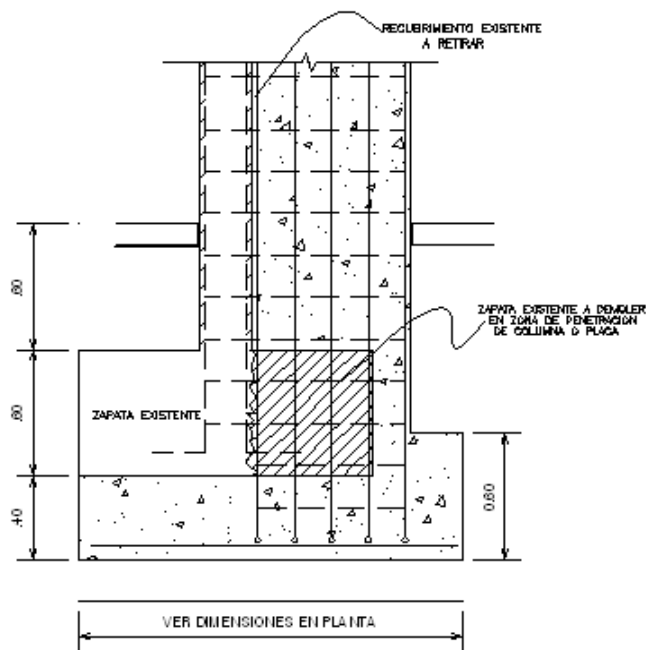


Figura 88. Detalle de reforzamiento de zapata para columna

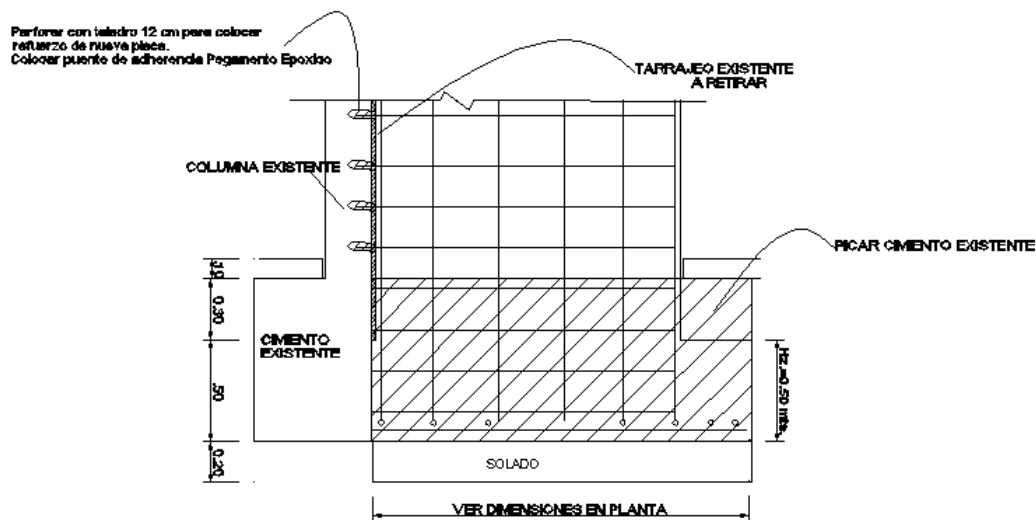
Reforzamiento de Zapata Existente de Columna

Quando se refuerza un muro o una columna, es necesario incrementar la sección de su cimentación ya que la inclusión del elemento generará momentos mayores sobre la base del elemento estructural. Así la cimentación existente no será lo suficiente eficiente para tomar las nuevas cargas, por esta razón la sección de cimiento debe incrementarse. La Figura 88 muestra un detalle típico para el reforzamiento de una columna. Aquí como se observa,

parte del cimiento existente debe ser demolido, con la finalidad de dar paso al incremento de la sección de la cimentación. Al igual que en el caso de la columna será necesario el uso de resinas epóxicas para pegar el concreto existente con el nuevo concreto, al igual que la fijación de la nueva armadura del elemento a reforzar.

