

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA
UNIDAD DE POSGRADO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

**“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA MEDIANTE MÉTODOS
ESPECTRALES EN EDIFICACIONES DE BAJA ALTURA”**

**PARA OBTENER GRADO ACADÉMICO DE MAESTRO EN CIENCIAS EN
INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN ESTRUCTURAS**

ELABORADO POR:

Ing. MARIA ESTHER SÁNCHEZ LLATAS

ASESOR:

Dr. JORGE OLARTE NAVARRO

Lima- Perú

2024

“EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA MEDIANTE MÉTODOS
ESPECTRALES EN EDIFICACIONES DE BAJA ALTURA”

Ing. MARÍA ESTHER SÁNCHEZ LLATAS

Presentado a la Unidad de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil en
cumplimiento parcial de los requerimientos para el grado académico de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA CIVIL CON MENCIÓN EN
ESTRUCTURAS

DE LA

UNIVERSIDAD NACIONAL DE INGENIERÍA

2024

Autor : Ing. María Esther Sánchez Llatas

Recomendado : Dr. Jorge Olarte Navarro
Asesor de la Tesis

Aceptado por : Dra. Heddy Marcela Jiménez Yabar
Directora (e) de la Unidad de Posgrado

© 2024; Universidad Nacional de Ingeniería. Todos los derechos reservados ó el
autor autoriza a la UNI-FIC a reproducir la tesis en su totalidad o en partes.



DEDICATORIA

A mi padre, por ser mi ejemplo a seguir como persona y profesional, con toda mi gratitud, admiración y respeto.

A mi madre, por ser la fuerza que me impulsa a alcanzar mis objetivos.



AGRADECIMIENTOS

Quiero expresar mi más profundo agradecimiento a mi asesor de tesis Dr. Jorge Olarte Navarro por su dedicación, paciencia y apoyo constante. Su dirección académica, ha sido fundamental para la elaboración de este trabajo de investigación. Asimismo, quiero expresar mi reconocimiento y gratitud a los revisores de tesis, al Dr. Hugo Scaletti Farina y al Dr. Edison Moscoso Alcántara, cuyas observaciones y comentarios han sido esenciales para la consolidación de este trabajo.



ÍNDICE

DEDICATORIA	iii
AGRADECIMIENTOS	iv
ÍNDICE	v
LISTA DE TABLAS	ix
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS	xvii
RESUMEN	xxii
ABSTRACT.....	xxiv
PRÓLOGO	xxvi
CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES.....	1
1.1 Identificación y descripción del problema de estudio	1
1.2 Formulación del problema.....	2
1.2.1 Formulación del problema general.....	2
1.2.2 Formulación de los problemas específicos.....	2
1.3 Justificación del estudio.....	2
1.3.1 Justificación social y económica.....	2
1.3.2 Justificación teórica.....	2
1.3.3 Justificación práctica.....	3
1.3.4 Justificación metodológica.....	3
1.4 Alcance del estudio	3
1.4.1 Temático	3
1.4.2 Espacial.....	3
1.4.3 Temporal.....	3
1.5 Objetivo de la investigación	3
1.5.1 Objetivo general.....	3
1.5.2 Objetivos específicos.....	3
1.6 Hipótesis	4



1.6.1	Formulación de la hipótesis general.....	4
1.6.2	Formulación de las Hipótesis específicas	4
1.7	Variables	4
1.7.1	Variables independientes	4
1.7.2	Variables dependientes	5
1.8	Diseño Metodológico	5
1.8.1	Tipo de investigación	5
1.8.1.1	Por enfoque.....	5
1.8.1.2	Por nivel	5
1.8.2	Población y muestra	6
1.8.3	Técnicas e instrumentos de recolección de datos	6
1.8.4	Técnicas de análisis y procesamiento de datos	7
CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO		8
2.1	Antecedentes de la investigación	8
2.2	Marco teórico	9
2.2.1	Sismología	9
2.2.1.1	Fuentes principales.....	9
2.2.1.2	Características de los sismos.....	10
2.2.1.3	Sismicidad local y global.....	12
2.2.1.4	Evaluación de la sismicidad	15
2.2.2	Vulnerabilidad Sísmica	18
2.2.2.1	Riesgo sísmico.....	18
2.2.2.2	Amenaza sísmica.....	19
2.2.2.3	Daño sísmico	19
2.2.3	Efectos del terreno.....	20
2.2.3.1	Método de Nakamura	22
2.2.4	Métodos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica.....	25
2.2.4.1	Método estadístico.....	25
2.2.4.2	Método mecánico.....	25



2.2.4.3	Método basado en juicio de expertos.....	26
2.2.5	Desempeño sísmico de las edificaciones	26
2.2.5.1	VISION 2000 (SEAOC,1995)	27
2.2.5.2	ATC-40 (1996)	29
2.2.5.3	FEMA 356(2000).....	31
2.2.6	Modelo constitutivo de los materiales	32
2.2.6.1	Concreto.....	32
2.2.6.2	Acero de refuerzo	33
2.2.7	Método simplificado de Miranda.....	33
2.2.7.1	Análisis no lineal estático.....	36
2.2.7.2	Factores de corrección para distorsiones	43
2.2.8	Método de índice de vulnerabilidad de Nakamura.....	44
2.2.8.1	Evaluación de la vulnerabilidad de la edificación.....	44
2.2.8.2	Evaluación de la vulnerabilidad a nivel del suelo.....	47
2.3	Definición de términos	49
CAPÍTULO III. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA		50
3.1	Descripción del lugar de estudio	50
3.2	Geología del distrito de Villa El Salvador	51
3.3	Características geotécnicas del distrito de Villa El Salvador	52
3.3.1	Perfil Estratigráfico.....	52
3.4	Características dinámicas del suelo del distrito de Villa El Salvador	53
3.4.1	Ensayo de MASW	53
3.4.2	Ensayo de microtemores.....	54
3.5	Clasificación de las edificaciones en el distrito de Villa El Salvador	65
3.5.1	Descripción de las viviendas	66
CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SISMICA		85
4.1	Método simplificado de Miranda.....	85
4.1.1	Viviendas seleccionadas	86
4.1.2	Modelamiento estructural de las viviendas seleccionadas	97



4.1.3	Aplicación del Método Simplificado de Miranda.....	102
4.2	Método del índice de la vulnerabilidad de Nakamura (2008)	115
4.2.1	Viviendas seleccionadas	116
4.2.1.1	Aplicación del método de índice de vulnerabilidad (2008)	118
4.3	Vulnerabilidad estructural	134
CAPÍTULO V. ANÁLISIS DEL RIESGO SÍSMICO		138
5.1	Pérdida máxima probable (PML).....	138
CONCLUSIONES		143
RECOMENDACIONES.....		145
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		147
ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA		153
ANEXO B. DETALLE DE LAS PLANTAS Y SECCIONES		154
ANEXO C. PLANOS DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR		157
ANEXO D. FORMATOS PARA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN		158
ANEXO E. LEVANTAMIENTO DE VIVIENDAS		161
ANEXO F. PANEL FOTOGRÁFICO		167



LISTA DE TABLAS

Tabla N° 2.1 Método de análisis espectrales	22
Tabla N° 2.2 Demanda sísmica propuesta por VISION 2000 (SEAO, 1995) ...	27
Tabla N° 2.3 Niveles de desempeño propuesto por VISION 2000 (SEAO, 1995)	28
Tabla N° 2.4 Demanda sísmica	31
Tabla N° 2.5 Matriz de desempeño	32
Tabla N° 2.6 Daño y estado de daño para muros de albañilería propuesto por	43
Tabla N° 2.7 Evaluación rápida de edificaciones según FEMA-154 (2002).....	44
Tabla N° 2.8 Factor de castigo determinado por juicio de expertos	44
Tabla N° 3.1 Límites del distrito de Villa El Salvador	50
Tabla N° 3.2 Velocidades de onda S en el distrito de Villa El Salvador	53
Tabla N° 3.3 Ubicación de los puntos usados para el ensayo de microtemores	55
Tabla N° 3.4 Frecuencias y periodos predominantes del terreno – Villa El Salvador	64
Tabla N° 3.5 Clasificación de las edificaciones para el distrito de Villa El Salvador	66
Tabla N° 3.6 Resumen de la recopilación de información para el Sector I	68
Tabla N° 3.7 Resumen de la recopilación de información para el Sector II	71
Tabla N° 3.8 Resumen de la recopilación de información para el Sector III	75
Tabla N° 3.9 Resumen de la recopilación de información para el Sector IV.....	78
Tabla N° 3.10 Resumen de la recopilación de información para el Sector V.....	81
Tabla N° 3.11 Resumen de la recopilación de información para el Sector VI.....	84
Tabla N° 4.1 Parámetros sísmicos establecidos en la norma E.030 (2018)	102
Tabla N° 4.2 Pseudo aceleración y periodos predominantes para cada nivel de las viviendas	103
Tabla N° 4.3 Cálculo de valores β_1 para cada nivel y vivienda.....	105
Tabla N° 4.4 Cálculo de valores β_2 para cada nivel y vivienda	108
Tabla N° 4.5 Cálculo de valores β_3 y β_4 para cada nivel y vivienda	110
Tabla N° 4.6 Distorsiones calculadas por el método simplificado de Miranda..	114
Tabla N° 4.7 Valores de amplitudes para cada piso obtenido por el Método de Nakamura- Dirección X.....	129



Tabla N° 4.8 Valores de amplitudes para cada piso obtenido por el Método de Nakamura- Dirección Y.....	129
Tabla N° 4.9 Valores de frecuencias y periodo fundamental para cada nivel- Dirección X.....	129
Tabla N° 4.10 Valores de frecuencias y periodo fundamental para cada nivel- Dirección Y.....	129
Tabla N° 4.11 Valores de variación de amplitudes – Dirección X	130
Tabla N° 4.12 Valores de variación de amplitudes – Dirección Y	130
Tabla N° 4.13 Índices de vulnerabilidad de Nakamura – Dirección X.....	130
Tabla N° 4.14 Índices de vulnerabilidad de Nakamura- Dirección Y.....	130
Tabla N° 4.15 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-	132
Tabla N° 4.16 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-	132
Tabla N° 4.17 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-	132
Tabla N° 4.18 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-	133
Tabla N° 4.19 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-	133
Tabla N° 4.20 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-	133
Tabla N° 4.21 Valores asociado al daño de la edificación (Proyecto APESEG- CISMID, 2004)	134
Tabla N° 4.22 Daño de cada vivienda analizada en base al método simplificado de Miranda para el escenario sísmico de diseño.	136
Tabla N° 4.23 Daño para las cuatro viviendas analizadas por los métodos de Miranda y Nakamura para el escenario sísmico de diseño (Resultados según el método simplificado de Miranda)	136
Tabla N° 4.24 Daño para las cuatro viviendas analizadas por los métodos de Miranda y Nakamura para el escenario sísmico de diseño (Resultados según el método simplificado de Nakamura)	136
Tabla N° A.1 Matriz de consistencia.....	153



LISTA DE FIGURAS

Figura N° 2.1 Características de los sismos.....	11
Figura N° 2.2 Tipos de ondas sísmicas	12
Figura N° 2.3 Regiones volcánicas.....	13
Figura N° 2.4 Mapa de peligrosidad sísmica global	14
Figura N° 2.5 Dirección de convergencia de las placas.....	15
Figura N° 2.6 Efectos del terreno o sitio	21
Figura N° 2.7 Perfil estratigráfico real y equivalente del sitio.....	22
Figura N° 2.8 Método de razón espectral H/V de Nakamura.....	24
Figura N° 2.9 Curva de desempeño propuesta por VISION 2000 (SEAOC, 1995).....	29
Figura N° 2.10 Curvas de desempeño	30
Figura N° 2.11 Modelo constitutivo de Mander para concreto confinado y no confinado	33
Figura N° 2.12 Modelo constitutivo del acero de refuerzo	33
Figura N° 2.13 Índices β para el rango elástico e inelástico	34
Figura N° 2.14 Patrón de cargas frente a una estructura	37
Figura N° 2.15 Transformación a términos espectrales de la curva capacidad ..	39
Figura N° 2.16 Sistema de múltiples grados de libertad	39
Figura N° 2.17 Equivalencia de MDOF a SDOF	40
Figura N° 2.18 Obtención del punto de desempeño	42
Figura N° 2.19 Parámetros de una estructura δ , h, A en base al método de Nakamura	46
Figura N° 2.20 Determinación de distorsiones en la estructura y el suelo	47
Figura N° 2.21 Deformaciones de corte para las superficies del suelo	47
Figura N° 3.1 Mapa del distrito de Villa El Salvador- Lima	51
Figura N° 3.2 Velocidades de onda S para el distrito de Villa El Salvador.....	54
Figura N° 3.3 Puntos de medición del ensayo de microtemores.....	57
Figura N° 3.4 Ubicación de viviendas analizadas	58
Figura N° 3.5 Registro de datos de microtemores para el punto 1 del distrito de Villa El Salvador	59
Figura N° 3.6 Relación espectral H/V para el punto 01-VES.....	59
Figura N° 3.7 Relación espectral H/V para el punto 02-VES.....	59
Figura N° 3.8 Relación espectral H/V para el punto 03-VES.....	60



Figura N° 3.9 Relación espectral H/V para el punto 04-VES.....	60
Figura N° 3.10 Relación espectral H/V para el punto 05-VES.....	60
Figura N° 3.11 Relación espectral H/V para el punto 06-VES.....	60
Figura N° 3.12 Relación espectral H/V para el punto 07-VES.....	60
Figura N° 3.13 Relación espectral H/V para el punto 08-VES.....	60
Figura N° 3.14 Relación espectral H/V para el punto 09-VES.....	61
Figura N° 3.15 Relación espectral H/V para el punto 10-VES.....	61
Figura N° 3.16 Relación espectral H/V para el punto 11-VES.....	61
Figura N° 3.17 Relación espectral H/V para el punto 12-VES.....	61
Figura N° 3.18 Relación espectral H/V para el punto 13-VES.....	61
Figura N° 3.19 Relación espectral H/V para el punto 14-VES.....	61
Figura N° 3.20 Relación espectral H/V para el punto 15-VES.....	62
Figura N° 3.21 Relación espectral H/V para el punto 16-VES.....	62
Figura N° 3.22 Relación espectral H/V para el punto 17-VES.....	62
Figura N° 3.23 Relación espectral H/V para el punto 18-VES.....	62
Figura N° 3.24 Relación espectral H/V para el punto 19-VES.....	62
Figura N° 3.25 Relación espectral H/V para el punto 20-VES.....	62
Figura N° 3.26 Relación espectral H/V para el punto 21-VES.....	63
Figura N° 3.27 Relación espectral H/V para el punto 22-VES.....	63
Figura N° 3.28 Relación espectral H/V para el punto 23-VES.....	63
Figura N° 3.29 Mapa de isoperiodos para el distrito de Villa El Salvador	65
Figura N° 3.30 Sector I - Grupo 1 - Distrito de Villa El Salvador.....	67
Figura N° 3.31 Viviendas seleccionadas del Sector I - Grupo 1	67
Figura N° 3.32 Formato para el levantamiento de información del Sector I.....	68
Figura N° 3.33 Sector II - Grupo 1 - Distrito de Villa El Salvador.....	70
Figura N° 3.34 Viviendas seleccionadas del Sector II - Grupo 1	70
Figura N° 3.35 Formato para el levantamiento de información del Sector II.....	71
Figura N° 3.36 Sector III - Grupo 8 - Distrito de Villa El Salvador.....	73
Figura N° 3.37 Viviendas seleccionadas de la Sector III - Grupo 8.....	73
Figura N° 3.38 Formato para el levantamiento de información del Sector III.....	74
Figura N° 3.39 Sector IV - Etapa 1 - Distrito de Villa El Salvador.....	76
Figura N° 3.40 Viviendas seleccionadas del Sector IV - Etapa 1	77
Figura N° 3.41 Formato para el levantamiento de información del Sector IV	77
Figura N° 3.42 Sector V - Grupo Virgen de Cocharcas - Distrito de Villa El Salvador.....	78

Figura N° 3.43 Viviendas seleccionadas del Sector V - Grupo Virgen de Cocharcas.....	79
Figura N° 3.44 Formato para el levantamiento de información del Sector V	80
Figura N° 3.45 Sector VI- Grupo 1 Distrito de Villa El Salvador	81
Figura N° 3.46 Viviendas seleccionadas de la Sector VI- Grupo 1	82
Figura N° 3.47 Formato para el levantamiento de información del Sector VI	83
Figura N° 4.1 Diagrama de flujo aplicando el método simplificado de Miranda ..	86
Figura N° 4.2 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 01.....	87
Figura N° 4.3 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 02.....	88
Figura N° 4.4 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 03	89
Figura N° 4.5 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 04	90
Figura N° 4.6 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 05	91
Figura N° 4.7 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 06.....	92
Figura N° 4.8 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 07.....	93
Figura N° 4.9 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 08.....	94
Figura N° 4.10 Plano estructural del primer nivel de la vivienda N° 09	95
Figura N° 4.11 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 10	96
Figura N° 4.12 Relación esfuerzo deformación de Mander $f'c=175 \text{ kgf/cm}^2$	97
Figura N° 4.13 Relación esfuerzo deformación propuesta por Park y Paulay $f_y=4200 \text{ kgf/cm}^2$	98
Figura N° 4.14 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 01.....	98
Figura N° 4.15 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 02.....	99
Figura N° 4.16 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 03.....	99
Figura N° 4.17 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 04.....	99
Figura N° 4.18 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 05.....	100
Figura N° 4.19 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 06.....	100
Figura N° 4.20 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 07.....	100
Figura N° 4.21 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 08.....	101
Figura N° 4.22 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 09.....	101
Figura N° 4.23 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 10.....	101
Figura N° 4.24 Espectro de diseño en la dirección X/ Pórticos de concreto armado.....	102
Figura N° 4.25 Espectro de diseño en la dirección Y/ Albañilería	103
Figura N° 4.26 Valores de β_1 para sistema estructural pórticos de concreto armado en viviendas de Villa El Salvador	107

Figura N° 4.27 Valores de β_1 para sistema estructural albañilería en viviendas de Villa El Salvador	107
Figura N° 4.28 Valores de β_2 para sistema estructural pórticos de concreto armado en viviendas de Villa El Salvador	109
Figura N° 4.29 Valores de β_2 para sistema estructural albañilería en viviendas de Villa El Salvador	110
Figura N° 4.30 Valores de β_3 para sistema estructural pórticos de concreto armado en viviendas de Villa El Salvador	112
Figura N° 4.31 Valores de β_3 para sistema estructural albañilería en viviendas de Villa El Salvador	112
Figura N° 4.32 Valores de β_4 para sistema estructural pórticos de concreto armado en viviendas de Villa El Salvador	113
Figura N° 4.33 Valores de β_4 para sistema estructural albañilería en viviendas de Villa El Salvador	113
Figura N° 4.34 Diagrama de flujo para usar el método de índice de vulnerabilidad de Nakamura	115
Figura N° 4.35 Vivienda N° 02- Método de Nakamura	116
Figura N° 4.36 Vivienda N° 05- Método de Nakamura	116
Figura N° 4.37 Vivienda N° 09- Método de Nakamura	117
Figura N° 4.38 Vivienda N° 10- Método de Nakamura	117
Figura N° 4.39 Registro de las señales para la vivienda N°2: (a) primer nivel, (b) segundo nivel y (c) tercer nivel.	118
Figura N° 4.40 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 2:	119
Figura N° 4.41 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 2: (a) 2do nivel eje X, (b) 2do nivel eje Y, (c) 1er nivel eje X, (d) 1er nivel eje Y, (e) Dirección X y (f) Dirección Y.	120
Figura N° 4.42 Registro de las señales para la vivienda N°5: (a) primer nivel y (b) segundo nivel.	121
Figura N° 4.43 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 5:	122
Figura N° 4.44 Registro de las señales para la vivienda N°9: (a) primer nivel, (b) segundo nivel y (c) tercer nivel.	123
Figura N° 4.45 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 9:	124
Figura N° 4.46 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 9: (a) 2do nivel eje X, (b) 2do nivel eje Y, (c) 1er nivel eje X, (d) 1er nivel eje Y, (e) Dirección X y (f) Dirección Y.	125