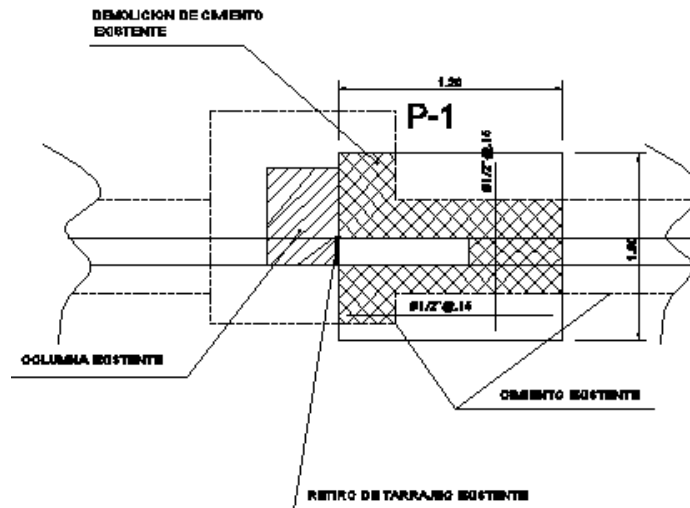
Inclusión de Muros de Concreto a partir de Columnas Existentes

En este caso es necesario considerar un buen amarre entre el elemento placa y la columna existente. Por este motivo deben usarse barras de transferencia a través de cajuelas que deben calarse sobre la columna existente, y asimismo realizar un incremento del tamaño de la cimentación de los elementos. La Figura 89 presenta un detalle donde se puede observar las cajuelas para colocar el puente de adherencia con barra de transferencia que sirva de anclaje entre la nueva armadura y la columna existente. Asimismo aquí se debe de intervenir al cimiento de manera que pueda incluirse la cimentación de la nueva placa. La Figura 90 muestra un detalle en planta del cimiento incluido para la placa, de manera que el cimiento existente y el cimiento nuevo puedan integrarse.



DETALLE TÍPICO DE CIMENTACION DE PLACA

Figura 89. Detalle de refuerzo de columna con placa y su cimentación



DETALLE DE CIMENTACION DE PLACA DE REFUERZO D-1

Figura 90. Detalle de la cimentación de la placa visto en planta

Conclusiones y recomendaciones para el reforzamiento de edificaciones

- Considerando los resultados del estudio de vulnerabilidad sísmica, se encontró que el 92.6% de las edificaciones del distrito de El Agustino son de mampostería (albañilería) de ladrillo, seguido por un 6.1% de edificaciones de concreto. La representatividad de la muestra nos orienta a mostrar aquellas técnicas apropiadas para el reforzamiento de viviendas de mampostería y asimismo de edificaciones de concreto.
- Los resultados del estudio de riesgo sísmico de los sectores estudiados y considerando los lotes representativos de la muestra, identifican que los niveles de daño I y II (con costo de reparación inferior al 30%) demandan inversiones menores en la reparación. Los Niveles de daño III, IV y V, que serían aquellos que demanden intervención para su reforzamiento. Así por ejemplo de las 297 manzanas estudiadas para edificaciones de mampostería, 11 manzanas necesitarían algún tipo de intervención. En el caso de las edificaciones de concreto 2 manzanas requerirían de una intervención de reforzamiento.
- Se presentan técnicas para el reforzamiento de muros, columnas y cimentaciones, típicas de un reforzamiento en viviendas de albañilería. Siguiendo estas recomendaciones y con la asesoría de un ingeniero estructural se lograra disminuir el riesgo en estas edificaciones.



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

4.1. Acerca de la Vulnerabilidad de sistemas de agua

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

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

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

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

4.2. Planta de Tratamiento de la Atarjea

La planta de tratamiento de la Atarjea es la única planta de abastecimiento de agua potable de la ciudad de Lima. Capta el agua del río Rímac (ver Figura 91) en la bocatoma que se ve arriba a la izquierda, la almacena en los dos grandes reservorios que se ve en la parte inferior derecha y la purifica en múltiples estanques decantadores (vea ítem 7 del gráfico).