Figura N° 4.47 Registro de las señales para la vivienda N°10: (a) primer nivel, (b) segundo nivel, (c) tercer nivel y (d) cuarto nivel.....	126
Figura N° 4.48 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 10:	127
Figura N° 4.49 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 10: (a) 3er nivel eje X, (b) 3er nivel eje Y, (c)2do nivel eje X, (d) 2do nivel eje Y, (e) 1er nivel eje X, (f) 1er nivel eje Y, (g) Dirección X y (h) Dirección Y.....	128
Figura N° 4.50 Periodos del suelo de las 4 viviendas analizadas	131
Figura N° 4.51 Curvas de daño para sistemas estructurales pórticos de concreto armado y albañilería	135
Figura N° 5.1 Diagrama de flujo para el cálculo de la pérdida máxima probable (PML) para viviendas en áreas urbanas.....	139
Figura N° 5.2 Curva de pérdida máxima probable (PML) para el distrito de Villa El Salvador	140
Figura N° 5.3 Curvas de pérdidas esperadas en viviendas de baja altura en el distrito de Villa El Salvador según los métodos de Nakamura y Miranda con respecto a la curva de PML	141
Figura N° B.1 Detalle de losa aligerada del primer nivel- vivienda N° 04.....	154
Figura N° B.2 Detalle de losa aligerada del primer nivel- vivienda N° 09.....	155
Figura N° B.3 Detalle de las secciones de las vigas de la vivienda N° 09	156
Figura N° C.1 Territorio de la Municipalidad de Villa El Salvador- Lima	157
Figura N° D.1 Formato de encuesta para viviendas -Página 1.....	158
Figura N° D.2 Formato de encuesta para viviendas – Página 2.....	159
Figura N° D.3 Formato de conteo de tipología de viviendas por manzana	160
Figura N° E.1 Levantamiento de información Sector N° 01- Villa El Salvador..	161
Figura N° E.2 Levantamiento de información Sector N° 02- Villa El Salvador..	162
Figura N° E.3 Levantamiento de información Sector N° 03- Villa El Salvador..	163
Figura N° E.4 Levantamiento de información Sector N° 04- Villa El Salvador..	164
Figura N° E.5 Levantamiento de información Sector N° 05- Villa El Salvador..	165
Figura N° E.6 Levantamiento de información Sector N° 06- Villa El Salvador..	166
Figura N° F.1 Punto de medición P4 en la vivienda N°02.....	167
Figura N° F.2 Punto de medición P5 en el terreno de la vivienda N°02	167
Figura N° F.3 Edificación de sistema estructural mixto en el distrito de Villa El Salvador.....	168



Figura N° F.4 Edificación de sistema estructural aporticado en el distrito de
Villa El Salvador 169

LISTA DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

SÍMBOLOS

A	: Amplitud.
A_o	: Amplitud de un movimiento sísmico particular.
A_g	: Amplificación asociada al registro obtenido del suelo.
A_i	: Amplitud asociada al periodo fundamental para el entrepiso i .
avK_b	: Índice de vulnerabilidad promedio de Nakamura.
a	: Aceleración del suelo.
C	: Factor de amplificación sísmica.
C_b	: Velocidad de las ondas S en la base.
$C(f)$: Caracterización del efecto de sitio.
C_s	: Velocidad de las ondas S en la superficie.
e	: Efectividad de movimiento del suelo en la estructura.
ϵ_c	: Deformación longitudinal del concreto a compresión.
ϵ_{co}	: Deformación longitudinal del concreto no confinado.
E_c	: Módulo de elasticidad del concreto.
E_{sec}	: Módulo secante del concreto.
ϵ_{sy}	: Deformación asociada a la fluencia del acero.
ϵ_{sh}	: Deformación de endurecimiento del acero.
ϵ_{su}	: Deformación asociada al estado último del acero.
ϵ	: Deformación unitaria.
ϵ_μ	: Deformación asociada al esfuerzo máximo(μ).
f	: Frecuencia.
f_c	: Esfuerzo de compresión del concreto.
f'_{cc}	: Esfuerzo de compresión del concreto confinado.



f'_{co}	: Esfuerzo de compresión del concreto no confinado.
f_{sy}	: Esfuerzo de fluencia para el acero.
f_{su}	: Esfuerzo último para el acero.
$F_H(f)$: Espectro de las ondas lejanas.
$F_R(f)$: Espectro de las ondas de Rayleigh.
F	: Frecuencia fundamental del sistema.
f'_m	: Esfuerzo de resistencia a la compresión del murete.
g	: Gravedad.
$H_b(f)$: Espectro de la componente horizontal en la base
$H_s(f)$: Espectro de la componente horizontal de la superficie
h_i	: Altura de entrepiso.
H	: Altura total de la edificación.
K_{bi}	: Índice de vulnerabilidad de Nakamura.
K_d	: Índice de vulnerabilidad para un elemento.
K_s	: Índice de vulnerabilidad para la estructura.
K_g	: Índice de vulnerabilidad del suelo.
K_i	: Rigidez de la estructura.
K_o	: Rigidez inicial de la estructura.
MM	: Mercalli Modificada
M_L	: Magnitud Local
M_w	: Magnitud Momento
M_s	: Magnitud Superficial
m_b	: Magnitud de las ondas de cuerpo
m_d	: Magnitud de duración
N	: Número de pisos de la edificación.



$PFR1$: Factor de participación modal asociado al primer modo de vibración.
R	: Coeficiente de reducción sísmica.
S	: Factor de suelo.
S_{ai}	: Pseudo aceleración asociado al modo i .
$S(f)$: Espectro de sitio
S_d	: Desplazamiento espectral.
T	: Periodo.
U	: Factor de uso.
V_o	: Cortante basal de la estructura.
$V_B(f)$: Espectro de la componente vertical en el basamiento.
$V_s(f)$: Espectro de la componente vertical de la superficie.
W	: Peso de la edificación.
Z	: Factor de zona.
α	: Aceleración efectiva.
β_i	: Amortiguamiento asociado al modo i
β_1	: Relación del desplazamiento máximo y el espectral.
β_2	: Relación de máxima distorsión y distorsión global.
β_3	: Relación del desplazamiento máximo no lineal y lineal.
β_4	: Transferencia del desplazamiento máximo.
γ_i	: Peso Específico.
Δ_y	: Desplazamiento de fluencia.
Δ_p	: Capacidad del desplazamiento inelástico.
Δ_u	: Desplazamiento último.
γ_i	: Distorsión inelástica.
γ_e	: Distorsión elástica.



- Δ_{techo} : Desplazamiento del techo.
- μ_d : Ductilidad.
- Φ_i : Vector modal asociado al modo i.
- δ_i : Desplazamiento total del nivel i.
- γ_g : Deformaciones de corte en la superficie del suelo.



SIGLAS

ATC	: Consejo de Tecnología Aplicada
CISMID	: Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres
FEMA	: Agencia Federal para el Manejo de Emergencias
FIC	: Facultad de Ingeniería Civil
ISTC	: Instituto de Ciencia y Tecnología de la Construcción
MASW	: Análisis Multicanal de Ondas de Superficie
MDOF	: Sistema de múltiples grados de libertad
NAVFAC	: Departamento de la Marina de Estados Unidos
NTE	: Norma Técnica de Edificaciones
ONU	: Organización de las Naciones Unidas
PGA	: Aceleración Máxima del Suelo
SDOF	: Sistema de un grado de libertad
SEAOC	: Asociación de Ingenieros Estructurales de California
UNI	: Universidad Nacional de Ingeniería

RESUMEN

La presente investigación se desarrolló con la finalidad de conocer la vulnerabilidad estructural de edificaciones de baja altura, siendo el sistema estructural predominante tipo albañilería confinada informal representando el 83 % de las viviendas en Lima Metropolitana (Zavala et al., 2019). Se han considerado en el análisis los dos sistemas estructurales predominantes en este tipo de viviendas: albañilería en una dirección longitudinal y pórticos de concreto armado en la dirección transversal.

La ciudad de Lima está ubicada en una zona altamente sísmica categorizada según la (NTE E.030-Diseño Sismorresistente, 2018) como Z4 por ubicarse entre las placas Nazca y Sudamericana. En adición, esta región atraviesa un silencio sísmico desde 1746 que conllevaría a grandes pérdidas humanas y materiales ante un evento sísmico de gran magnitud en orden de 8.6- 8.8 Mw. basado en el estudio de modelos para futuros mega terremotos en la ciudad de Lima (Pulido et al., 2015).

Si bien existen diversos métodos simplificados cuantitativos y cualitativos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones, en la presente investigación se utilizó el Método de Índice de Vulnerabilidad de Nakamura (Nakamura, 2008) y el Método Simplificado de Miranda (Miranda, 2005), obteniendo el grado de daño que sufren estas estructuras ante un evento sísmico.

Estos métodos son relativamente sencillos de aplicar y no requieren procedimientos complicados. El método de índice de vulnerabilidad de Nakamura no es destructivo y se pueden hacer las mediciones sin interrumpir actividades en la zona en estudio, lo cual es ideal para estudios en áreas urbanas y permite la implementación de estrategias de mitigación a bajo costo.

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica en edificaciones de baja altura se realizó el estudio de viviendas de albañilería confinada en el distrito de Villa El Salvador, seleccionando las edificaciones más representativas y que cuenten con sus respectivos planos. Así mismo, se realizó el estudio de microtemores en suelo y estructura, con la finalidad de encontrar los periodos predominantes de las viviendas evaluadas y con información de campo en diferentes puntos del área de estudio se obtuvo la curva de isoperiodos predominantes del suelo. De esta



manera se logró realizar el modelamiento de las viviendas considerando los parámetros obtenidos previamente en cada método.

En investigaciones previas en la aplicación del método de índice de vulnerabilidad de Nakamura se asumen valores de efectividad en los cálculos para diferentes estructuras. En esta investigación se ha determinado una efectividad promedio de 80% en la dirección X (pórticos) y 66% en la dirección Y (albañilería), estos valores son calculados y no asumidos.

En la evaluación de riesgo sísmico el porcentaje de pérdida para el sismo de diseño mediante el método de índice de vulnerabilidad de Nakamura es de 78% del costo total de las viviendas, mientras que para el método simplificado de Miranda es del 67% del costo total de las viviendas.



ABSTRACT

This research was developed with the purpose of knowing the structural vulnerability of low-rise buildings, with the predominant structural system being informal masonry, representing 83% of the homes in Metropolitan Lima (Zavala et al., 2019). The two predominant structural systems in this type of housing have been considered in the analysis: masonry in a longitudinal direction and reinforced concrete frames in the transverse direction.

The city of Lima is in a highly seismic zone categorized according to (NTE E.030-Diseño Sismorresistente, 2018) Z4 for being located between the Nazca and South American plates. In addition, since 1746 this region has gone a silence seismic, which would lead to great human and materials losses a seismic event of great magnitude in the order of 8.6-8.8 Mw. based on the study of (Pulido et a., 2015).

Although there are various simplified quantitative and qualitative methods for evaluating seismic vulnerability in buildings, in this research the Nakamura Vulnerability Index Method (Nakamura, 1989) and the Miranda Simplified Method (Miranda, 2005) were used. obtaining the degree of damage that these structures suffer in the event of a seismic event.

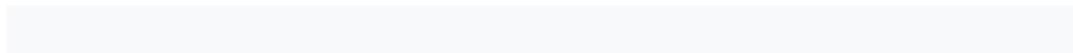
These methods are relatively simple to apply and do not require complicated procedures. The Nakamura vulnerability index method is non-destructive, and measurements can be made without interrupting activities in the area under study, which is ideal for studies in urban areas and allows the implementation of mitigation strategies at low cost.

To achieve the objectives of the research, a study of masonry homes in the district of Villa El Salvador was carried out, selecting the most representative buildings that have their respective plans. Likewise, the study of microtremors in soil and structure was carried out, with the purpose of finding the predominant periods of the evaluated homes and with field information at different points of the study area, the predominant isoperiod curve of the soil was obtained. In this way, it was possible to model the homes considering the parameters previously obtained in each method.



In previous research in the application of the Nakamura vulnerability index method, effectiveness values are assumed in the calculations for different structures. In this research, an average effectiveness of 80% in the X direction (porches) and 66% in the Y direction (masonry) has been determined. These values are calculated and not assumed.

In the seismic risk assessment, the percentage of loss for the design earthquake using the Nakamura vulnerability index method is 78% of the total cost of the homes, while for the simplified Miranda method it is 67% of the total cost. of the homes.



PRÓLOGO

En este trabajo la autora ha realizado el estudio de vulnerabilidad estructural de edificaciones de albañilería confinada informal de baja altura considerando diferentes demandas sísmicas.

Para dicha investigación se realizaron estudios de campo, tales como estudio de vibración ambiental, tanto en diferentes puntos del terreno de una zona de estudio como en edificaciones representativas y recolección de datos de las viviendas en la zona. Con el propósito de idealizar y modelar coherentemente las estructuras, se trabajó en base a planos existentes complementadas con mediciones in situ.

Como resultado de los análisis computacionales se ha obtenido deformaciones, distorsiones, para el cálculo de parámetros de corrección según la metodología para cálculo de vulnerabilidad en estructuras establecida por Miranda y por el método de vulnerabilidad de Nakamura en edificaciones. Se ha contemplado el uso de la normativa nacional para este tipo de estructuras.

La investigación fue realizada con una aplicación en viviendas del distrito de Villa El Salvador, Lima, Perú. Las estructuras analizadas fueron viviendas de uno a tres pisos. Se realizó el análisis estructural de las viviendas y además el estudio de vibración ambiental con mediciones de micro tremor para conocer las frecuencias fundamentales de las estructuras y determinar su periodo. Así mismo se elaboró el mapa de isoperiodos utilizando el método H/V de Nakamura en base a mediciones de microtemores en el suelo para el área de estudio.

Por lo expuesto, se considera que la autora proporciona valiosas conclusiones para el cálculo de la vulnerabilidad de edificaciones de baja altura mediante métodos espectrales los que a su vez pueden extenderse a edificaciones de mediana altura como posibles temas para futuras investigaciones.

JORGE OLARTE NAVARRO

Asesor de la tesis

CAPÍTULO I. ASPECTOS GENERALES

1.1 Identificación y descripción del problema de estudio

El Perú se encuentra en una zona altamente sísmica debido a la cercanía con las placas de Nazca y Sudamericana. Esto conlleva a la recurrencia de eventos sísmicos causando daños a las estructuras y vida humana. Debido a ello se realizan estudios de futuros mega terremotos con gran acumulación de energía y se espera una magnitud de 8.6 a 8.8 Mw (Pulido et al., 2015).

Las viviendas en la ciudad de Lima Metropolitana y Callao, según estudios del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) y otras instituciones muestran que un 83% de las edificaciones son de material de albañilería informal que fueron construidas sin seguir los lineamientos de las normas técnicas peruanas y ninguna presencia ingenieril (CISMID, 2012).

Es ampliamente conocido que los efectos locales del sitio son factores importantes responsables de los daños a los edificios durante terremotos severos. La amplificación sísmica es un efecto de las condiciones locales del sitio y es fuertemente dependiente de las condiciones geológicas y geotécnicas. Para determinar las características dinámicas del suelo, se han realizado evaluaciones sísmicas tanto con microtemores como amplificaciones en las zonas más críticas (Olarte et al., 2012).

En adición, el distrito de Villa El Salvador está caracterizado por suelos arenosos productos de la erosión y sedimentación del mar. Además, existe una alta densidad de población en dicho distrito, concentrándose ahí todo tipo de actividad socioeconómica (Fundación Suiza de Cooperación, 2016).

Además, las políticas de inversión, rehabilitación y reforzamiento en el distrito de Villa El Salvador son escasas debido a la no cuantificación del riesgo sísmico. Como consecuencia, se minimizan las pérdidas humanas, sociales y económicas ante eventos sísmicos de gran magnitud (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2017).

1.2 Formulación del problema

1.2.1 Formulación del problema general

¿Las estructuras de baja altura en el rango de uno a cinco niveles, son capaces de soportar eventos sísmicos de gran magnitud?

1.2.2 Formulación de los problemas específicos

- ¿Cómo obtener la respuesta de desplazamientos elásticos e inelásticos de estructuras de baja altura sometidas a sismos?
- ¿Es posible conocer la vulnerabilidad de las edificaciones mediante la utilización de métodos simplificados de sistemas equivalentes a sistemas de un grado de libertad?
- ¿Mediante el método simplificado de Miranda y el método de Nakamura es posible conocer el riesgo y la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de baja altura?
- ¿Las respuestas de las estructuras utilizando método simplificado de Miranda y método de Nakamura son similares a modelos estructurales que contengan varios grados de libertad?

1.3 Justificación del estudio

1.3.1 Justificación social y económica

La presente investigación permitirá calcular la vulnerabilidad y riesgo sísmico de una muestra representativa de edificaciones, ante sismos probables, con una filosofía preventiva.

La aplicación a viviendas del distrito de Villa El Salvador, tiene como principales beneficiarios a la población, a las autoridades del distrito y a los directores de emergencia, pues permitirá obtener estimaciones tempranas de desempeño ante un evento sísmico específico a un bajo costo.

1.3.2 Justificación teórica

La investigación permitirá calcular la vulnerabilidad de estructuras mediante métodos simplificados validando la aplicación del método de Índice de vulnerabilidad de Nakamura en edificaciones de baja altura, con los resultados de la aplicación del método simplificado de Miranda ante diferentes escenarios sísmicos.

1.3.3 Justificación práctica

Conocer el desempeño estructural de edificaciones de baja altura ante diferentes escenarios sísmicos tomando en cuenta condiciones de sitio y construcción informal con la aplicación a viviendas del distrito de Villa El Salvador.

1.3.4 Justificación metodológica

La investigación es de estilo documental cuyo objetivo es recabar información del problema y experimental a nivel instrumental pues considera mediciones a estructuras de baja altura. Mediante un plan de trabajo a partir de bases teóricas y mediciones instrumentales se determinarán resultados numéricos.

1.4 Alcance del estudio

1.4.1 Temático

El tema por desarrollar se refiere a la manera cómo los métodos utilizados para evaluar la vulnerabilidad de edificaciones de baja altura proporcionan resultados de distorsiones para evaluar daño en las estructuras y posteriormente la vulnerabilidad y el riesgo sísmico.

1.4.2 Espacial

Se ha tomado en consideración para analizar vulnerabilidad de edificaciones de baja altura ante los sismos, viviendas representativas en el distrito de Villa El Salvador, por sus características desfavorables, como son construcción informal y condiciones de sitio (suelo blando).

1.4.3 Temporal

La revisión bibliográfica consultada se ha realizado considerando información relacionada a la investigación, durante los últimos años hasta el 2023.

1.5 Objetivo de la investigación

1.5.1 Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en edificaciones de baja altura en áreas urbanas usando métodos espectrales en edificaciones de albañilería y de concreto armado.

1.5.2 Objetivos específicos

- Evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones de baja altura, de uno a cinco pisos, usando métodos espectrales para el caso particular de viviendas típicas del distrito de Villa El Salvador.

- Evaluar el riesgo sísmico en base al peligro sísmico y a la vulnerabilidad estructural, para el caso particular de edificaciones de baja altura en el Distrito de Villa El Salvador-Lima,
- Estimar las pérdidas producto de los daños esperados para los diferentes escenarios sísmicos analizados, para una muestra de edificaciones de baja altura.

1.6 Hipótesis

1.6.1 Formulación de la hipótesis general

Mediante el uso de métodos espectrales que se basan en modelos estructurales equivalentes a sistemas de un grado de libertad, se puede evaluar la vulnerabilidad y, por tanto, el riesgo sísmico de edificaciones de baja altura determinándose modelos equivalentes a partir de mediciones de microtemores y realizando el análisis de las estructuras para la aplicación de métodos simplificados.

1.6.2 Formulación de las Hipótesis específicas

- Es posible evaluar la vulnerabilidad estructural de edificaciones de baja altura mediante métodos espectrales que se basan en modelos estructurales equivalentes a sistemas de un grado de libertad.
- Es posible evaluar las respuestas del riesgo sísmico de edificaciones de baja altura mediante la utilización de métodos simplificados con sistemas de un grado de libertad y son similares a partir de mediciones con microtemores o realizando el análisis de estructuras para calcular parámetros de corrección.

1.7 Variables

Al examinar el comportamiento estructural de las viviendas analizadas es posible estudiar las variables, describiendo y cuantificando con precisión cada una de ellas.

1.7.1 Variables independientes

- Capacidad de las edificaciones de albañilería confinada.
- Nivel de sismo a la que estarán sometidas las edificaciones.

1.7.2 Variables dependientes

- Capacidad residual de las edificaciones de albañilería confinada.
- Desplazamiento residual de las estructuras bajo el sismo.
- Distorsiones de las estructuras bajo el sismo.
- Nivel de daño de las edificaciones frente al sismo

1.8 Diseño Metodológico

1.8.1 Tipo de investigación

1.8.1.1 Por enfoque

El enfoque es cuantitativo dado que se realizan cálculos numéricos a partir de mediciones numéricas para determinar periodos de las estructuras y distorsiones y luego determinar daño en porcentaje en las edificaciones que permita evaluar su vulnerabilidad.

Se recolectan datos inicialmente y se realiza finalmente análisis estadístico para evaluar el riesgo sísmico.

1.8.1.2 Por nivel

El nivel de la investigación es descriptivo, correlacional y explicativo porque describe e identifica el daño y la pérdida en las estructuras a través de la aplicación de los métodos de Miranda y Nakamura. El tipo es correlacional porque tiene como propósito medir, cuantificar y analizar la vinculación y o grado de relación entre los resultados de ambos métodos.

- Diseño

Estudio de causa-efecto experimental a nivel instrumental, a través de mediciones en las estructuras y se deberán realizar en varias oportunidades de ser el caso puesto que se miden vibraciones ambientales que pueden verse alteradas por ruido, la interpretación de los resultados de los registros requiere de filtros y juicio de expertos.

- Métodos

El método de investigación es deductivo y analítico porque las variables van a surgir de un marco conceptual para ser operacionalizadas y relacionadas con la finalidad de plantear las hipótesis de la investigación. La orientación es aplicada porque se pretende determinar el daño en las edificaciones para tomar medidas que permitan minimizar las pérdidas a futuro.

1.8.2 Población y muestra

- Población

El escenario de estudio es el distrito de Villa El Salvador.

- Muestra

Edificaciones de baja altura en el rango de uno a cinco niveles, analizando la tipología estructural en seis sectores para el distrito de Villa El Salvador habiendo seleccionado diez viviendas representativas de baja altura del sistema estructural de albañilería confinada, por ser el sistema estructural predominante en la zona de estudio para realizar su análisis estructural, de las cuales se seleccionaron cuatro viviendas para mediciones con microtremor.

1.8.3 Técnicas e instrumentos de recolección de datos

- Técnicas

Realizar una recopilación de información sobre investigaciones relacionadas a vulnerabilidad sísmica en las edificaciones, riesgo sísmico, peligrosidad sísmica.

Recopilación de información de las características de las viviendas representativas de Villa El Salvador - Lima

Realizar mediciones de micro temores para conocer los periodos del suelo en puntos del distrito de Villa El Salvador.

Realizar mediciones de micro temores para conocer las propiedades dinámicas de las estructuras consideradas como representativas en el distrito de Villa El Salvador.

- Instrumentos

Formato de encuesta para viviendas.

Formato de conteo de tipología de viviendas por manzana.

Registros obtenidos de mediciones con microtremor en puntos de la zona de estudio.

Registros obtenidos de mediciones con microtremor en viviendas representativas.

1.8.4 Técnicas de análisis y procesamiento de datos

- Desarrollo del sistema de información geográfica en el distrito del Villa El Salvador para obtener mapa de isoperiodos del sector analizado en el distrito de Villa El Salvador.
- Elaborar modelos estructurales de las viviendas consideradas como representativas en el rango de uno a cinco niveles.
- Aplicar el método simplificado de Miranda para el cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico.
- Aplicar el método de Nakamura para el cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico.
- Análisis de resultados de vulnerabilidad obtenidos con el método simplificado de Miranda.
- Análisis de resultados de vulnerabilidad obtenidos con el método índice de vulnerabilidad de Nakamura.
- Análisis de resultados del riesgo sísmico obtenido de las simulaciones realizadas.
- Comparar los resultados obtenidos por el método simplificado de Miranda y el Método de índice de vulnerabilidad de Nakamura.



CAPÍTULO II. MARCO TEÓRICO

En este capítulo se describe la teoría, métodos y modelos que sirven de base para el estudio de riesgo sísmico.

2.1 Antecedentes de la investigación

A través de los años se han desarrollado métodos de diversas instituciones para evaluar la vulnerabilidad sísmica, tales como: Método ATC-14 (Consejo de Tecnología Aplicada), NAVFAC (Departamento de la Marina de Estados Unidos), japonés, Venezolano, FEMA 310 (Agencia Federal para el Manejo de Emergencias), I.S.T.C. (Instituto de Ciencia y Tecnología en la Construcción), Hurtado y Cardona, Miranda, Índice de Vulnerabilidad, etc. Estos métodos poseen ventajas y desventajas por lo que dependiendo de las condiciones que el estudio requiera se utilizará el método adecuado (Marín, 2012).

El riesgo sísmico a nivel de un sector urbano ayuda a evaluar la vulnerabilidad sísmica, mediante la utilización de métodos simplificados debido a la gran información que pueden brindar las viviendas analizadas como, por ejemplo: material, sistema estructural, configuración estructural, irregularidades, dimensiones, entre otros (Yepes & Silva, 2017).

El método de Miranda (2005), propone mediante la utilización de fórmulas empíricas calcular las derivas y en consecuencia la vulnerabilidad sísmica de las estructuras analizadas. Usa cuatro factores: el primero convierte el sistema de un grado de libertad a un sistema de múltiples grados de libertad, el segundo amplifica la deriva global de la estructura para determinar las distorsiones de entrepiso, el tercero amplifica los desplazamientos elásticos obtenidos para conocer los desplazamientos máximos inelásticos y el cuarto determina el cociente entre la distorsión de entrepiso y la global en el rango inelástico (Quiroz, 2017).

Para conocer las características dinámicas del suelo se requiere la realización de mediciones con microtemores en uno o varios puntos. Yutaka Nakamura (1989), plantea la eliminación de las ondas de Rayleigh ya que considera una componente vertical que es asociada al ruido. Mediante el método de relación espectral H/V analiza los registros transformados al dominio de la frecuencia, para estimar las frecuencias predominantes y el factor de amplificación dependiendo del tipo de suelo (Tongwei & Feng, 2021).



Para conocer la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones es necesario determinar las curvas de fragilidad. Éstas describen el comportamiento de una estructura frente a la demanda sísmica en función de distintos parámetros. Aunque el más utilizado es la distorsión máxima de entrepiso. Las curvas se interpretan como la probabilidad de que el parámetro en análisis exceda a un determinado valor, en este caso una distorsión (Rosa et al., 2023).

2.2 Marco teórico

2.2.1 Sismología

Es el estudio de los movimientos sísmicos en base a las ramas de geología y geofísica. Esto conlleva a comprender las causas de los sismos, que son vibraciones causadas por la liberación de energía acumulada producidas por las fuerzas tectónicas en el interior de la tierra, como la propagación de ondas y efectos que las producen. A su vez, los sismos son reacciones elásticas causadas por las fuerzas tectónicas.

2.2.1.1 Fuentes principales

Las fuentes principales que producen sismos son:

Fuentes naturales

Volcánicos: Estos se producen por la actividad volcánica en una zona específica liberando energía con frecuencias muy predominantes.

Colapso: Estos se producen debido a desplazamientos bruscos de bloques de tierra en grandes cantidades en zonas profundas o superficiales de la tierra, se entiende por la presencia de cavidades que están sometidas a constante presión.

Impactos naturales: Estos se producen por golpes a la tierra mediante algún agente externo natural, el impacto brusco de un meteorito es el más claro ejemplo y ocasiona vibraciones en grandes regiones.

Fuentes a causa del hombre

Se originan principalmente por la interacción directa del hombre con la naturaleza, sin embargo, la humanidad todavía no tiene los mecanismos necesarios para producir vibraciones de gran magnitud.

Explosión de minas: Estos sismos se producen por las explosiones en búsqueda de nuevas zonas mineras. Aunque producen vibraciones no tan considerables por las cargas que se utilizan.

Esfuerzos inducidos por relaves, presas, embalses: Estos se producen debido a sobrecargas por el cambio brusco de grandes cantidades de masa que son almacenadas en estas obras.

Explosiones nucleares: Estos se producen porque las explosiones liberan energía que desarrolla en algunos casos considerables magnitudes.

Si bien las vibraciones sísmicas se deben a fuentes diferentes, la que mayor recurrencia tiene es la tectónica, por lo que es importante entender las fallas que se producen por las fracturas y desplazamientos en zonas específicas.

Las fallas son fracturas de planos de grandes bloques de roca a lo largo de todo el planeta, se pueden clasificar en: normal, inversa y desgarre. La primera conocida como falla tensional donde, hay deslizamiento en dirección descendente; la segunda como falla compresional, donde hay deslizamiento en dirección ascendente y la última como falla de desgarre donde hay deslizamiento en dirección lateral.

2.2.1.2 Características de los sismos

- Hipocentro: Se le denomina al punto o región exacta donde se originó el sismo debajo de la superficie terrestre.
- Epicentro: Se le denomina a la proyección del hipocentro en la superficie terrestre donde el sismo alcanza su mayor intensidad.
- Distancia epicentral: La distancia que existe entre el epicentro y un punto en la superficie.
- Profundidad focal: La distancia que existe entre el foco(hipocentro) y el epicentro.

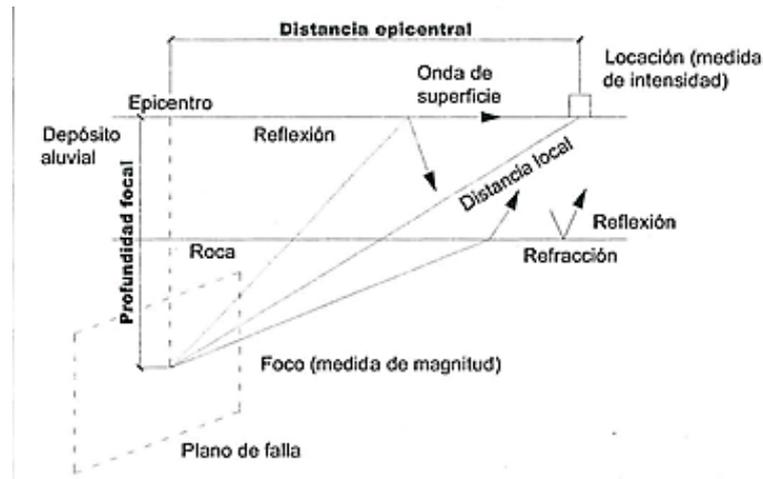


Figura N° 2.1 Características de los sismos
(Key,1988)

Tipo de ondas producidas por los movimientos sísmicos:

Las vibraciones sísmicas causan una serie de ondas desde el origen hacia el exterior, por lo que estas viajan en varias direcciones mediante diferentes tipos de ondas. Estas se clasifican, dependiendo del lugar de propagación, como se describe a continuación:

Las ondas internas se propagan desde el origen del evento sísmico (foco) subdividiéndose en 2 tipos. Las primeras son conocidas como ondas P, son longitudinales y llegan primero a la superficie; las segundas como ondas S, son ondas transversales y llegan después de las anteriores, siendo las de mayor energía.

Las ondas superficiales se propagan a lo largo de la tierra, se subdividen en dos tipos: Las ondas Love, su movimiento es perpendicular a la dirección de propagación de las ondas P; las ondas Rayleigh, su movimiento se basa en una trayectoria elíptica.

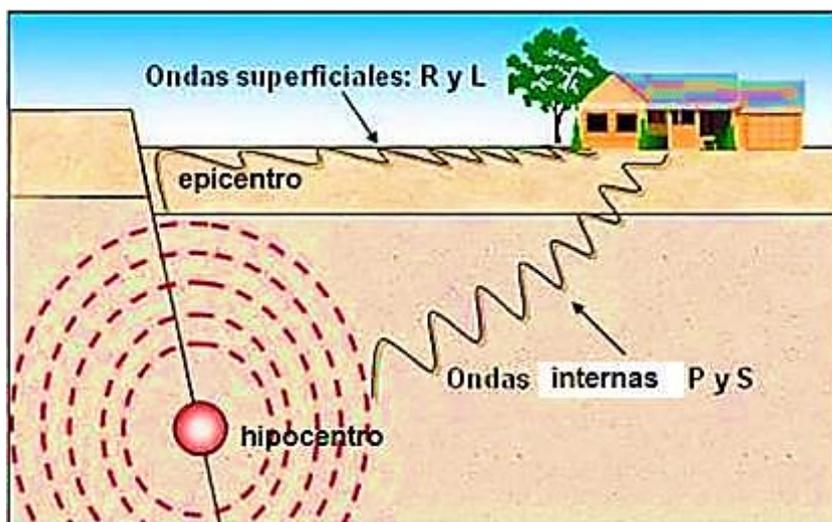


Figura N° 2.2 Tipos de ondas sísmicas
Tomado: post.geoxnet.com

Con respecto a la sismicidad en las ciudades de Lima y Callao, podemos apreciar que son lugares que constantemente sufren eventos sísmicos de mediana a gran intensidad, conllevando a la pérdida de daños materiales y vidas humanas. Esto debido a la interacción que sufren las placas de Nazca y Sudamericana que se ubican muy cerca a los límites entre el mar y la costa peruana.

2.2.1.3 Sismicidad local y global

A lo largo de los años han sucedido diversos eventos sísmicos de poca, mediana y gran magnitud alrededor del planeta como, por ejemplo: Lisboa 1755, que ayudó a comprender los mecanismos de cómo se originan los terremotos. De esta manera se conocen las regiones donde se originan los sismos, conocidas como zonas volcánicas: La zona volcánica de Circumpacífico que comprende todo el continente americano, siendo uno de los lugares donde se producen la mayor cantidad de movimientos sísmicos; la zona volcánica Mediterránea-Asiática, se expande desde el océano Atlántico hasta el Pacífico; la zona volcánica Índica, se expande desde el océano Índico y se conecta con la zona Circumpacífico; la zona volcánica Africana, se extiende desde la región de Mozambique hasta Turquía y la zona volcánica Atlántica, se extiende a lo largo del océano Atlántico.

Conocidas las zonas volcánicas en el mundo estas se agrupan en regiones sísmicas conocidas como cinturones: El Cinturón de Fuego del Pacífico, se extiende por los países de Sudamérica, Centroamérica, Norteamérica, Taiwán, Japón, Indonesia y Nueva Zelanda; el Cinturón Transasiático, se extiende por el

Himalaya, Irán, Turquía, el Mar Mediterráneo y el Cinturón que se ubica en el centro del océano Atlántico. Estas regiones se aprecian en la Figura N° 2.3.

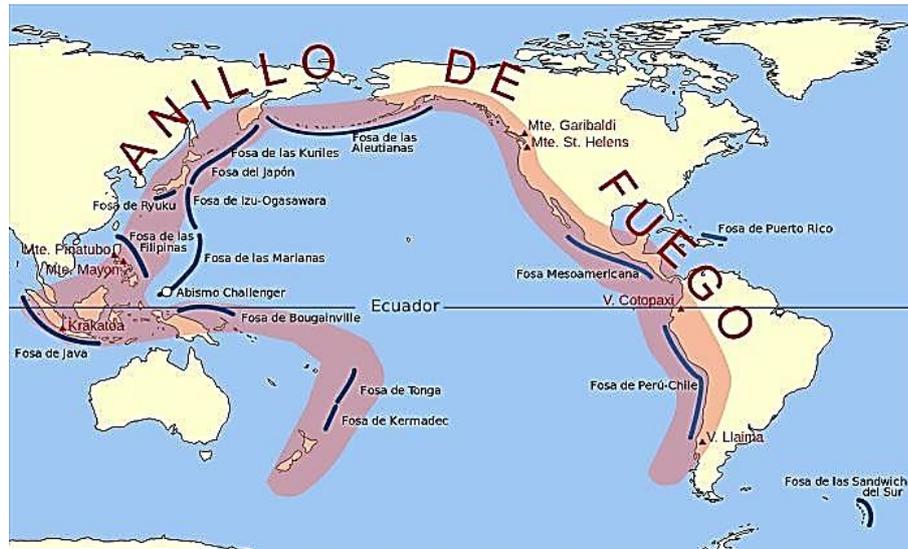


Figura N° 2.3 Regiones volcánicas
Tomado: ecologiaverde.com

Uno de los trabajos más recientes sobre mapas de peligrosidad sísmica, fue el proyecto piloto desarrollado por el programa de Evaluación de Peligrosidad Sísmica Global en la Década Internacional para la Reducción de los Desastres Naturales, declarada por la Organización de las Naciones Unidas (ONU). Este trabajo se desarrolló uniendo mapas parciales elaborados según las diferentes regiones y áreas de prueba. El mapa describe la aceleración máxima del terreno (en unidades de PGA, Peak Ground Acceleration) con un 10% de probabilidad de excedencia en 50 años, correspondiente a un período de retorno de 475 años.

Los colores del mapa se eligieron para delinear aproximadamente la peligrosidad correspondiente al nivel actual de la misma. El color más claro representa una peligrosidad baja, mientras que el más intenso, representa una alta peligrosidad. Especialmente el blanco y verde corresponden a valores entre 0 - 8% g (g es la aceleración de la gravedad); el amarillo y el naranja corresponden a una peligrosidad moderada entre 8 y 24 % g; el color rosa y rojo corresponden a una peligrosidad alta entre 24 y 40% g y el rojo oscuro y café corresponden a una peligrosidad muy alta, con valores superiores al 40% g. En general, los sitios con peligrosidad alta ocurren en áreas delimitadas por las diferentes placas, como se observa en la Figura N° 2.4.

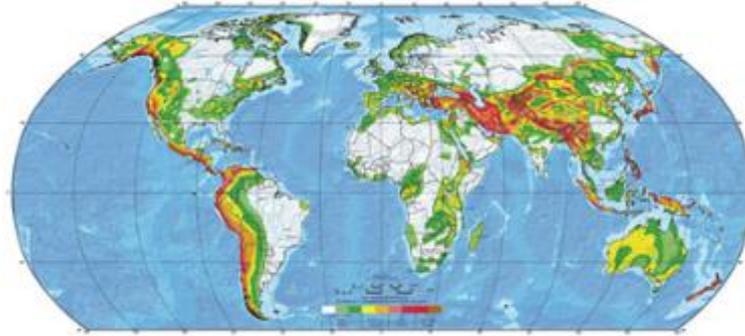


Figura N° 2.4 Mapa de peligrosidad sísmica global
Tomado: tdx.cat

El borde occidental de América del Sur se caracteriza por ser una de las regiones sísmicamente más activas en el mundo. El Perú forma parte de esta región y su actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la placa oceánica bajo la placa continental, generando terremotos de magnitud elevada con relativa frecuencia. Un segundo tipo de actividad sísmica es producida por las deformaciones corticales presentes a lo largo de la Cordillera Andina, con terremotos menores en magnitud y frecuencia. La distribución de la sismicidad en Perú ha sido tema de diversos estudios, utilizando datos tele sísmicos y regionales a fin de estudiar la geometría de la subducción o bien para delinear las zonas de mayor deformación superficial en el interior del continente.

Los Andes son un claro ejemplo de cordillera formada como resultado del proceso de subducción de una placa oceánica bajo una continental. Esta cordillera se extiende a lo largo del continente Sudamericano, desde Venezuela hasta el Sur de Chile. En la Figura N° 2.5 se muestra un esquema de las principales unidades estructurales formadas como resultado de la evolución de esta cordillera. En esta figura y de izquierda a derecha se puede identificar La Franja Costera, Cordillera Occidental, la Cordillera Oriental, el Altiplano y la Zona Subandina.