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



Figura 91. Esquema de la planta de tratamiento de la Atarjea

Dentro de este proceso en el año 2005, por encargo de SEDAPAL, CISMID-UNI desarrolla el estudio de vulnerabilidad sísmica de las estructuras de los decantadores de la planta de tratamiento de la Atarjea (ver Figura 94). En este estudio se identificaron daños en los muros de los decantadores (los cuales ya habían sido reforzados en la década del 60) y asimismo se pudo determinar la pérdida del refuerzo por oxidación de las varillas (ver Figura 93). Se extrajeron núcleos de concreto endurecido con la finalidad de conocer la calidad actual del material (ver Figura 92)



Figura 92. Extracción de testigos de concreto endurecido. Obsérvese la corrosión en el muro



Figura 93. Corrosión del refuerzo en los muros de los decantadores.



Figura 94. Vista de un decantador

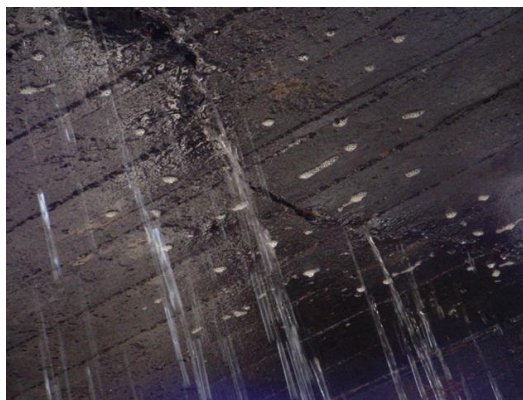


Figura 95. Fisuras en canal de salida del decantador.

Se pudo observar la existencia de fisuras en canales de salida del decantador (Figura 95), y en adición a esto corrosión de su refuerzo.

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

sismo severo. En la Figura 96 el modelo matemático de la estructura de un decantador típico de la planta de la Atarjea de SEDAPAL.



Figura 96. Idealización matemática del decantador

4.3. Sistema de Agua y Alcantarillado

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

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

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

La información en formato CAD se exportó a una plataforma SIG donde se integró una base de datos que contiene la información mostrada en Tabla 6 y el mapa se presenta en el Anexo I en el mapa No. E-11.



Tabla 6. Descripción de la base de datos del sistema de distribución de agua para el distrito de El Agustino

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

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

$$Rm(v) = C_p \cdot C_d \cdot C_g \cdot CI \cdot R(v) \quad (1)$$

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 del tubo, diámetro, condición geológica, y ocurrencia de licuefacción, respectivamente, siendo v la velocidad máxima en el sector (PGV). El valor de $R(v)$ se estima para una tasa de daño en tuberías de hierro fundido (CIP) con rango de diámetros entre 100–150 mm. en base a una regresión de valores de la base de datos de los tubos dañados por sismo en el sistema:

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

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

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

Yamazaki y Maruyama asumieron que el valor de A se encuentra entre 0 y 30 cm/seg. y experimentaron análisis de regresión con cambios de A en intervalos de 5 cm/seg. Según los autores consideran que el valor de A debe ser 15 cm/seg, pues con este valor la correlación entre PGV y la tasa de daño atenuada produce un valor máximo. Así, la constante A produce el mínimo PGV que causa daños en un sistema de distribución de

agua. Los resultados presentados por Isoyama indican que los sistemas de distribución fallarían con PGV mayores a 15 cm/seg. Diversos autores proponen factores de b, c y A que originan diferencia mínima en el diagnóstico. Por ejemplo en el caso de la ciudad de Tokio los valores particulares de los factores producen la siguiente fórmula:

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

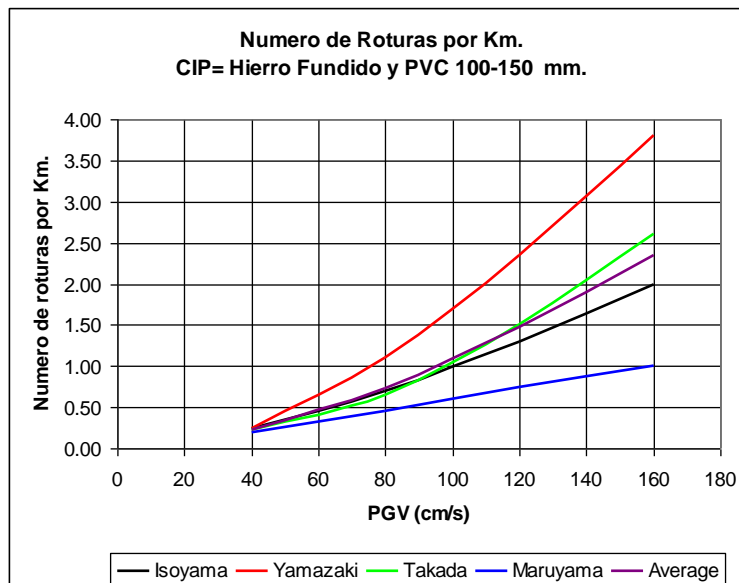


Figura 97. Roturas por Km. en tubos CIP y PVC

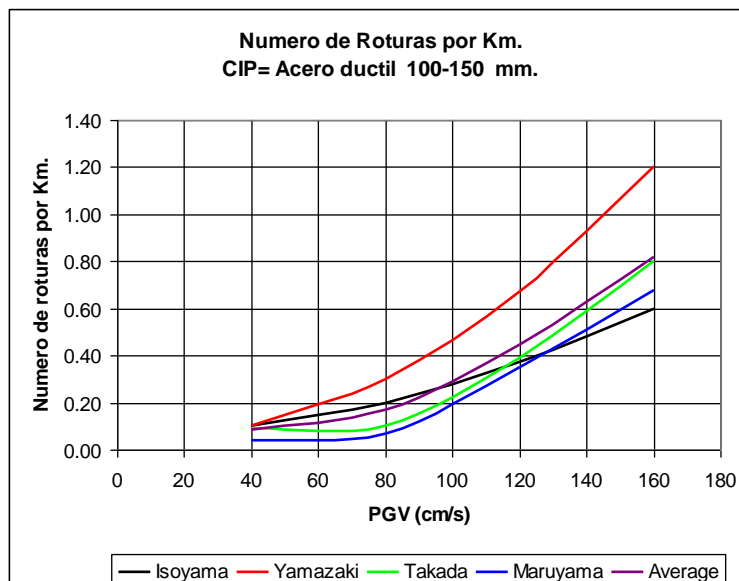


Figura 98: Roturas por Km. En tubos de acero dúctil

La Figura 97 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 99, para mostrar un escenario más desfavorable.

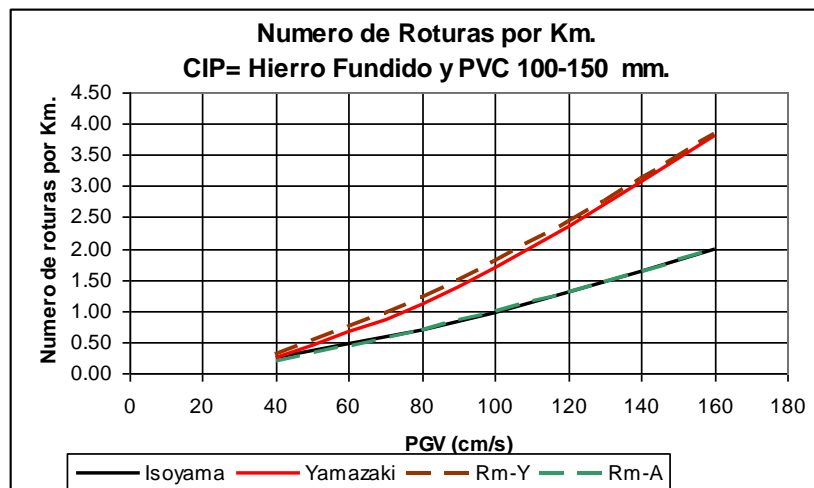


Figura 99: Curvas extremas de tasa de daño en CIP y PVC

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:

$$R(v) = 3.00 \times 10^{-3} \cdot (v - 15)^{1.305} \tag{5}$$

En forma similar, a los materiales presentados anteriormente, la Figura 98 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.