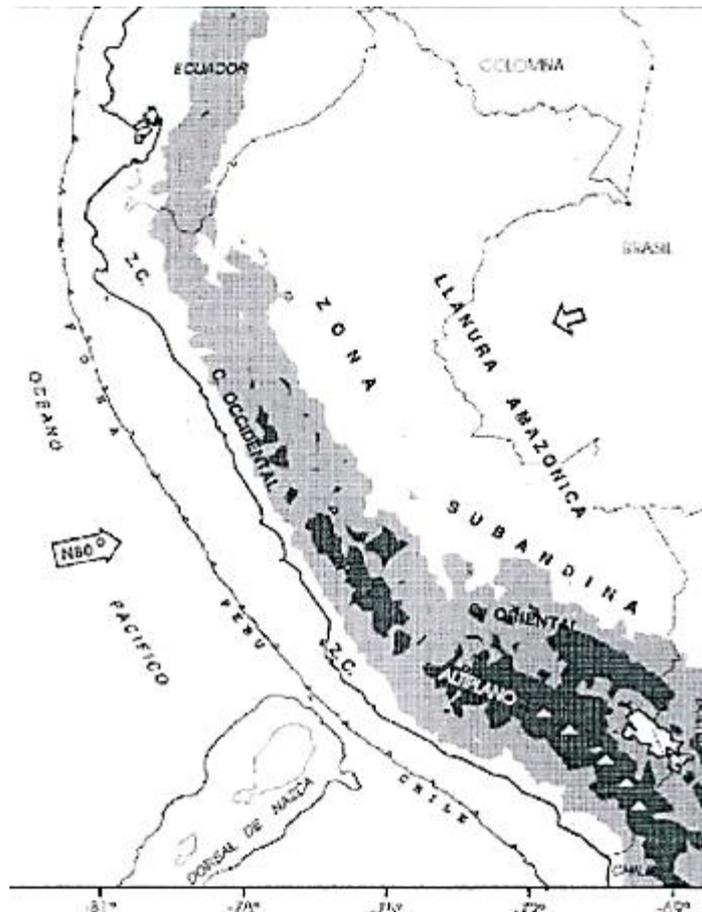


Figura N° 2.5 Dirección de convergencia de las placas

Minster, 1978

2.2.1.4 Evaluación de la sismicidad

La forma de medición depende principalmente de la región donde ocurre. Esta se puede caracterizar a través de la intensidad o magnitud, siendo esta última la más adecuada debido a la relación con la liberación de energía que produce.

Intensidad

Es una medida subjetiva (cualitativa) que mide el daño que produce un evento sísmico, depende de un observador y no de las medidas realizadas por instrumentos. La medida más conocida es la Escala Mercalli Modificada.

Históricamente las escalas de intensidad tienen una importancia especial debido a que no utilizan ningún instrumento para realizar la medición. La primera vez que se utilizó el concepto de intensidad como hoy se conoce se debe a Egen, describiendo los efectos del sismo de Bélgica en 1828. Sin embargo, ya se habían realizado cuantificaciones de daño un siglo antes por Shiantarelli en Italia en 1783,

para el sismo de Calabria. Fue en el último cuarto de siglo XIX cuando el uso de la intensidad llegó a ser difundida ampliamente, siendo los precursores el italiano Rossi y el Suizo Forel que publicaron escalas de intensidad similares en forma separada en 1874 y 1881, respectivamente. Posteriormente, unieron esfuerzos y elaboraron la primera escala que se utilizó internacionalmente, llamada escala Rossi - Forel con diez grados de intensidad. Esta escala fue modificada por Mercalli, quien publicó una nueva versión considerando también diez grados. A pesar de esto, no fueron suficientes para expresar el rango completo de los efectos provocados por un terremoto. Fue entonces Cancani, quien extendió la escala a doce grados, aunque omitió profundizar en cada uno de ellos. Ya en 1912, A. Sieberg, publicó la primera versión de su escala de intensidades con doce grados dando una descripción completa para cada uno de ellos, llegando a ser la base de la mayoría de las escalas modernas de intensidad con doce grados. Posteriormente, Mercalli - Cancani - Sieberg publicaron la escala MCS, realizando ligeras modificaciones respecto a la primera versión de la escala de Sieberg (actualmente esta escala se sigue utilizando en el sur de Europa). En 1931, esta escala fue traducida al inglés por Wood y Neumann, bajo el nombre de escala de Mercalli Modificada (MM). Fue mejorada completamente en 1956 por C.F. Richter, quien se abstuvo de agregar su nombre a la nueva versión, para evitar confusiones con la escala de magnitud de Richter.

Magnitud

Es una medida cuantitativa que contempla la liberación de energía y fue definida por el profesor Charles Richter. En consecuencia, es la mejor forma de medir los sismos dependiendo del instrumento que se utiliza y de la profundidad en la que se originan, por lo que las magnitudes pueden ser superficiales o profundas.

La escala que más se utiliza es la correspondiente a la magnitud local de Richter denotada por M_L y que se define de la siguiente manera:

$$M_L = \log_{10} A - \log_{10} A_0 \quad 2.1$$

En donde:

M_L : Es la magnitud local, calculada como la diferencia entre el logaritmo decimal de la amplitud y el logaritmo decimal de la amplitud estándar.

A : Es la amplitud máxima registrada de un terremoto a cierta distancia.

A_0 : Es la amplitud para el sismo de magnitud cero.

Considerando Δ como la distancia epicentral en kilómetros, podemos definir la siguiente expresión:

$$M_L = \log_{10}A(\Delta) - \log_{10}A_0(\Delta) \quad 2.2$$

Es evidente que esta ecuación sólo es válida para la zona donde fue calculada y no puede aplicarse a otras regiones. Para esto se han desarrollado otras expresiones para calcular la magnitud, entre ellas se encuentran las de magnitud superficial (M_s), la magnitud de ondas de cuerpo (m_b), la magnitud de duración (m_d).

El análisis de peligro sísmico se realiza en función de la magnitud. Las escalas de magnitudes utilizadas son m_b y M_s , calculadas a partir de las ondas de cuerpo y de superficie respectivamente. Se calculó la siguiente relación entre estas dos magnitudes para Sudamérica, de manera que se pueda utilizar cualquiera de ellas para homogenizar la muestra de datos:

$$M_s = 2.18m_b - 6.44 \quad 2.3$$

Por otra parte, aunque la magnitud se define como una medida cuantitativa de un terremoto, las diferentes formas de medirla arrojan en algunos casos valores diferentes, esto se debe a que las escalas de magnitud fueron diseñadas en un principio para una clase específica de sismogramas y para un tipo único de ondas. Por ejemplo, las ondas de superficie crean grandes alteraciones, pero únicamente en la capa superior de la Tierra, quizás a pocos kilómetros de la superficie. Los terremotos poco profundos excitan especialmente grandes superficies, mientras que los profundos casi no generan ondas en la superficie. Por lo tanto, la magnitud superficial (M_s), generalmente subestima el tamaño de los terremotos profundos. Por otra parte, la magnitud basada en las ondas de cuerpo se ha desarrollado tanto para los terremotos poco profundos como para los profundos.

La medida cuantitativa más precisa es la Magnitud de Kanamori (M_w o M) que se basa en el momento sísmico (M_0) el cual es directamente proporcional al área de falla (A), desplazamiento promedio de la placa a lo largo de la zona de ruptura (D)

y el módulo de rigidez al corte (G) y quedan expresados mediante las siguientes expresiones:

$$M_o = A * D * G \quad 2.4$$

$$M = 0.667 \log M_o - 10.7 \quad 2.5$$

2.2.2 Vulnerabilidad Sísmica

Las edificaciones responden de manera diferente, dependiendo de las características y diseño estructural, durante un evento sísmico. Éstas tienden a sufrir daños de manera intrínseca y no dependen de su ubicación, por lo cual se utilizan metodologías para medir el grado de daño mediante índices (Karic et al., 2012).

La forma de evaluar la vulnerabilidad se puede dar mediante procedimientos que son planteados por diversos autores mediante la utilización de métodos empíricos basados en observación de daños después de un evento sísmico; métodos analíticos basados en incluir la respuesta estructural de la edificación frente a estos eventos sísmicos y método basado en juicio de expertos basados en la opinión de profesionales especializados o con experiencia en el tema de vulnerabilidad (Marín, 2012).

Para comprender la vulnerabilidad es importante entender ciertos conceptos ligados a este término, como los que se describen a continuación.

2.2.2.1 Riesgo sísmico

Durante la vida útil de una edificación, ésta tiene la posibilidad de atravesar diversos eventos sísmicos sufriendo algunos daños considerables o no, por lo cual, al grado de pérdida que sufren las estructuras en estos eventos se le denomina riesgo sísmico. (Giner & Molina, 2001)

En este sentido lo que se pretende es minimizar, reducir la vulnerabilidad en las edificaciones conllevando a una reducción de costos en reparaciones ante un eventual sismo de gran magnitud que cause daños graves a la estructura.

En adición, para lograr lo descrito en el párrafo anterior se debe comprender la amenaza sísmica en base a un diseño ingenieril logrando un comportamiento adecuado en la estructura para edificaciones nuevas. Mientras, para las edificaciones existentes y antiguas se debe evaluar el estado de conservación en

que se encuentran y de esta manera definir las acciones de refuerzo que requieran. (Martínez, 2014)

2.2.2.2 Amenaza sísmica

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica es importante considerar las características de la acción sísmica. En el diseño de una estructura se debe definir correctamente la demanda sísmica tal que la estructura frente a esta acción responda adecuadamente ante las condiciones más desfavorables. De esta manera se logra el diseño óptimo en el proyecto.

Sin embargo, es complejo entender la concepción de un sismo, ya que hasta la actualidad no se puede predecir, por lo que en base a supuestos es lo que se diseña las estructuras. Es por lo que se busca la condición más desfavorable con el fin de disminuir los daños excesivos en los elementos estructurales, no estructurales y lo más importante salvaguardar la vida de los humanos (Calvi, 2006).

Usualmente para definir la demanda sísmica se utiliza la aceleración del terreno transformándola en espectros de respuesta para sistemas de un grado de libertad. Esto se logra mediante el estudio de microzonificación sísmica a lo largo del territorio de cada país en base a la normativa sismorresistente vigente en cada uno de ellos (Petersen & Harmsen, 2017).

En adición, la ciudad de Lima cuenta con un silencio sísmico de cerca de 280 años desde el año 1746, por lo que la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico de gran magnitud podría ser desastroso para el país (Pulido et al., 2015).

2.2.2.3 Daño sísmico

Para edificaciones el daño se entiende como el deterioro de los elementos estructurales (muros estructurales, columnas, vigas y otros) y no estructurales (mobiliarios, carpetas, máquinas, equipos y otros). El primero tiene que ver con las características, configuración, sistema de la estructura y se cuantifica en base a distorsiones y el segundo tiene que ver con las características arquitectónicas, eléctricas, sanitarias, electromecánicas y otros (Espindola & Pérez, 2018).

Además, se debe tener en cuenta el daño económico que representa las pérdidas de los elementos que se mencionó anteriormente, todo esto corresponde al daño estructural. El grado de daño se puede definir mediante diversos métodos. Lo más común es subdividir en estados de daños conocidos como: leve, moderado,



severo y colapso para los componentes estructurales y no estructurales, cada uno con límites diferentes al momento de clasificarlos al estado de daño definido (Tavera & Buforn, 1998).

Con el daño sísmico obtenido se procede a evaluar las edificaciones, de esta manera podemos saber si la edificación tiene continuidad o se debe evacuar a las personas mediante una evaluación rápida y a su vez evaluar edificaciones que servirán como refugio temporal y donde las personas puedan ser evacuadas (Olarte & Gallardo, 2007).

2.2.3 Efectos del terreno

Mediante el estudio de peligrosidad sísmica se logra caracterizar en el suelo duro (base) sin considerar las condiciones de borde tales como: las propiedades topográficas, geológicas, geotécnicas; por lo que la señal sísmica que se registra tiende a ser diferente. Dichas condiciones amplifican la señal registrada en el manto rocoso, ya que usualmente la superficie se encuentra en suelos blandos. La Figura N° 2.6 muestra los cambios que tienen los registros al colocar sensores en lugares diferentes.

Una correcta forma de caracterizar estos efectos es colocando sensores en diferentes puntos, así podemos obtener los registros debido a las vibraciones ambientales. De esta manera obtenemos una serie de respuestas sísmicas que permitan crear un mapa de microzonificación y con esto podemos interpolar a las condiciones que tengamos en nuestro estudio.

Es así como se realiza estudio de microtemores para determinar las frecuencias y periodos predominantes del terreno ante vibraciones ambientales o agentes externos. En la actualidad se utiliza el método propuesto por Nakamura (1989) para la caracterización del sitio. Esto se logra convirtiendo las señales registradas del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia mediante la transformada de Fourier.

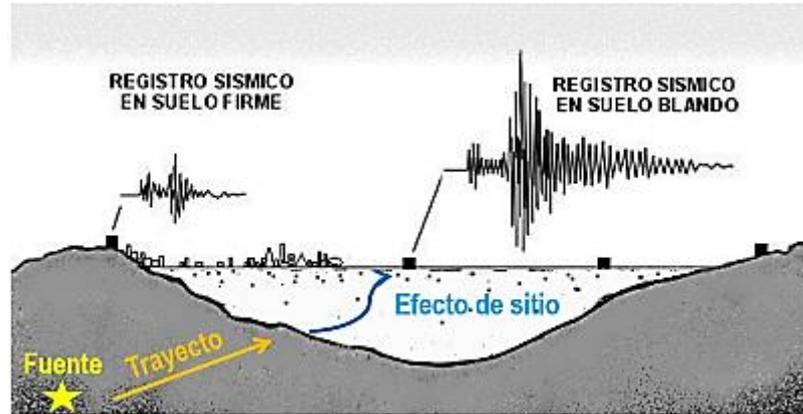


Figura N° 2.6 Efectos del terreno o sitio

Tomado de: news.skyalert.mx

Existen métodos en base a teorías para caracterizar el lugar asumiendo los siguientes aspectos: Ante una señal el suelo se comporta de manera lineal, horizontal y es de naturaleza homogénea. De esta manera se idealiza el perfil estratigráfico, donde las propiedades como la velocidad de corte, densidad de material, amortiguamiento y espesor del estrato se simplifican al ser representadas mediante un único estrato equivalente a todo el perfil. La Figura N° 2.7 muestra la idealización de un perfil de terreno real a uno equivalente que permita simplificar y caracterizar los efectos del sitio.

Las frecuencias y los periodos predominantes del terreno se pueden obtener en base a la velocidad de las ondas sísmicas y el espesor del estrato mediante la relación entre velocidad de las ondas S y cuatro veces el espesor del estrato (Tongwei & Feng, 2021). Sin embargo, en la realidad el perfil está compuesto por varias capas, por lo que se requieren otras variables para caracterizar la propagación de onda. De esta manera el modelo propuesto por Haskell (1963) asume un comportamiento viscoelástico y utiliza las propiedades de cada estrato para calcular la frecuencia fundamental del terreno.

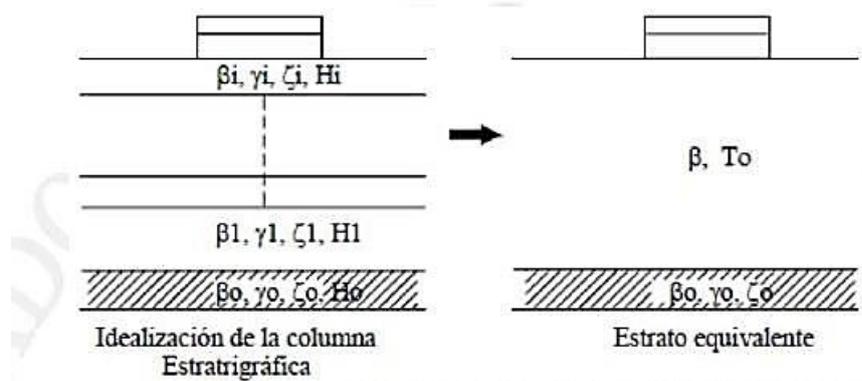


Figura N° 2.7 Perfil estratigráfico real y equivalente del sitio

Tomado: cenapred.unam.mx

Por otro lado, existen métodos empíricos que caracterizan el sitio en base a mediciones y registros como los presentados a continuación:

Tabla N° 2.1 Método de análisis espectrales

Tokimatsu, 1997

Métodos de análisis				
Método	Puntos de observación	Componentes utilizados	Tipo de onda	Resultado
Espectral	1	Horizontal	Onda S	Periodo predominante
Cocientes espectrales	1-2	Horizontal- Vertical	Onda Rayleigh	Periodo natural del sitio
Nakamura	1	Horizontal- Vertical	Onda Rayleigh	Periodo natural del sitio
F-K	7	Horizontal- Vertical	Onda Rayleigh - Love	Velocidad de fase, perfil de velocidades

2.2.3.1 Método de Nakamura

El método de razón espectral H/V de Nakamura (1989) parte del fundamento que los microtremores están compuestos por ondas superficiales del tipo Rayleigh. La metodología asume que el efecto de sitio es debido a una sola capa de suelo sobre un semiespacio elástico; el método aísla el efecto de sitio, en particular el periodo dominante mediante el empleo de cocientes espectrales.

El efecto de sitio se encuentra definido por un periodo resonante y un nivel de amplificación dados por la razón de impedancia entre la capa y el semiespacio,

por lo que se desprecia los efectos de sitio en dos o tres dimensiones, aquí no es primordial tener un control exacto del nivel de amplificación absoluto.

Una medición de microtemores en el plano horizontal, obtenida en la superficie de la capa sedimentaria, encierra los efectos de fuentes naturales lejanas que se propagan como ondas de cuerpo (P y S) y fuentes locales que se propagan como ondas Rayleigh. El efecto generado por la trayectoria se anula al momento de ejecutar el cociente espectral, ya que todos los registros que se obtienen pertenecen al mismo sitio.

Los espectros de amplitud de Fourier de las componentes horizontales del movimiento en la superficie de la capa sedimentaria y en su base son definidos de la siguiente manera:

$$H_s(f) = F_H(f) * F_R(f) * S(f) \quad 2.6$$

$$H_B(f) = F_H(f) \quad 2.7$$

$$V_s(f) = F_v(f) * F_R(f) \quad 2.8$$

$$V_B(f) = F_v(f) \quad 2.9$$

Donde:

$H_s(f)$: Espectro de la componente horizontal en la superficie.

$F_H(f)$: Espectro de las ondas de cuerpo polarizadas (fuentes lejanas).

$F_R(f)$: Espectro de las ondas de Rayleigh (fuentes cercanas).

$S(f)$: Espectro del efecto de sitio.

$H_B(f)$: Espectro de la componente horizontal en la base.

$V_s(f)$: Espectro de las ondas de cuerpo vertical.

$V_B(f)$: Espectro de la componente vertical en el basamento.

$F_v(f)$: Espectro de las ondas de Rayleigh.

La componente vertical no contiene la información del ruido que se produce en la capa sedimentaria. Los periodos fundamentales se pueden obtener eliminando las fuentes lejanas mediante el cociente entre el espectro horizontal en la superficie y el espectro horizontal en la base y las fuentes cercanas mediante el cociente entre

el espectro vertical en la superficie y el espectro vertical en la base, de esta manera podemos obtener una relación con la capa sedimentaria.

La caracterización del efecto de sitio queda finalmente dada por las ecuaciones 2.10 y 2.11, siendo la relación de las componentes horizontales y verticales del movimiento de la superficie:

$$C(f) = \frac{H_s(f)}{V_s(f)} * \frac{F_v(f)}{F_h(f)} \quad 2.10$$

Para el ruido ambiental en la base de la estratigrafía, las polarizaciones horizontal y vertical son indistinguibles, considerándose $F_H(f) = F_V(f)$ (Nakamura, 1989).

$$C(f) = \frac{H_s(f)}{V_s(f)} = S(f) \quad 2.11$$

La Figura N° 2.8 representa el procedimiento a seguir para determinar los periodos y las frecuencias predominantes en la estructura. Dado un registro obtenido por un sensor (microtremor) se procede a dividirlo en pequeños tramos aplicando los filtros respectivos para eliminar ruido y señales no deseadas, de esta manera se pueden analizar las señales más representativas ante las vibraciones ambientales. Seguidamente se obtiene el espectro de Fourier de cada una estas, para luego combinar los espectros horizontales y así obtener una relación entre la componente horizontal combinada y la componente vertical.

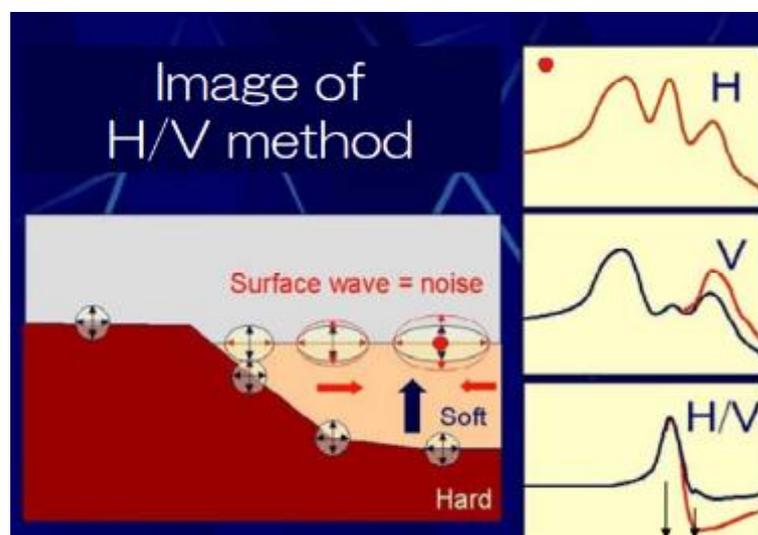


Figura N° 2.8 Método de razón espectral H/V de Nakamura
Nakamura, 2008

2.2.4 Métodos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Existen diversos métodos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones frente a eventos sísmicos de pequeña, moderada o gran magnitud, obteniendo el grado de daño en los elementos estructurales y no estructurales. La elección del método se basa en el esfuerzo ingenieril que se requiera.

2.2.4.1 Método estadístico

La respuesta se obtiene en base a estudios o investigaciones que se realizaron en el pasado como consecuencia de los eventos sísmicos. Principalmente son estadísticas aplicadas a edificaciones con bajo nivel de diseño y no se cuenta con la información detallada de los planos estructurales y no estructurales, siendo difícil de evaluar detalladamente.

2.2.4.2 Método mecánico

Se basan en la evaluación de una o varias edificaciones, por lo que se puede realizar un análisis simplificado o detallado según lo que se requiera.

Los métodos mecánicos simples son aplicados a un grupo de edificaciones que son catalogadas como potencialmente peligrosas y que serán las estructuras representativas para un área o región de estudio. Mientras, que los métodos mecánicos detallados son aplicados a una estructura en particular y pueden ser:

- Análisis lineal:

La estructura se modela como un sistema de un grado de libertad con una rigidez lineal y un amortiguamiento viscoso equivalente. La demanda sísmica se idealiza en base a fuerzas equivalentes que son aplicadas lateralmente, para después calcular el periodo fundamental que será asociado a su espectro de respuesta y aceleración espectral. Por lo que las fuerzas aplicadas son productos de la aceleración espectral y las masas de entrepiso. En el campo ingenieril se utilizan para el diseño de las edificaciones y se limitan mediante las distorsiones propuestas en la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018). Sin embargo, es adecuado utilizar este análisis cuando los primeros periodos predominantes de la estructura se encuentran en las direcciones principales de la edificación.

- Análisis estático no lineal:

La estructura se modela con propiedades no lineales tanto para el concreto, acero de refuerzo, acero estructural en los elementos estructurales usados. Se obtiene de este análisis la curva de capacidad, que se logra mediante la aplicación de una carga patrón lateral incremental que representa la primera forma modal de la estructura. Representa de manera global el comportamiento de la estructura debido a que relaciona la cortante basal y el desplazamiento del último nivel de la edificación.

- Análisis dinámico lineal:

La estructura se considera de múltiples grados de libertad con matriz de rigidez elástica y amortiguamiento viscoso equivalente. La demanda se representa mediante los modos predominantes y son considerados de forma independiente.

- Análisis dinámico no lineal:

La estructura se modela considerando propiedades no lineales y con un sistema de múltiples grados de libertad con una matriz de rigidez elástica e inelástica. La demanda sísmica se idealiza en base a registros sísmicos pasados escalados a un nivel de PGA requerido. Se puede considerar un análisis más detallado y se obtiene las fuerzas y desplazamientos en cada instante de tiempo. En adición, se requiere usar varios registros sísmicos para cada estructura debido a que las características son variables.

El uso de cada tipo de análisis dependerá del nivel de cómputo que se requiera siendo el análisis dinámico no lineal el análisis con mayor esfuerzo ingenieril.

2.2.4.3 Método basado en juicio de expertos

Este método se basa en la experiencia de los investigadores frente a la vulnerabilidad sísmica de edificaciones.

2.2.5 Desempeño sísmico de las edificaciones

Diversas normas proponen este método de evaluación de las estructuras existentes o nuevas. Se basa en función al punto de desempeño, que está asociado a la ductilidad, disipación, rigidez y resistencia.

El nivel de daño se estima a partir de las derivas de entrepiso ya que representa una relación directa al daño de la estructura (el principal parámetro) (Aguiar & González, 2006).

Las normativas más utilizadas en el campo ingenieril son: Comité VISION 2000 (SEAOC 1995), ATC-40(1996) y FEMA 356(2000). Estas normativas son descritas a continuación:

2.2.5.1 VISION 2000 (SEAOC,1995)

Define cuatro niveles de demanda sísmica cada uno asociado a la probabilidad de ocurrencia en un periodo de exposición. Estos valores se pueden observar en la Tabla N° 2.2.

Tabla N° 2.2 Demanda sísmica propuesta por VISION 2000 (SEAOC, 1995)

Sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Periodo de retorno
Sismos frecuentes	70%	43 años
Sismos ocasionales	50%	72 años
Sismos raros	10%	475 años
Sismos muy raros	5%	970 años

Mientras que para los niveles de desempeño se proponen 5 límites en función al desplazamiento de la estructura y los diagramas de fuerza deformación. Por lo que los parámetros fundamentales para medir el desempeño son el desplazamiento de fluencia y el desplazamiento en el rango inelástico. Estos niveles son denominados como: Totalmente operacional, Operacional, Resguardo de vida, Cerca al colapso y Colapso (Tabla N° 2.3).

Tabla N° 2.3 Niveles de desempeño propuesto por VISION 2000 (SEAO, 1995)

Nivel de desempeño	Descripción de los daños	Estado de daño	Límite de desplazamiento del sistema
Totalmente operacional	Daño estructural y no estructural despreciable o nulo. Todas las instalaciones y servicios operan normalmente luego del sismo.	Despreciable	Δy
Operacional	Daños ligeros en elementos estructurales y en componentes no estructurales. Las instalaciones y servicios están operativos o podrían estar parcialmente interrumpidos, pero de fácil recuperación.	Leve	$\Delta y + 0.30 \Delta p$
Resguardo de vida	Daño estructural y no estructural moderado. La estructura aún conserva un margen de seguridad contra el colapso. El edificio podría repararse, aunque no siempre sea económicamente aconsejable.	Moderado	$\Delta y + 0.60 \Delta p$
Cerca al colapso	Daño estructural severo. Falla de elementos no estructurales. La seguridad de los ocupantes se encuentra comprometida, las réplicas podrían ocasionar colapso.	Extenso	$\Delta y + 0.80 \Delta p$
Colapso	Colapso estructural. No es posible reparar la edificación.	Completo	$\Delta y + 1.00 \Delta p$

A su vez mediante el análisis no lineal se puede construir la curva fuerza desplazamiento, de esta forma podemos establecer estos límites de desempeño, como se aprecia en la Figura N° 2.9.

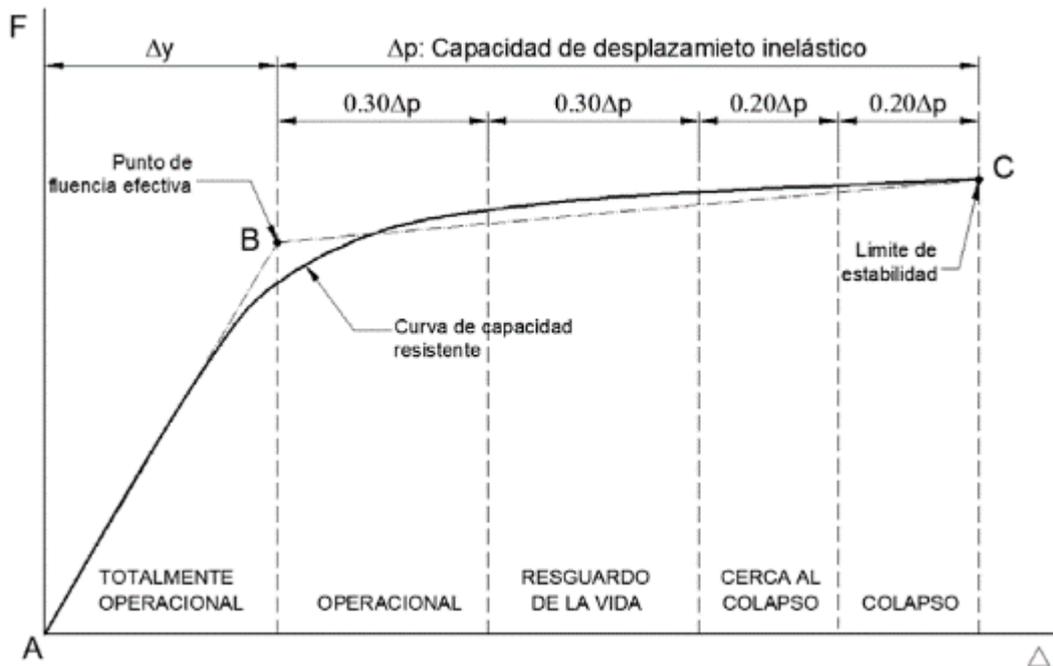


Figura N° 2.9 Curva de desempeño propuesta por VISION 2000 (SEAOC, 1995)

2.2.5.2 ATC-40 (1996)

En el documento elaborado por el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC-40, 1996) se presentan límites para las edificaciones de diferentes sistemas estructurales, de esta forma establecemos los niveles de desempeño. En las normativas anteriores a través de las curvas fuerzas vs deformación y las demandas sísmicas se encuentra el punto de desempeño.

Los niveles de desempeño se describen a continuación:

Ocupación inmediata (SP-1):

Los daños son pequeños y la estructura permanece en la mayoría de los casos sin perder la capacidad y resistencia inicial

Daño controlado (SP-2)

Los daños pueden ocurrir en elementos no estructurales sin representar un peligro a los elementos estructurales.

Seguridad (SP-3)

Algunos elementos estructurales pueden verse afectados en un porcentaje elevado. Aunque, la posibilidad de falla global sería muy baja.

Seguridad Limitada (SP-4)

Varios elementos estructurales han sobrepasado el rango elástico por lo que han fallado. Se tiene que reforzar la estructura para recuperar la resistencia inicial.

Estabilidad estructural (SP-5)

Demasiados elementos estructurales han sobrepasado el límite después de un evento sísmico, por los que se encuentra en un estado muy cerca al colapso.

De igual forma la normativa ATC-40 plantea estos límites en la curva fuerza deformación que se construye a partir de un análisis no lineal. Tal como se presenta en la Figura N° 2.10.

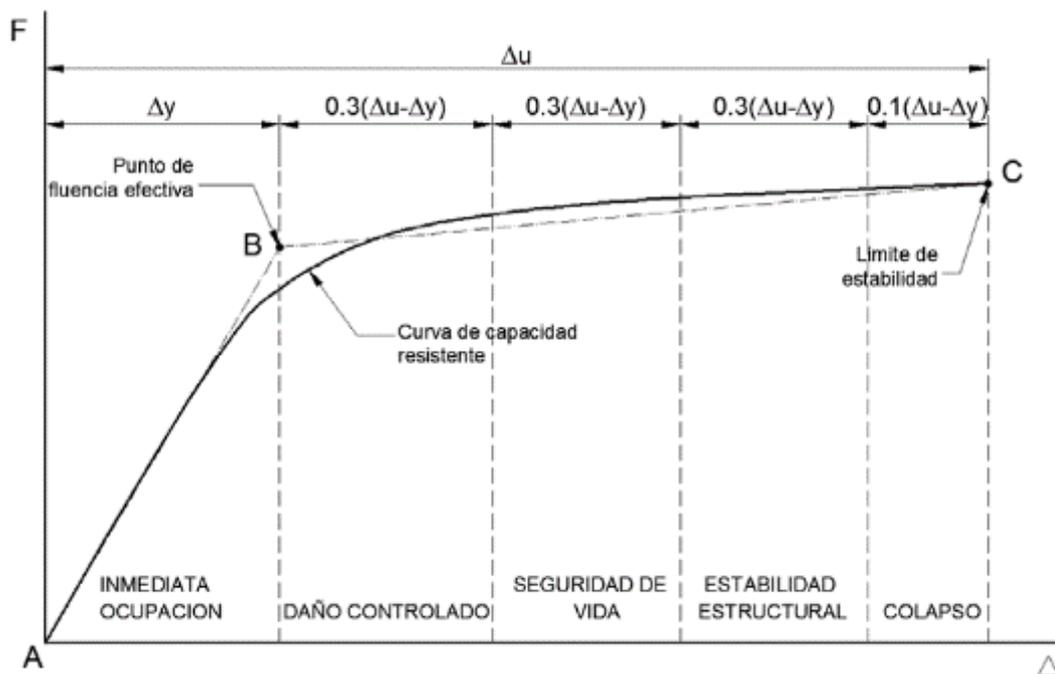


Figura N° 2.10 Curvas de desempeño
(ATC-40,1996)

2.2.5.3 FEMA 356(2000)

La agencia federal para el manejo de emergencias plantea directrices para la rehabilitación sísmica de edificaciones de diferentes sistemas estructurales y así promovemos el buen uso de las prácticas de diseño.

Establece 4 niveles de demanda sísmica que son descritos en la Tabla N° 2.4:

Tabla N° 2.4 Demanda sísmica
(FEMA 356, 2000)

Descripción	Probabilidad de excedencia	Periodo medio de retorno (Años)
Sismo frecuente	50%/50 años	72
Sismo ocasional	20%/50 años	225
Sismo raro	10%/50 años	474
Sismo muy raro	2%/50 años	2475

Los niveles de desempeño considerados considerado por la normativa FEMA 356 (2000) son los que se describen a continuación:

Inmediata ocupación estructural (S-1)

Los daños permanecen seguros y se puede ocupar inmediatamente la edificación. La rigidez y el esfuerzo de la estructura se mantienen intactos.

Control de daño estructural (S-2)

El daño que se genera es mínimo y se puede reparar inmediatamente. Se garantiza la continuidad de la estructura.

Seguridad de vida estructural (S-3)

Algunos elementos estructurales presentan daños. Aunque, el margen para iniciar el colapso todavía es alejado.

Seguridad limitada (S-4)

Varios elementos estructurales han alcanzado su capacidad máxima pudiendo alcanzar el colapso. Se necesita el reforzamiento estructural.

Prevención del colapso (S-5)

La mayoría de los elementos estructurales y no estructurales han alcanzado su límite máximo por lo que la estructura está próxima a colapsar. En este estado la estructura solo está soportando cargas por gravedad de acuerdo con los criterios de aceptación especificados.

La Tabla N° 2.5 representa la matriz de desempeño propuesta por la normativa FEMA 356 (2000) y las letras representan los objetivos discretos (Básicos de seguridad, mejorados y limitados).

Tabla N° 2.5 Matriz de desempeño
(FEMA 356, 2000)

		Objetivos Principales para Niveles de Desempeño en Edificios			
		Operacional	Ocupación inmediata	Seguridad de Vida	Prevención del colapso
Demanda sísmica	50%/50 años	a	b	c	d
	20%/50 años	e	f	g	h
	10%/50 años	i	j	k	l
	2%/50 años	m	n	o	p

2.2.6 Modelo constitutivo de los materiales

2.2.6.1 Concreto

Existen diversos modelos constitutivos de esfuerzo deformación para el concreto. Sin embargo, la relación de Mander propone un modelo para la parte confinada y no confinada en base a un análisis de ductilidad. Esta relación se puede apreciar en la Figura N° 2.11, relacionado el módulo de elasticidad, módulo secante del concreto, deformación de la parte confinada y no confinada y esfuerzo a la compresión del concreto.

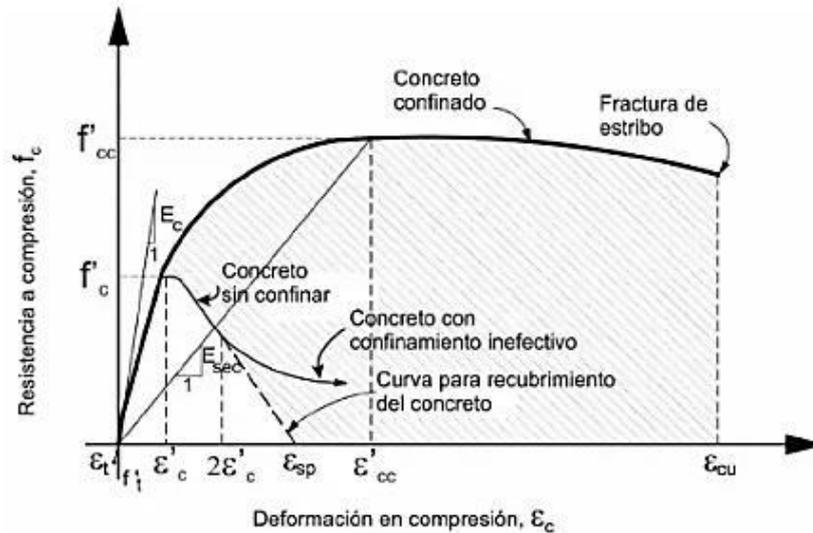


Figura N° 2.11 Modelo constitutivo de Mander para concreto confinado y no confinado (Mander, 1988)

2.2.6.2 Acero de refuerzo

El acero es representado por modelos donde éste trabaja a tracción pura y alcanza la zona inelástica cuando llega a la fluencia y desde esta parte se considera perfectamente plástico. Este modelo fue propuesto por Park y Paulay en 1978.

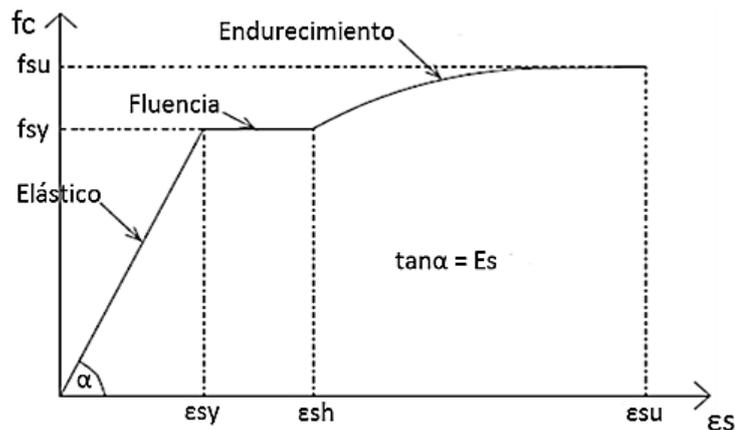


Figura N° 2.12 Modelo constitutivo del acero de refuerzo (Park y Paulay, 1978)

2.2.7 Método simplificado de Miranda

La metodología simplificada propuesta por Miranda (1999) para determinar la respuesta sísmica de la estructura se basa en función de productos de los índices β_i definidos por el autor y el desplazamiento espectral (S_d), para sistemas de un grado de libertad, asociado al periodo predominante dividido entre la altura de la edificación. Esta distorsión se aprecia en la ecuación 2.12.

$$\gamma = \frac{\beta_1 * \beta_2 * \beta_3 * \beta_4}{h} * S_d \quad 2.12$$

De igual forma, si se requiere utilizar una expresión en función de la pseudo aceleración es necesario hacer un reemplazo de la siguiente manera:

$$\gamma = \frac{\beta_1 * \beta_2 * \beta_3 * \beta_4 * T^2}{4\pi^2 h} * S_a \quad 2.13$$

Donde:

β_1 : Coeficiente entre el desplazamiento elástico y espectral.

β_2 : Coeficiente entre la distorsión máxima y global.

β_3 : Coeficiente entre el desplazamiento inelástico y elástico.

β_4 : Coeficiente entre la distorsión inelástico y elástico.

h: Altura total de la edificación

S_a : Aceleración espectral

Podemos definir los índices beta como valores que son calculados en diferentes situaciones: Los primeros dos índices β_1 y β_2 son calculados en el rango elástico de la estructura. Mientras, β_3 y β_4 son calculados en el rango inelástico.

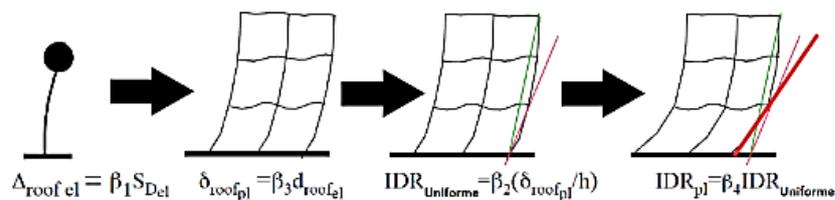


Figura N° 2.13 Índices β para el rango elástico e inelástico (Quiroz, 2017)

Para calcular los índices en el rango elástico es necesario tener la respuesta del desplazamiento en el techo y sus respectivas distorsiones para sistemas de un grado de libertad.