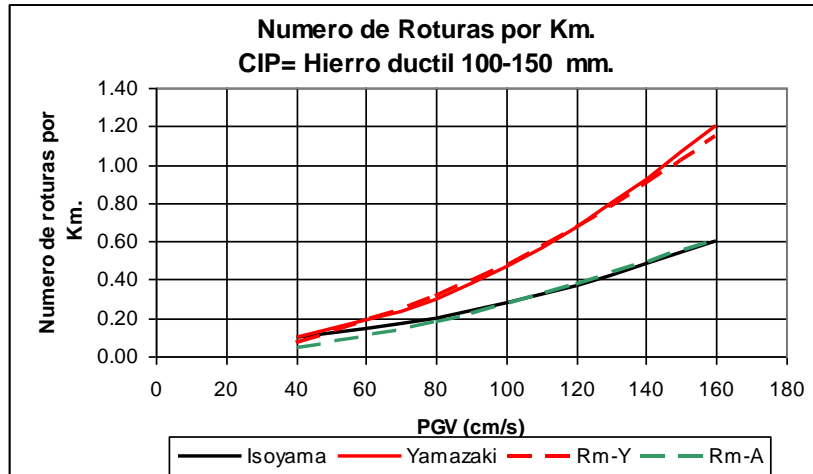


Figura 100: Curvas extremas de tasa de daño en tubería de hierro dúctil

Usando un procedimiento similar al presentado anteriormente, en la Figura 100 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:

$$R(v) = 2.00 \times 10^{-4} \cdot (v - 9)^{1.6} \quad (6)$$

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

4.4. Mapa de Tipo de Tubería de Agua

La Tabla 7 presenta los tipos de tubería por material que existen en el distrito de El Agustino. Esta información se ha preparado en base de la información proporcionada por SEDAPAL. La información presenta los tipos de tubería con el rango de diámetros utilizado, considerando la existencia de un diámetro más frecuente utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. Si observamos la última columna se presenta el porcentaje de tuberías por material, aquí puede leerse que las tuberías de PVC y asbesto cemento son las más usadas en la línea de conducción.

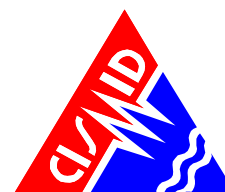


Tabla 7. Tipo de tuberías de agua en el distrito de El Agustino

Material	Cantidad	Long. Total (m)
Asbesto Cemento	2814	110656.88
Acero	21	500.81
Acero reforzado	21	4969.56
CAN	71	14508.18
Concreto reforzado	39	1096.71
Fierro fundido	23	1151.41
Fierro galvanizado	6	280.93
Hierro dúctil	49	4472.57
Concreto pretensado	22	4646.06
PVC	2680	84533.14

4.5. Mapa de Roturas para un Escenario Sísmico

Considerando los criterios de evaluación de Yamazaki e Isoyama fue evaluado el número de roturas por kilómetro de tubería para cada tipo de material. Basado en esta aproximación es posible conocer el número de roturas total sobre la línea de conducción, para ambos criterios. Puede leerse que bajo el criterio de Yamazaki se obtiene un mayor número de roturas que al usar el criterio de Isoyama. En el Mapa No. E-12 (ver reproducción en la Figura 101) y el Mapa No. E-13 (ver reproducción en la Figura 102) se presentan los daños probables según la metodología de Yamazaki e Isoyama, respectivamente.

En la Figura 101 y Figura 102 las líneas en color rojo, indican las tuberías de abastecimiento de agua, en zonas donde se espera las mayores velocidades de propagación de ondas de sismo, que originarían las roturas. Asimismo en color amarillo aparecen aquellas líneas de agua en zonas con velocidades de onda intermedia y con número de roturas intermedias. Finalmente en color verde aparecen las líneas de agua con menor número de roturas. La Tabla 8 se presenta un resumen de los resultados.