Se describirá el procedimiento para obtener los cuatro índices β :

- **Obtención del parámetro β_1 :**

Para la obtención del parámetro β_1 es importante considerar el desplazamiento máximo en el último nivel (Δ_{techo}) y el desplazamiento espectral que se origina (S_d). Esto se obtiene a partir del rango lineal de la estructura. Dependerá del tipo de

sistema estructural, el número de pisos, entre otros. Se entiende β_1 como el paso del sistema de un grado de libertad a sistema de múltiples grados de libertad.

$$\beta_1 = \frac{\Delta_{techo}}{S_d} \quad 2.14$$

- **Obtención del parámetro β_2 :**

Para la obtención del parámetro β_2 se relaciona la máxima distorsión de entrepiso (γ) y la distorsión global de la estructura (γ_g). Se entiende por distorsión de entrepiso (γ) como el cociente entre el desplazamiento lateral y la altura del entrepiso.

$$\beta_2 = \frac{\gamma}{\gamma_g} \quad 2.15$$

- **Obtención del parámetro β_3 :**

A partir de este índice se requiere un análisis a mayor profundidad debido a que la parte inelástica de la estructura es estudiada. Se puede obtener a través de análisis no lineal estático. De esta forma podemos graficar la curva de capacidad de la estructura y así relacionar el desplazamiento máximo en el techo en dicho rango.

Para la obtención del índice β_3 se relaciona el desplazamiento máximo lateral obtenido de un análisis no lineal ($\Delta_{inelástico}$) y el máximo desplazamiento lateral obtenido en el rango lineal ($\Delta_{elástico}$).

$$\beta_3 = \frac{\Delta_{inelástico}}{\Delta_{elástico}} \quad 2.16$$

En el estudio simplificado de Miranda (1999) se han realizado análisis experimentales de diversos sistemas estructurales (pórticos, muros estructurales, albañilería confinada formal e informal, entre otros), de esta forma se obtiene un valor de β_3 en función de la demanda por ductilidad y el periodo asociado al primer modo de vibración (predominante). Como se aprecia en la ecuación 2.17

$$\beta_3 = \left[1 + \left(\frac{1}{\mu_d} - 1 \right) * e^{-12 * T * \mu_d^{-0.8}} \right]^{-1} \quad 2.17$$

Donde

T: Periodo predominante de la estructura (s)

El parámetro μ_d queda definido como la ductilidad para cada demanda sísmica, en otras palabras, la relación entre el desplazamiento máximo para la demanda y el desplazamiento en el punto de cedencia.

- **Obtención del parámetro β_4 :**

Para la obtención del índice β_4 se relaciona los parámetros β_2 considerados para la parte inelástica ($\gamma_{inelástica}$) y elástica ($\gamma_{elástica}$). Se interpreta como la transferencia del desplazamiento máximo en el último nivel del rango elástico a inelástico.

$$\beta_4 = \frac{\gamma_{inelástica}}{\gamma_{elástica}} \quad 2.18$$

Así como el índice β_3 , a través de análisis experimentales se obtiene un valor para β_4 en base a la ductilidad de demanda sísmica (μ_d) y el número de pisos de la edificación (N).

$$\beta_4 = 1 + \frac{\mu_d}{30} + \frac{N}{200} \quad 2.19$$

Los parámetros β_3 y β_4 se obtienen a través de un análisis no lineal. Por lo que se explicará el procedimiento a seguir para un análisis de este tipo:

2.2.7.1 Análisis no lineal estático

Mediante esta técnica simple y rápida de utilizar se puede comprender la capacidad de la estructura ante un patrón de cargas distribuidas en función de los periodos predominantes. El procedimiento principal es incrementar un patrón de cargas a través de una serie de análisis elásticos.

A través del modelamiento de la estructura se puede calcular los parámetros modales, con esto se obtiene una distribución de fuerzas horizontales que serán aplicadas a cada entrepiso hasta que el límite de la estructura sea alcanzado. Esto se expresa mediante rótulas plásticas que indican el comportamiento de cada elemento estructural.

En un análisis no lineal estático es conveniente representar variables complejas como variables simplificadas como es el caso de la demanda sísmica. Por lo que se emplea una distribución de fuerzas sísmicas equivalentes. Los valores de estas dependen de la forma modal del primer modo de vibración para el caso de

estructuras regulares. Como se observa en la Figura N° 2.14 las fuerzas equivalentes pueden ser de forma triangular, parabólica o uniforme. Aunque, en la práctica se acostumbra a usar las triangulares ya que representa mejor a la fuerza sísmica.

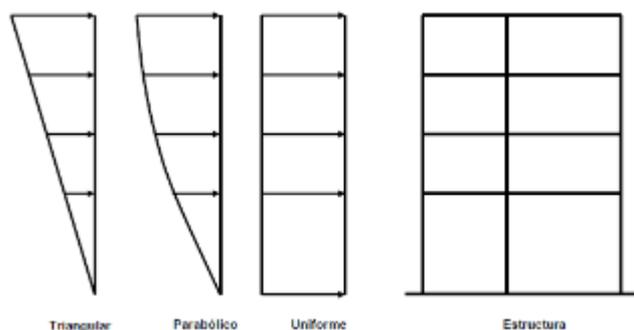


Figura N° 2.14 Patrón de cargas frente a una estructura

Cálculo de la curva de capacidad

Para analizar la estructura global se debe conocer la relación momento curvatura o momento rotación de los elementos estructurales para cada carga lateral que se incrementa. A partir de esto se obtienen rigideces, deformaciones, momentos, cortantes. Un punto importante de la curva de capacidad a encontrar es donde la pendiente cambia de la parte lineal a la no lineal.

Cada elemento estructural es definido mediante rótulas plásticas, estas permiten simular los daños que sufrirán frente al incremento del patrón de cargas.

Como paso final para graficar la curva de cortante deformación, se debe calcular los desplazamientos en un punto de control en el techo debido a que ahí se presenta el caso más desfavorable para la estructura y será asociado a la cortante basal para ese paso.

Es importante tener en consideración que este tipo de análisis posee limitaciones como cualquier otro método de análisis sísmico, que son descritas a continuación:

- En el campo ingenieril la principal forma de cuantificar los daños es a través de las deformaciones que se producen en los entrepisos, sin tener en cuenta que se produce una disipación de energía mediante un análisis cíclico.

- Este método se aplica a estructuras con forma regular, por lo cual los efectos de torsión evaluados para otro tipo de edificaciones no son considerados.
- La distribución de cargas solo considera las direcciones principales como son las horizontales, mientras que las verticales son despreciadas.
- Se aplica regularmente a estructuras de bajo período ya que el modo predominante es el primero. Mientras, para estructuras de periodos largos los modos de vibración se concentran en más de una forma modal.
- Cálculo del espectro de capacidad

Para el cálculo del punto de desempeño de la estructura es necesario convertir la curva de capacidad obtenida a un espectro de capacidad, a través de un cambio de variable, de manera que la cortante de la base se convierta a aceleración espectral y el desplazamiento a desplazamiento espectral.

Mediante el uso de la normativa ATC-40 (1996) se convierte la curva de capacidad a términos espectrales, como se describe a continuación:

La pseudo aceleración se expresa en función de la gravedad (g), para finalmente obtener el primer modo de vibración

$$S_{ai} = \frac{V_i/W}{\alpha_1} \quad 2.20$$

Donde:

S_{ai} : Pseudo aceleración asociado al modo i

W : Peso de la edificación

g : Gravedad

El desplazamiento espectral viene a ser denotado por la siguiente ecuación:

$$S_{di} = \frac{\Delta_{techo}}{PFR1} \quad 2.21$$

Donde:

S_{di} : Desplazamiento espectral

Δ_{techo} : Desplazamiento del techo

$PFR1$: Factor de participación modal asociado al primer modo de vibración

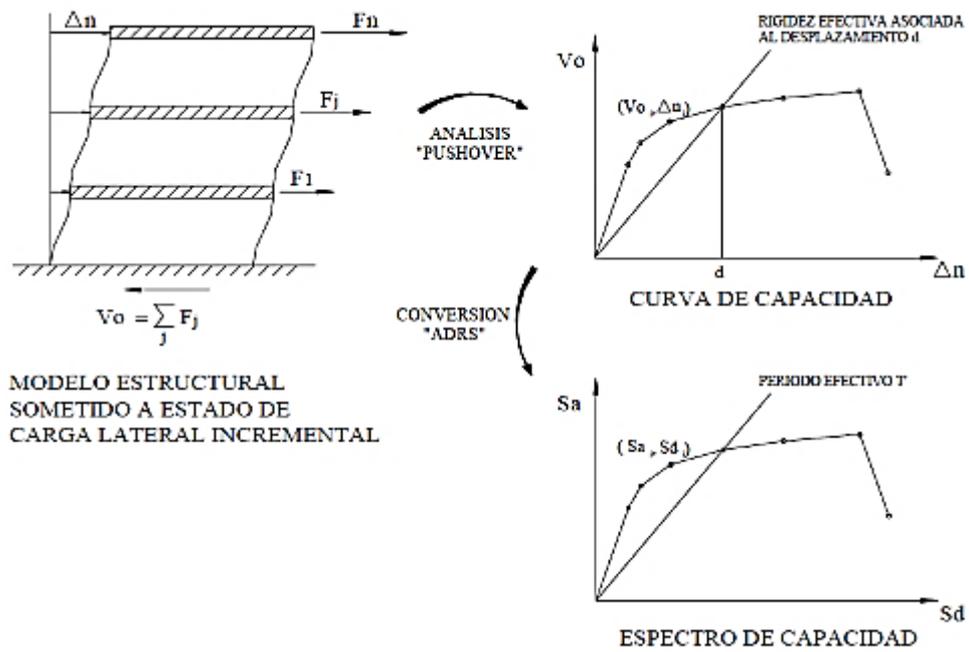


Figura N° 2.15 Transformación a términos espectrales de la curva capacidad (ATC-40,1996)

Los factores de participación modal para un sistema de múltiples grados de libertad son representados a través de masas concentradas, que representan un entrepiso y este sistema se comporta como un péndulo invertido. Como se observa en la Figura N° 2.16

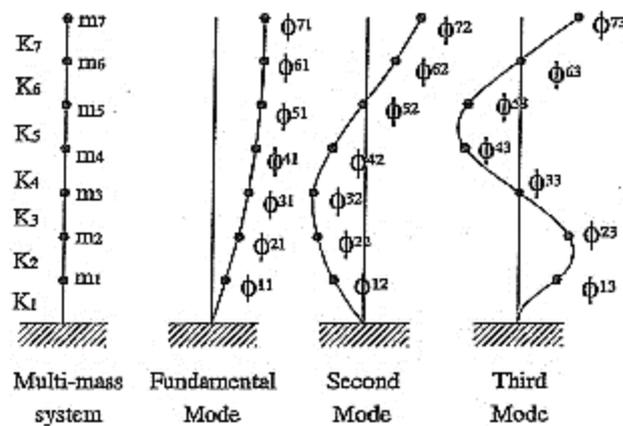


Figura N° 2.16 Sistema de múltiples grados de libertad (ATC-40, 1996)

Las masas concentradas pueden ir a cualquier dirección dependiendo del modo de vibración que se quiera analizar. La forma como actuará la estructura es una combinación lineal de todos los modos de vibración. Aunque, para un caso práctico se toma los modos predominantes. Un sistema de múltiples grados de libertad (MDOF) puede ser representado por un sistema de un grado de libertad (SDOF), mediante el cual se puede calcular la respuesta frente a la demanda sísmica.

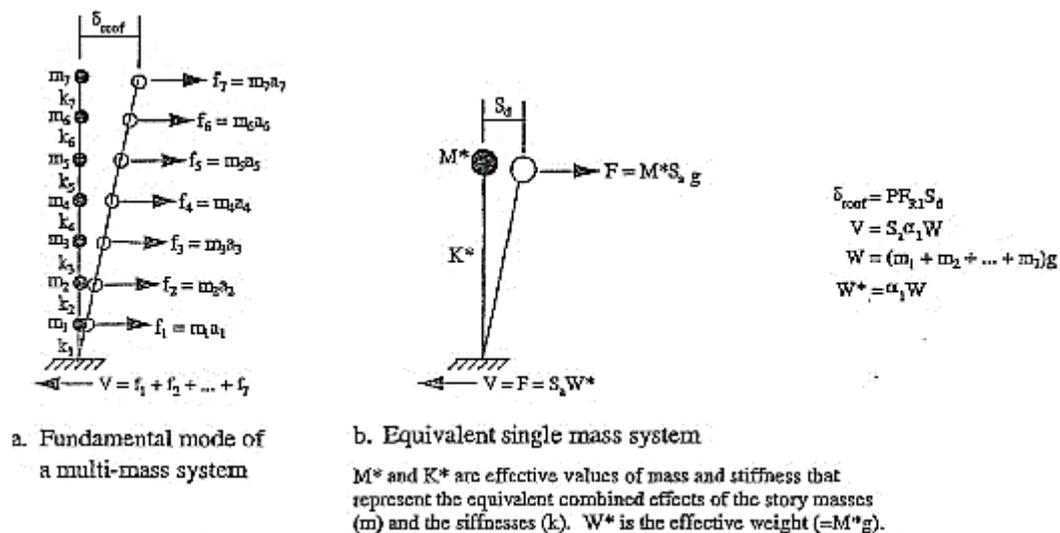


Figura N° 2.17 Equivalencia de MDOF a SDOF
 (ATC-40, 1996)

El factor de participación modal se puede obtener mediante el producto de la masa concentrada de entrepiso y las formas modales de las estructuras.

- Cálculo del espectro de la demanda sísmica

Se suele representar a la demanda sísmica a través de un espectro de respuesta, el cual contiene la respuesta máxima para un sistema de un grado de libertad. De igual forma la demanda sísmica se expresa en términos espectrales para lograr obtener el punto de desempeño.

La normativa ATC-40 (1996) plantea tres niveles de demanda sísmica que se deben analizar, los cuales se describen a continuación:

Sismo de Servicio (SDS):

El Sismo de Servicio es definido como el nivel de sismo que tiene un 50% de probabilidad de ser excedido en un período de 50 años. Este nivel de sismo es

típicamente 0.4 veces el Sismo de Diseño. El Sismo de Servicio representa un nivel frecuente de sacudimiento del suelo que es probable a ser experimentado durante la vida del edificio.

Sismo de Diseño (SDD):

El Sismo de Diseño es definido como el sismo que tiene 10% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. El Sismo de Diseño representa un nivel de sacudida del suelo que puede ocurrir durante la vida del edificio. En términos probabilísticos el Sismo de Diseño tiene un periodo de retorno medio de aproximadamente 475 años.

Sismo Máximo Considerado (SMC):

El Sismo Máximo es definido como el máximo nivel de sismo que se puede esperar en el lugar donde está situado el edificio dentro de un conocido marco- geológico de trabajo. Esta intensidad de movimiento de suelo puede ser calculado como el nivel de sismo que tiene un 2% de probabilidad de ser excedido en un periodo de 50 años. Este nivel de movimiento es 1.5 veces el nivel de movimiento de la base para un Sismo de Diseño. En términos probabilísticos, el Sismo Máximo Considerado tiene un periodo de retorno de 2475 años.

Se debe tener en cuenta para usar los tres niveles de demanda sísmica, primero es necesario calcular el espectro de respuesta elástico que propone la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018) mediante la siguiente expresión:

$$S_a = \frac{ZUCS}{R} g \quad 2.22$$

Donde:

S_a : Aceleración espectral

Z: Factor de zona

U: Factor de uso

C: Factor de amplificación sísmica

S: Factor de suelo

R: Coeficiente de reducción sísmica

- Cálculo del punto de desempeño

Con la demanda y capacidad transformados a términos espectrales se superpone para obtener la respuesta máxima de la estructura, la cual pertenece a la intersección de ambas curvas. Representa el máximo desplazamiento estructural para una determinada demanda sísmica.

Normativas internacionales proponen métodos para determinar el punto de desempeño, tales como ATC-40(1996), FEMA 356 (2000), FEMA 273 (1979), entre otros.

Se describe a continuación el método de espectro capacidad propuesto por la Norma ATC-40 (1996):

- Desarrollar el espectro de respuesta elástico, en otras palabras, sin considerar el factor de reducción, para el caso de estudio.
- Transformar la curva de capacidad y demanda a términos espectrales.
- Se interseca los gráficos y se obtiene el punto de desempeño.
- Obtenemos la ductilidad del sistema.

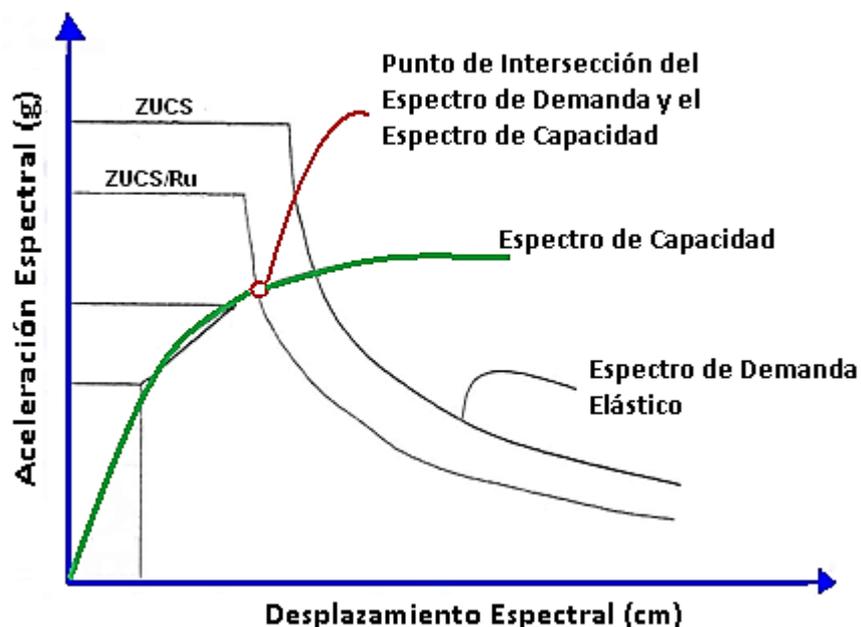


Figura Nº 2.18 Obtención del punto de desempeño
(SEAOC, 1995)

El punto de desempeño permite calcular la respuesta máxima del sistema, obtener la salud estructural de la estructura asociada a los niveles de desempeño, evaluar de forma práctica la estructura frente a niveles de demanda sísmica.

De todas formas, al ser un procedimiento correspondiente a un análisis estático no lineal, la respuesta no es la real. Sin embargo, permite conocer que elementos estructurales tendrían un posible daño ante un eventual sismo. Se puede complementar un análisis dinámico no lineal que es la evaluación más compleja de realizar en la actualidad.

- Grado de daño para sistema estructural de albañilería confinada

La finalidad del punto de desempeño es establecer grado de daño en los elementos estructurales locales y globales.

Tabla N° 2.6 Daño y estado de daño para muros de albañilería propuesto por
(Zavala et al, 2019)

Distorsión ($\times 10^{-3}$)	Estado de daño	Nivel de desempeño
$\gamma < 0.47$	Sin daño	Operacional(O)
$0.47 < \gamma < 0.67$	Leve	Ocupación inmediata (IO)
$0.67 < \gamma < 1.00$	Moderado	Seguridad de vida (LS)
$1.00 < \gamma < 1.82$	Severo	Prevención de colapso (CP)
$\gamma \geq 5$	Colapso	Colapso(C)

2.2.7.2 Factores de corrección para distorsiones

La metodología propuesta por Miranda (1999) generalmente se aplica en un trabajo de gabinete y con estructuras regulares para obtener los factores de corrección β , por lo tanto, luego se deberían contemplar castigos por las posibles irregularidades que se encuentran en las estructuras.

Existen factores de corrección que modifican las distorsiones de las estructuras tomando en cuenta la irregularidad vertical, irregularidad en planta, edad de la edificación, tipo de suelos, entre otros (Applied Technology Council (ATC-40), 1996). Se muestra a continuación en la Tabla N° 2.7 valores según FEMA-154 (2002) bajo la perspectiva de evaluación rápida visual para edificaciones con alto potencial sísmico y la Tabla N° 2.8 muestra los factores de castigo definidos mediante juicio de expertos.

Tabla N° 2.7 Evaluación rápida de edificaciones según FEMA-154 (2002)

RAPID VISUAL SCREENING OF BUILDINGS FOR POTENTIAL SEISMIC HAZARDS				
TIPO DE EDIFICACIÓN	C1 (PÓRTICOS DE CONCRETO ARMADO)		RM2 (ALBAÑILERÍA INFORMAL)	
PUNTUACIÓN BASE	2.5		2.8	
IRREGULARIDAD VERTICAL	-1.5	60%	-1	36%
IRREGULARIDAD EN PLANTA	-0.5	20%	-0.5	18%
PRE-CÓDIGO	-1.2	48%	-0.8	29%
POST BENCHMARK	1.4	56%	2.6	93%
SUELO TIPO C	-0.4	16%	-0.4	14%
SUELO TIPO D	-0.6	24%	-0.6	21%
SUELO TIPO E	-1.2	48%	-0.6	21%

Tabla N° 2.8 Factor de castigo determinado por juicio de expertos

(Proyecto APESEG-CISMID, 2004)

FACTOR DE CASTIGO POR JUICIO DE EXPERTOS - DISTORSIÓN	
TIPO DE EDIFICACIÓN	FACTOR DE CORRECCIÓN
DETERIORO	1.1
IRREGULARIDAD VERTICAL	1.2
PISO BLANDO	1.5
TORSIÓN	1.3
IRREGULARIDAD EN PLANTA	1.3
SEPARACIÓN INSUFICIENTE	1.2
EXTRAPESADOS	1.1
COLUMNA CORTA	1.3
POST CÓDIGO	1.1

2.2.8 Método de índice de vulnerabilidad de Nakamura

2.2.8.1 Evaluación de la vulnerabilidad de la edificación

Mediante el uso del índice de Nakamura (2008), se determina la vulnerabilidad de una estructura en base a mediciones a vibraciones ambientales. En consecuencia, este parámetro evalúa el potencial daño que ocasiona un sismo en regiones urbanas.

Usualmente se evalúa el daño una estructura mediante la distorsión de entrepiso, siendo la relación entre la diferencia de desplazamiento del entrepiso y la altura. Por lo que se plantea el coeficiente α (aceleración efectiva), que es una parte de la aceleración en la estructura.

$$\alpha = e * a \quad 2.23$$

Donde:

e: Efectividad del movimiento del suelo en la estructura.

α : aceleración efectiva.

a: aceleración del suelo.

A través de las características dinámicas de las estructuras se puede determinar la amplitud y la frecuencia asociada al periodo predominante del sistema. El desplazamiento en un nivel de la estructura δ_i se aprecia en la Figura N° 2.19 y está asociado a la frecuencia fundamental F y a la amplitud del espectro de Fourier A_i para el piso i relacionándose de la siguiente manera:

$$\delta_i = \frac{A_i * \alpha}{(2\pi F)^2} \quad 2.24$$

La distorsión de entrepiso γ_i para el nivel i queda denotada por:

$$\gamma_i = \frac{\delta_{i+1} - \delta_i}{h_i} \quad 2.25$$

Reemplazando la ecuación 2.24 en la ecuación 2.25 se obtiene:

$$\gamma_i = \frac{(A_{i+1} - A_i) * \alpha}{(2\pi F)^2 * h_i} = e * K_{bi} * a \quad 2.26$$

$$K_{bi} = \frac{(A_{i+1} - A_i)}{(2\pi F)^2 * h_i} * 10000 \quad 2.27$$

Donde:

A_i : Amplitud asociada al periodo fundamental para el entrepiso i

A_{i+1} : Amplitud para el entrepiso i+1

h_i : Altura del entrepiso

F: Frecuencia fundamental de la estructura

La ecuación 2.27 calcula la distorsión de entrepiso en base a el índice K_{bi} multiplicado por la aceleración de la vibración libre (a) y el coeficiente de efectividad (e) definido en el párrafo anterior.

En caso no se cuente con la medición de todo el entrepiso se puede calcular el índice de vulnerabilidad promedio en función del nivel superior:

$$avK_b = \frac{A}{H(2\pi F)^2} * 10000 \quad 2.28$$

H: Altura total de la edificación en m

Utilizando el método de Nakamura (2008), se pueden obtener las características dinámicas de las estructuras, permitiendo la comparación con los valores obtenidos en los diseños de la edificación.

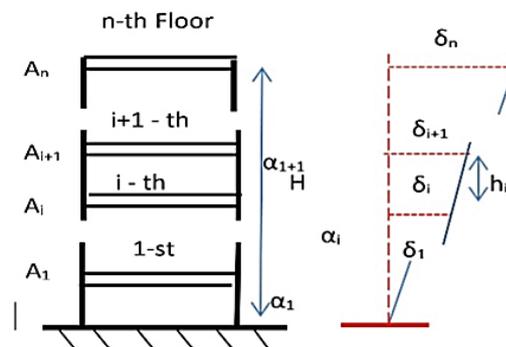


Figura N° 2.19 Parámetros de una estructura δ , h , A en base al método de Nakamura (Oynakov, 2023)

Existen diversas investigaciones donde se ha utilizado el método del índice de vulnerabilidad de Nakamura asumiendo diferentes valores para la efectividad. Según El estudio realizado al Instituto Nacional de Geofísica, Geodésica y geografía (Oynakov, 1980) la efectividad se asume como 33.33% de la aceleración en estudio. En otra investigación realizada en cuatro viaductos de pórticos rígidos en Japón Daiichi-Noma, Tokitomo, Hansui y Shimokema (Nakamura, 1997) la efectividad se asume como 100% de la aceleración en estudio y en otra investigación en tres monumentos históricos de Estambul Mezquita de Süleymaniye, Museo de Santa Sofía y Mezquita Sehzade (Sato, 2008) se asume la efectividad como 33.33% de la aceleración en estudio.

La efectividad de acuerdo con estas referencias es asumida y no calculada, de acuerdo con la experiencia del investigador que toma las mediciones.

2.2.8.2 Evaluación de la vulnerabilidad a nivel del suelo

Así como existe índice de vulnerabilidad para cada entrepiso, también se puede obtener un índice para el suelo con la data obtenida, otros índices que se pueden calcular son índice del elemento K_d , índice de la estructura K_s , entre otros. La ecuación 2.29 muestra el índice asociado a la amplitud y frecuencia fundamental del suelo:

$$K_g = \frac{A^2}{F} \quad 2.29$$

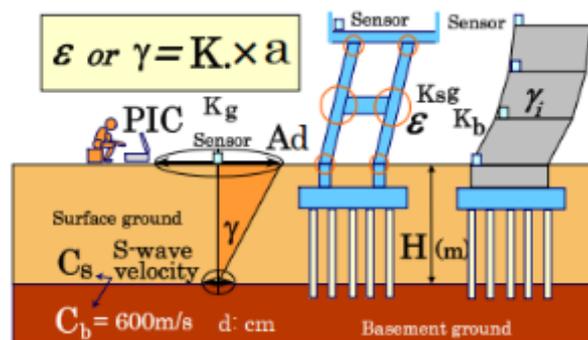


Figura N° 2.20 Determinación de distorsiones en la estructura y el suelo
 (Nakamura, 2008)

Es sumamente importante analizar la deformación de corte para el suelo. En general para valores de deformación de corte (γ) de la superficie del suelo mayores a $1000 \cdot 10^{-6}$ comienzan a mostrar características no lineales y grandes deformaciones y para valores mayores a $10000 \cdot 10^{-6}$ la probabilidad de que ocurra un colapso es alta.

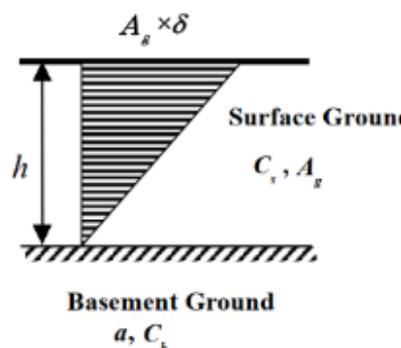


Figura N° 2.21 Deformaciones de corte para las superficies del suelo
 (Nakamura, 2008)

La forma de calcular las deformaciones de corte en la superficie del suelo, como se muestra en la Figura N° 2.21 es:

$$\gamma_g = A_g * \frac{\delta}{h} \quad 2.30$$

A_g : Amplificación asociada al registro obtenido del suelo.

γ_g : Deformación de corte promedio.

Las velocidades de las ondas s en la base y en la superficie son considerados como C_b y C_s respectivamente, asociadas a la frecuencia predominante del suelo F_g :

$$F_g = \frac{C_b}{4A_g h} \quad 2.31$$

Por lo que la deformación de corte queda expresada en función de los valores de F_g , A_g y C_b . Esto se puede apreciar en la ecuación 2.32.

$$\gamma = \frac{A_g}{F_g} * \frac{\alpha_b}{\pi^2 * C_b} \quad 2.32$$



2.3 Definición de términos

a) Vulnerabilidad

Capacidad de una vivienda para resistir eventos sísmicos y depende del diseño y la calidad de la construcción. (Quiroz, 2017)

b) Transformada de Fourier

Es una transformada de señales aleatorias en el dominio del tiempo al dominio de la frecuencia, que es representada por senos y cosenos (Tejada, 2011).

c) Distorsión

Es una forma de medida para cuantificar el daño en la estructura, mediante la relación desplazamiento y altura de entrepiso (ATC, 1996).

d) Rigidez

La oposición que un material, un elemento o una estructura presentan frente a la deformación (Key, 1988).

e) Daño

Deterioro de elementos estructurales (columnas, muros estructurales, vigas, entre otros) y no estructurales debido a la acción de fuerzas internas o externas (Marulanda, 2013).

f) Riesgo

Consecuencias económicas y sociales provocadas por un sismo de una estructura, cuya capacidad resistente fue excedida por el terremoto (Martínez, 2014).

CAPÍTULO III. SISTEMA DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA

En este capítulo se presentan las descripciones de las características del lugar de estudio, así como el efecto de sitio. Se elabora el mapa de isoperiodos utilizando la razón espectral H/V de Nakamura a través de las mediciones de vibraciones ambientales desarrolladas en campo.

3.1 Descripción del lugar de estudio

El distrito de Villa El Salvador se encuentra ubicado en la parte sur de la Región de Lima Metropolitana, aproximadamente a 25 km de la capital. En adición presenta una altitud de 175 m sobre el nivel del mar. La Tabla N° 3.1 muestra los límites con los distritos aledaños. Así mismo el distrito se ubica entre las coordenadas 2849000 E - 8652500 N y 292260 E – 8644750 N. (Municipalidad Distrital de Villa El Salvador, 2011)

Tabla N° 3.1 Límites del distrito de Villa El Salvador

Orientación	Delimitación del distrito de Villa El Salvador
Este	Pachacamac
Oeste	Chorrillos y Océano Pacífico
Norte	Villa María del Triunfo
Sur	Lurín

A continuación, se presenta el plano base del distrito de Villa El Salvador donde se muestra las sectorizaciones que abarca el lugar de estudio. Esto se puede apreciar en la Figura N° 3.1.

A través de los años el distrito de Villa El Salvador ha sido expuesto a distintos eventos sísmicos, debido a que se encuentra ubicado cerca a la placa sudamericana y la placa de Nazca. Por citar algunos ejemplos como: sismo en Ica del año 1586, sismo de Lima en 1655, sismo de Pisco 1716, sismo de Lima en 1828, sismo de Lima en 1966, sismo de Lima y Callao en 1974, sismo de Pisco en 2007, entre otros.

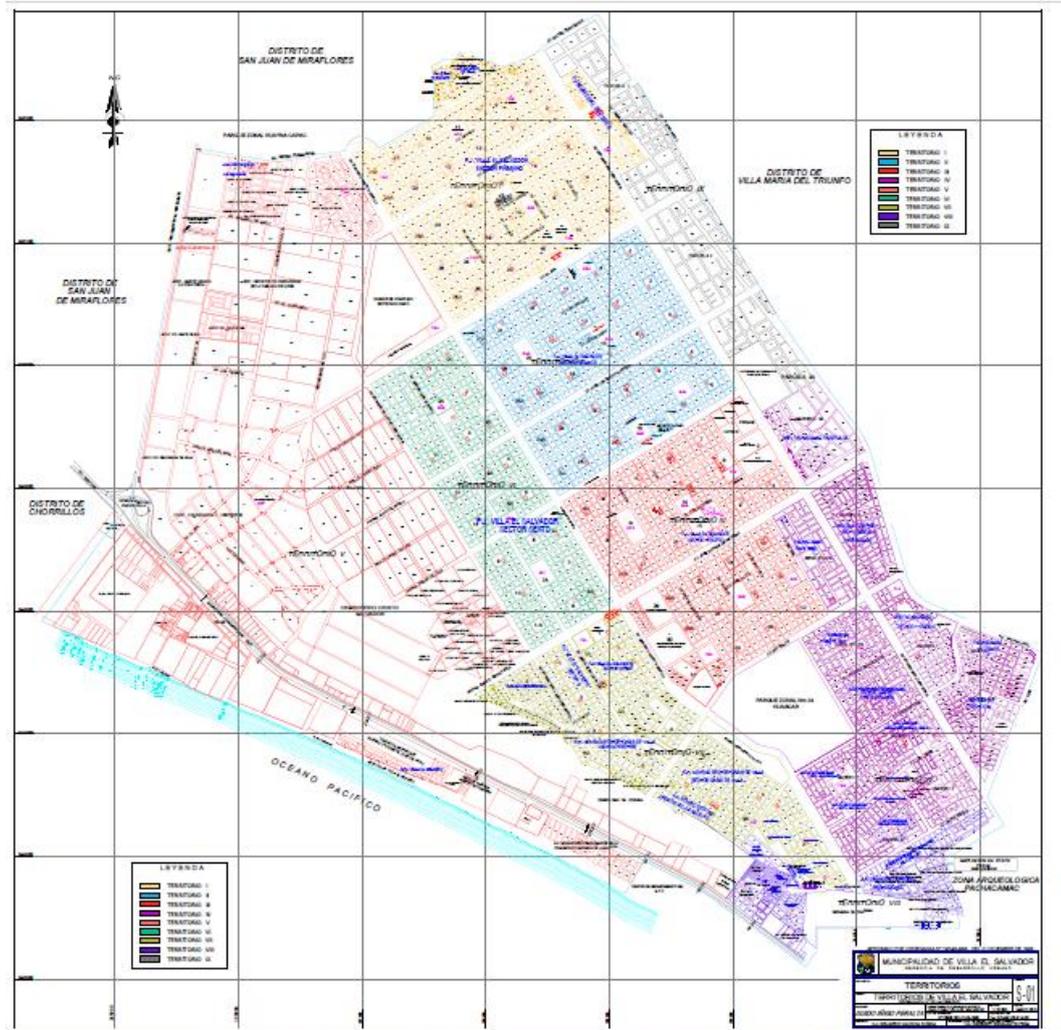


Figura N° 3.1 Mapa del distrito de Villa El Salvador- Lima
(CISMID, 2011)

3.2 Geología del distrito de Villa El Salvador

El distrito se formó a partir de procesos tectónicos y por la geomorfología de la región, a su vez la erosión y la cercanía al Océano Pacífico ayudó a la acumulación de grandes extensiones de material que se solidificó y contribuyó a la configuración actual del lugar.

Debido a las olas marinas se formaron las playas que constituyen el borde litoral, de igual forma la zona que se encuentra entre el borde litoral y lo que forma parte de la cordillera occidental se conoce como planicie costera y se constituye de sedimentación a consecuencia del río Lurín y por la erosión de las playas costeras; por último, la zona de cerro Lomo de Corvina está conformada por las acumulaciones eólicas y las migraciones de la arena de las playas costeras.

Esto ha conllevado al estudio del suelo por diversas entidades, caracterizando al distrito como una serie de afloramientos sedimentarios y depósitos debido a la erosión del terreno. El terreno presenta composición arcillo- calcárea, en consecuencia, es un suelo plástico.

- Estratigrafía

El Cerro Lomo de Corvina está conformado por roca sedimentaria del cretáceo inferior, depósitos no consolidados de origen marino y producto de los agentes eólicos.

En el cretáceo inferior a partir de rocas calizas se nota la presencia de colores rojizos intercalados con lutitas gris y verdes pertenecientes a la edad mencionada. En adición, en el cuaternario debido a los depósitos eólicos se han conformado cerros de arena como, por ejemplo, Cerro Lomo de Corvina hasta la tablada de Lurín, así mismo debido a los depósitos aluviales por el acarreamiento de sedimentos y rocas producto del río Lurín.

3.3 Características geotécnicas del distrito de Villa El Salvador

3.3.1 Perfil Estratigráfico

Las características geotécnicas del distrito de Villa El Salvador se obtienen a partir de estudios de mecánica de suelos con programas de exploración geotécnica y extracción de muestras, entre otros.

En la zona adyacente a la playa, parte oeste del distrito, se agrupan suelos de arena de grano fino, compactación altamente suelta y presencia de restos marinos y de categoría inestable. Así mismo, en otra parte de la zona oeste presenta suelo arcilloso, suelto y muy húmedo.

La zona conocida como Lomo de Corvina que se encuentra en el norte y limita con la Av. Panamericana Sur está conformada por relleno (existe la presencia de trozos de ladrillo, concreto y restos de bolsas plásticas) de hasta dos metros y tiene presencia de arena mal gradada, fina. En otra parte de la zona predomina material de arena mal gradada y compacidad suelta hasta por debajo de los dos metros.

La zona este incluye la parte de los asentamientos humanos, presenta rellenos de arena con profundidad de hasta 6 m según los estudios de CISMID (2011). En

promedio la profundidad de relleno es 2.5 m y está conformado por materia de descomposición, desperdicios de basura, entre otros.

La presencia de formaciones de roca se encuentra en los lugares de los asentamientos humanos de Las laderas, Los balcones, Álamos, entre otros. Estos tipos de suelos se ven reflejados en el mapa de isoperiodos del distrito de Villa El Salvador elaborado por CISMID (2011).

3.4 Características dinámicas del suelo del distrito de Villa El Salvador

Para determinar las velocidades de la onda de corte S y el periodo de vibración fundamental del terreno se han realizado investigaciones pasadas de MASW y ensayos actuales de microtemores. De esta manera se obtiene mediante métodos indirectos las profundidades, estratigrafías y propiedades dinámicas. (Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID), 2012)

3.4.1 Ensayo de MASW

Los resultados de los ensayos de Análisis Multicanal de Ondas de Superficie (MASW) fueron presentados en el estudio de zonificación sísmica del Distrito de Villa El Salvador mediante la utilización de sensores, convertidores análogos digitales, computadoras, entre otros. A través de ejes sísmicos definidos previos al ensayo, geófonos instalados y sus respectivos adquisidores de datos se registraron líneas de 53 m. En total se realizaron 14 pruebas en todas las longitudes.

La información recabada de las ondas de llegada debido a los golpes por la comba en el terreno son procesadas para obtener curvas de dispersión e interpretar los sondajes. En promedio se obtuvieron:

Tabla N° 3.2 Velocidades de onda S en el distrito de Villa El Salvador (CISMID, 2011)

ESTRATO	PROFUNDIDAD	VELOCIDAD ONDA S
PRIMER	0-2 m	185 m/s
SEGUNDO	2-7 m	335 m/s
TERCER	7-13 m	375 m/s
CUARTO	13-22 m	480 m/s

Así mismo, en la Figura N° 3.2 se muestra el mapa de velocidades de onda S máximas que se presentan en el distrito de Villa El Salvador.