Tabla 8. Respuesta de las tuberías frente a un evento sísmico severo en el Distrito de El Agustino

Material	Longitud (km)	Rot. x km (Yamazaki)	Rot. Totales (Yamazaki)	Rot. x km (Isoyama)	Rot. Totales (Isoyama)
Asbesto Cemento	110.66	0.9720	108	0.855	95
Acero	0.50	0.2520	0	0.182	0
Acero reforzado	4.97	0.3090	2	0.211	1
CAN	14.51	0.2870	4	0.200	3
Concreto reforzado	1.10	0.3710	0	0.242	0
Fierro fundido	1.15	0.3500	0	0.232	0
Fierro galvanizado	0.28	0.3710	0	0.242	0
Hierro dúctil	4.47	0.3080	1	0.210	1
Concreto pretensado	4.65	0.3390	2	0.226	1
PVC	84.53	0.9670	82	0.852	72

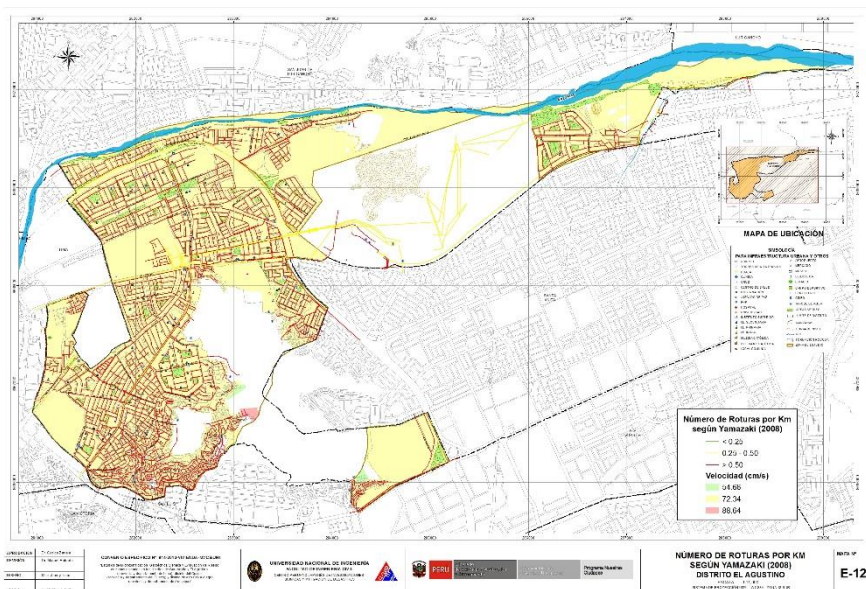


Figura 101. Roturas por criterio de Yamazaki (2008)

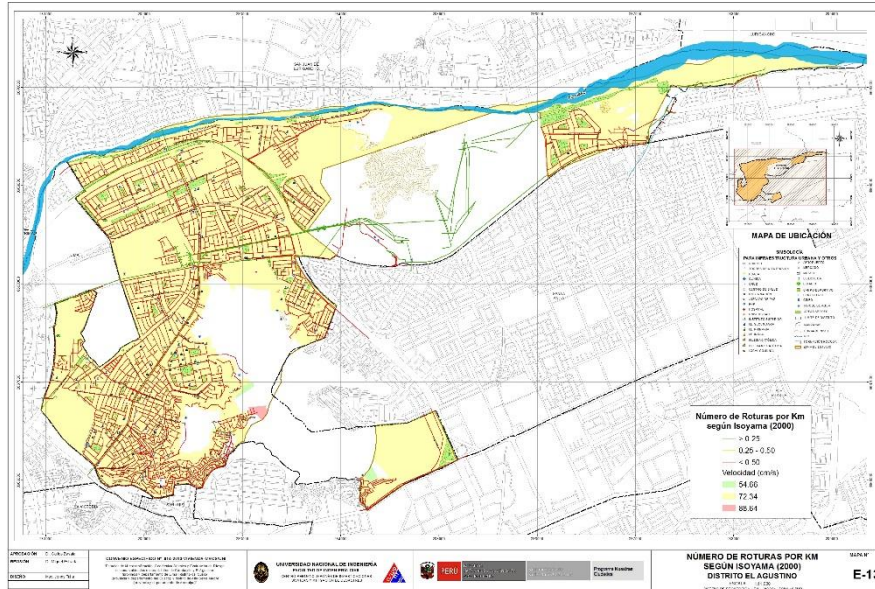


Figura 102. Roturas por criterio de Isovama (2000)



Conclusiones y recomendaciones del diagnóstico preliminar del sistema de agua

- Basados en el levantamiento de daños del estudio realizado por CISMID el año 2005, y en el desarrollo del modelo matemático de las estructuras de la planta de tratamiento de la Atarjea donde se utilizó como sismo de diagnóstico los sismos de Lima 9/10/1974 y 17/10/1966, se determinó la respuesta sísmica para las condiciones de los decantadores, encontrándose que 5 de los decantadores son vulnerables, ya que los esfuerzos sobre sus muros no podrían soportar una demanda de sismo severo.
- Para la evaluación de la vulnerabilidad de las líneas de conducción de agua del distrito de El Agustino, fue necesario preparar la información proporcionada por SEDAPAL, para establecer el tipo de tubería por material y diámetro más utilizado en las líneas de conducción con su longitud total expresada en kilómetros. Se encontró que el 48.8% de las tuberías son de asbesto cemento, siendo las más usadas en la línea de conducción, seguidas por las tuberías PVC que representan un 37.3%. Asimismo las líneas de conducción de hierro dúctil representan el 2.0% de la red en el distrito.
- Considerando la metodología planteada por investigadores japoneses, se tomaron las curvas de Yamazaki e Isoyama para diagnosticar el número de roturas en la línea de conducción de agua del distrito de El Agustino en función del diámetro y tipo de material. Mediante la metodología de Yamazaki se encontró que en el caso de un evento severo 108 locaciones con tuberías de asbesto cemento sufrirían roturas, mientras que existirían 82 locaciones en tuberías de PVC con roturas y 1 locación con roturas en tubos de hierro dúctil. Debe notarse que las condiciones del suelo con altas velocidades producen movimientos sumamente severos en el escenario de sismo severo propuesto.
- En cuanto a zonas de mayor concentración de daño por roturas de los sistemas de agua y alcantarillado del distrito de El Agustino, podemos afirmar, que en todos los sectores existe daño con una (01) rotura promedio por kilómetro, considerando ,la tuberías predominantes (asbesto cemento y PVC).
- Es recomendable que SEDAPAL implemente una base de datos de las roturas en tuberías de agua y alcantarillado, tomando en cuenta la variable tiempo, ya que para el estudio de los sistemas de agua y alcantarillado es necesario conocer los tipos de tubería, material, tipo de junta, rango de diámetros y tener una base de datos de las roturas originadas por sismos severos en el tiempo y cambios de tuberías en el tiempo. Con una base de datos en estos términos sería posible realizar diagnósticos de las roturas con mayor precisión.



UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL

CENTRO PERUANO-JAPONÉS DE INVESTIGACIONES
SÍSMICAS Y MITIGACIÓN DE DESASTRES



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



5. REFERENCIAS

- [1]. Approximate Lateral Drift Demands in Multistory Buildings with Non uniform Stiffness - Eduardo Miranda and Carlos J. Reyes Journal of Structural Engineering ASCE / July 2002.
- [2]. Approximate lateral deformation demands in multistory buildings - Miranda, E. (1999). Journal of Structural Engineering ASCE. /1999.
- [3]. Estimación rápida de la Respuesta Sísmica en base a sistemas de un grado de libertad para el 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]. Damage Estimation of Water Distribution Pipes following recent earthquakes in Japan – Y. Maruyama and F. Yamazaki – Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUUE) /March 2010.
- [9]. Post Quake Microzoning Study On Pisco and Tambo De Mora Due To August 15th 2007 Pisco Quake – C. Zavala, Z. Aguilar, and M. Estrada– Joint Conference Proceedings 7th International Conference on Urban Earthquake Engineering (7CUUE) /March 2010.