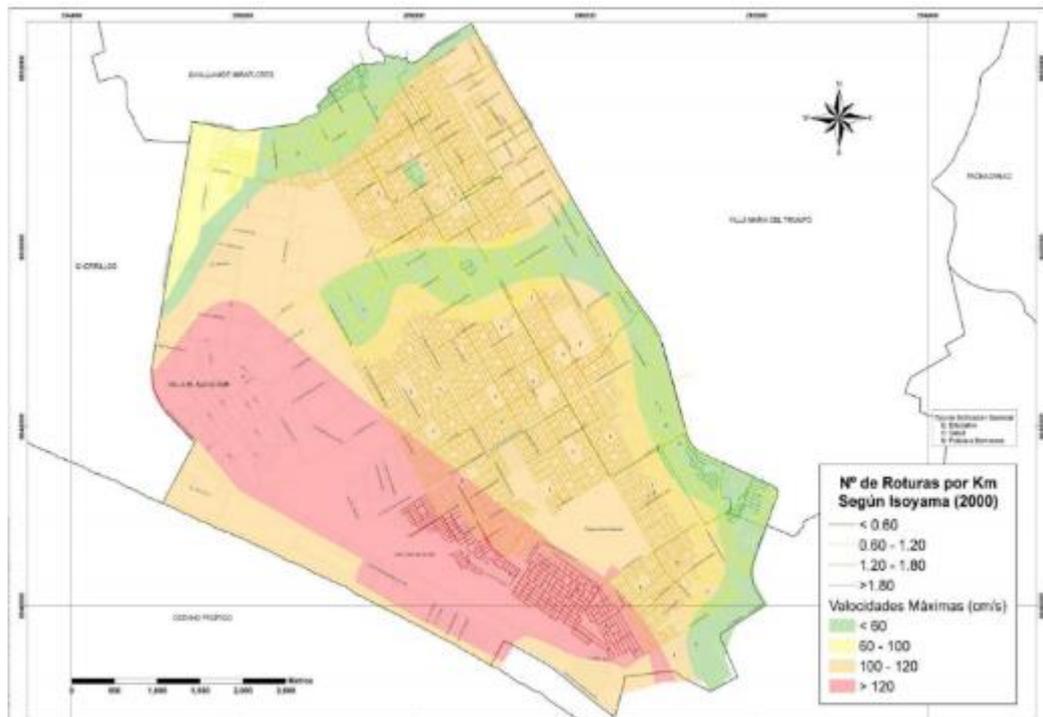


Figura N° 3.2 Velocidades de onda S para el distrito de Villa El Salvador
(CISMID, 2011)

3.4.2 Ensayo de microtremores

El ensayo de microtremores mide las vibraciones ambientales o artificiales que son provocadas por agentes externos. Como consecuencia, se puede determinar las características de la vibración del terreno o edificación frente a un evento sísmico o conocer las características iniciales del terreno. De esta forma nos permite calibrar modelos estructurales en las simulaciones numéricas.

Una de las técnicas más aplicadas en la actualidad para conocer las características dinámicas de un lugar o edificación es el uso de microtremores, se basa en la medición de velocidades y procesamiento de estas. Mediante el uso de la técnica propuesta por Yutaka Nakamura, se puede obtener los periodos predominantes del lugar y los valores asociados a estos como, amplificación, amortiguamiento, forma modal, entre otros. De esta manera podemos elaborar el mapa de isoperiodos. Esto se logra convirtiendo el dominio del tiempo a frecuencia tanto para los valores horizontales como verticales.

En el capítulo III se ha explicado los fundamentos teóricos para la técnica H/V y que son aplicados en el distrito de Villa El Salvador para determinar las frecuencias y periodos predominantes del suelo y ser plasmados mediante el mapa de isoperiodos.

Se registraron 23 puntos a lo largo del distrito de Villa El Salvador, tomando como datos de entrada: velocidades horizontales (longitudinales y transversales) y verticales. A continuación, se describe paso a paso las mediciones que fueron realizadas:

- Se instala el equipo de medición que poseen sensores muy sensibles al movimiento.
- Se comienza a medir las velocidades para un intervalo de tiempo suficientemente largo para caracterizar correctamente el terreno.
- Se registran las velocidades en las tres direcciones del punto analizado.
- Los datos son almacenados de forma digital en portátiles.
- Los datos son procesados en una primera etapa para la corrección de línea base y para aplicar filtros de pasa banda eliminando el ruido registrado.
- Mediante softwares se determinan los espectros de Fourier para cada dirección y así obtenemos las coordenadas espectrales que permiten utilizar la técnica de razón espectral de H/V.
- Se obtienen las frecuencias y periodos predominantes del suelo.
- A través de un software se realiza el mapa de isoperiodos.

La Tabla N° 3.3 muestra las ubicaciones de los puntos analizados para el ensayo de microtremores dentro del distrito de Villa El Salvador. Además, la Figura N° 3.5 muestra las velocidades registradas en la medición para el punto 1 ubicado en la Av. Separadora Industrial con Av. Primero de Mayo.

Tabla N° 3.3 Ubicación de los puntos usados para el ensayo de microtremores

MEDICIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS	
		SUR	OESTE
PT-01	Av. 1ro de mayo – Av. Separadora Industrial	12°11'25"	76°56'36"
PT-02	Av. 1ro de mayo - Av. Álamos	12°11'40"	76°57'3"
PT-03	Av. 1ro de mayo – Av. Pastor Sevilla	12°11'54"	76°57'29"
PT-04	Av. El Sol – Av. Separadora Agroindustrial	12°12'33"	76°57'34"
PT-05	Av. El Sol – Av. Pastor Sevilla	12°12'19"	76°57'10"
PT-06	Av. El Sol – Av. Álamos	12°12'7"	76°56'49"
PT-07	Av. El Sol – Av. Separadora Industrial	12°11'53"	76°56'24"



MEDICIÓN	UBICACIÓN	COORDENADAS	
		SUR	OESTE
PT-08	Juan Velasco Alvarado – Av. Separadora Industrial	12°12'18"	76°56'5"
PT-09	Av. Juan Velasco Alvarado – Av. Álamos	12°12'35"	76°56'32"
PT-10	Av. Juan Velasco Alvarado – Av. Pastor Sevilla	12°12'48"	76°56'56"
PT-11	Av. César Vallejo – Av. Pastor Sevilla	12°13'7"	76°56'45"
PT-12	Av. César Vallejo – Av. Álamos	12°12'52"	76°56'20"
PT-13	Av. César Vallejo – Av. Separadora Industrial	12°12'38"	76°55'54"
PT-14	Av. Mariátegui – Av. Separadora Industrial	12°13'5"	76°55'38"
PT-15	Av. Mariátegui – Av. Separadora Industrial	12°13'19"	76°56'3"
PT-16	Av. Mariátegui – Av. Separadora Industrial	12°13'31"	76°56'28"
PT-17	Av. Mariátegui – Av. Separadora Industrial	12°13'45"	76°56'46"
PT-18	Lomo de Corvina - Av. 200 millas	12°14'22"	76°56'18"
PT-19	Lomo de Corvina - Av. 200 millas	12°14'12"	76°56'39"
PT-20	Lomo de Corvina – Av. Mariátegui	12°13'57"	76°57'6"
PT-21	Av. 200 millas – Av. Pastor Sevilla	12°14'2"	76°56'3"
PT-22	Av. 200 millas – Av. Álamos	12°13'48"	76°55'47"
PT-23	Av. 200 millas – Av. Álamos	12°13'33"	76°55'22"



Figura N° 3.3 Puntos de medición del ensayo de microtremores

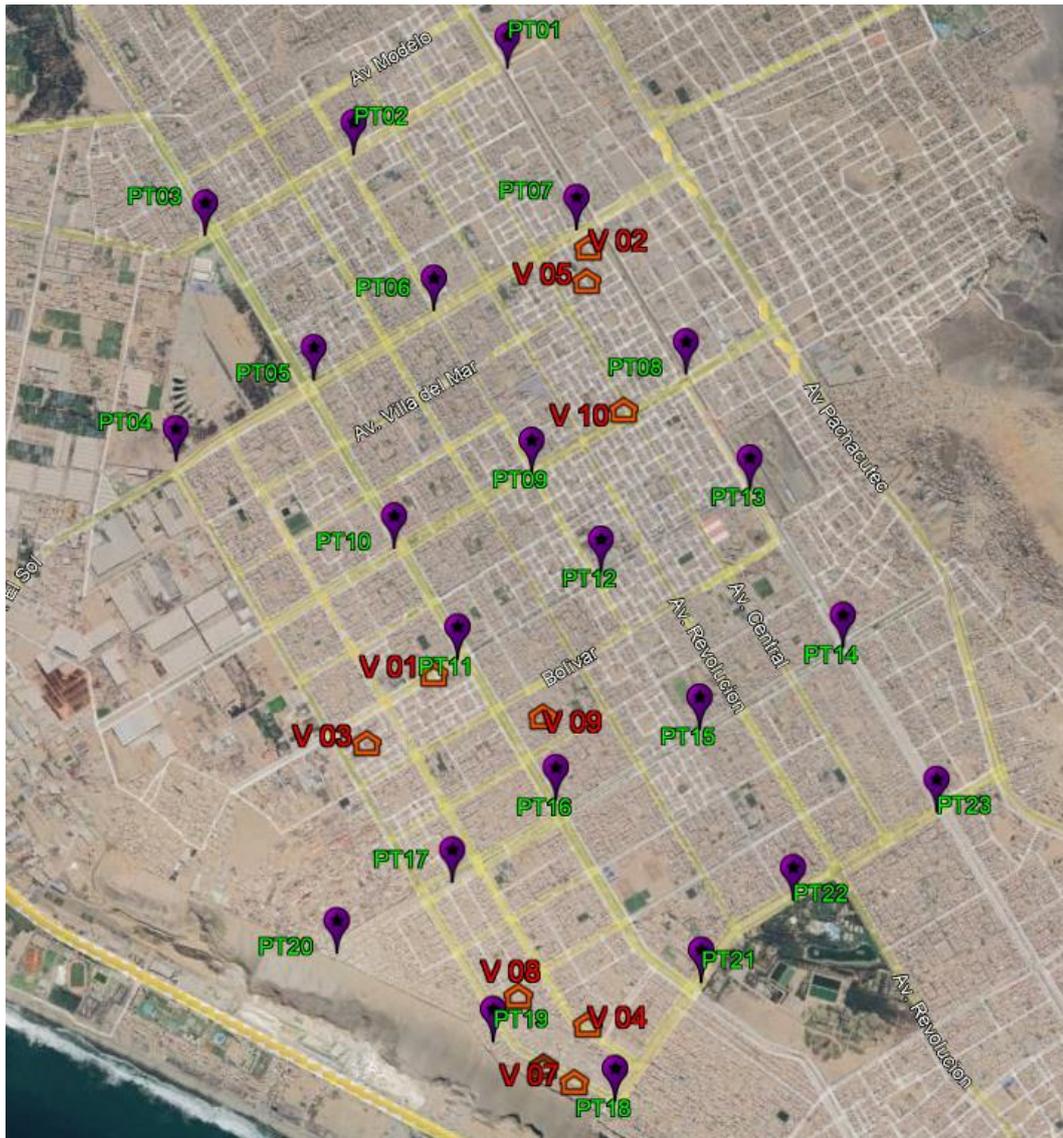


Figura N° 3.4 Ubicación de viviendas analizadas



Figura N° 3.5 Registro de datos de microtremores para el punto 1 del distrito de Villa El Salvador

Con los datos obtenidos se procede a transformar la señal del dominio del tiempo al dominio de la frecuencia aplicando la relación de Nakamura H/V. A continuación, se presentan las relaciones espectrales para cada punto analizado desde la Figura N° 3.6 hasta la Figura N° 3.28.

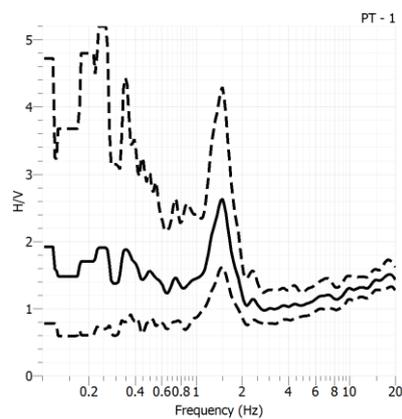


Figura N° 3.6 Relación espectral H/V para el punto 01-VES

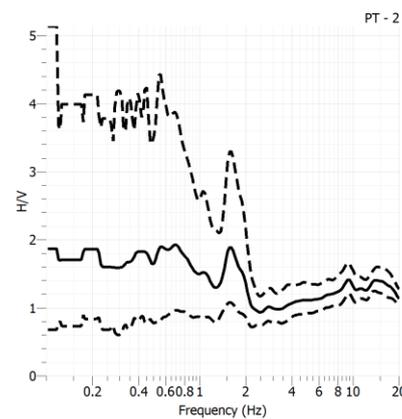


Figura N° 3.7 Relación espectral H/V para el punto 02-VES

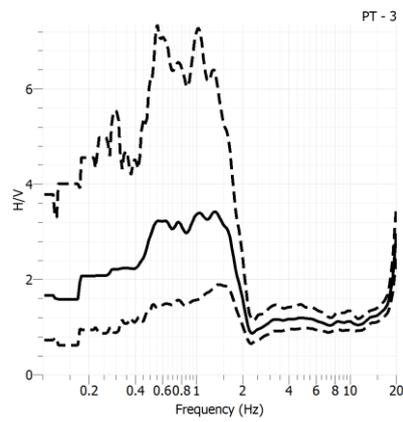


Figura N° 3.8 Relación espectral H/V para el punto 03-VES

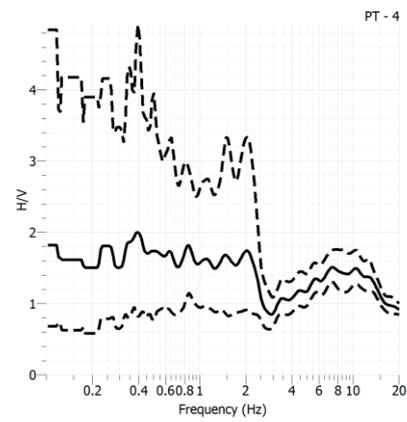


Figura N° 3.9 Relación espectral H/V para el punto 04-VES

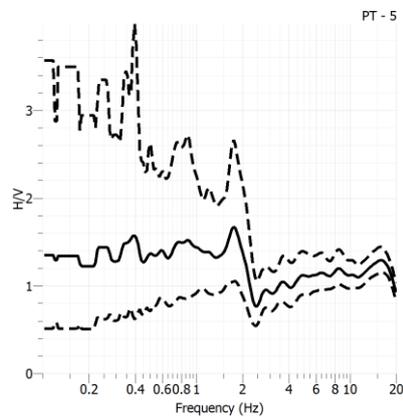


Figura N° 3.10 Relación espectral H/V para el punto 05-VES

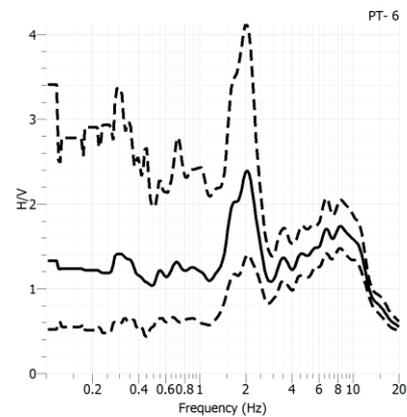


Figura N° 3.11 Relación espectral H/V para el punto 06-VES

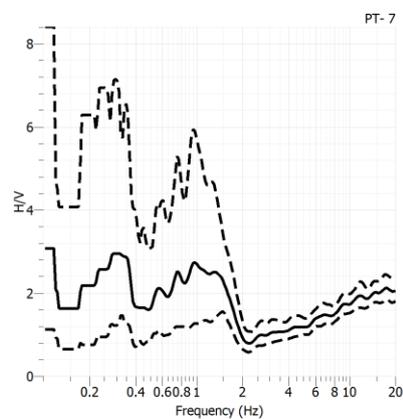


Figura N° 3.12 Relación espectral H/V para el punto 07-VES

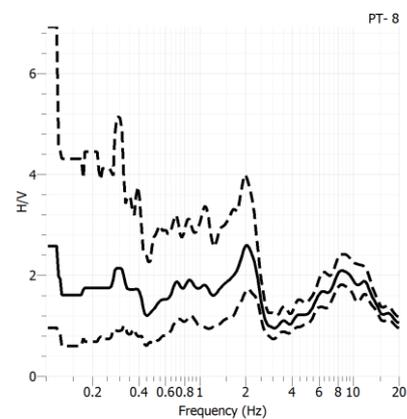


Figura N° 3.13 Relación espectral H/V para el punto 08-VES

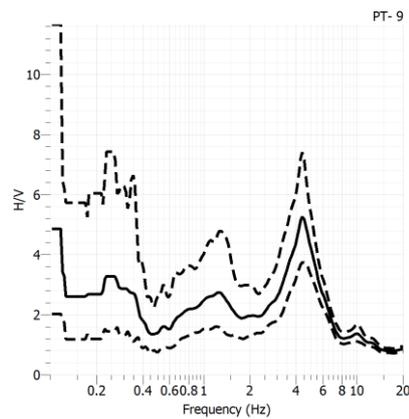


Figura N° 3.14 Relación espectral H/V para el punto 09-VES

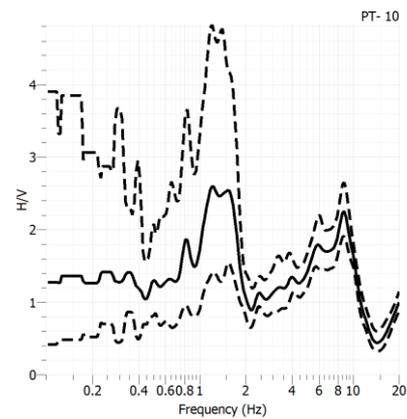


Figura N° 3.15 Relación espectral H/V para el punto 10-VES

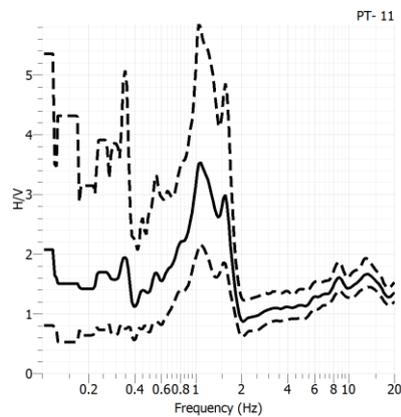


Figura N° 3.16 Relación espectral H/V para el punto 11-VES

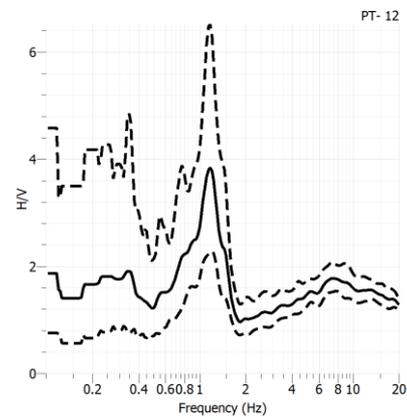


Figura N° 3.17 Relación espectral H/V para el punto 12-VES

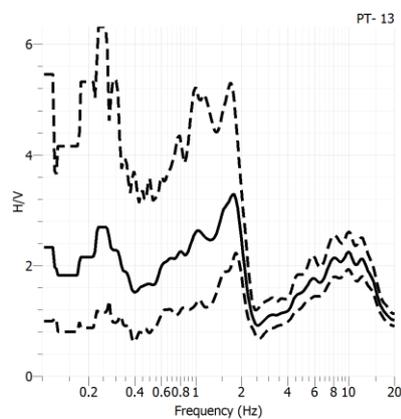


Figura N° 3.18 Relación espectral H/V para el punto 13-VES

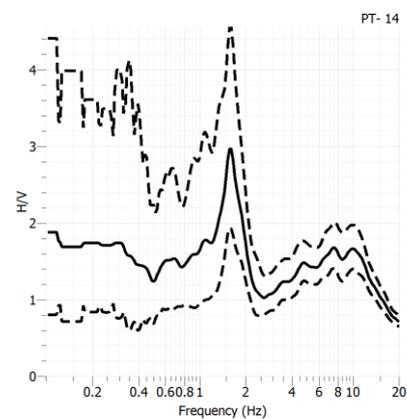


Figura N° 3.19 Relación espectral H/V para el punto 14-VES

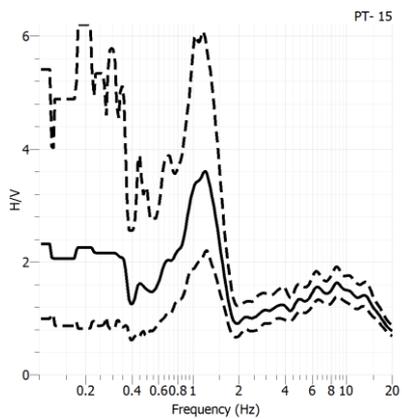


Figura N° 3.20 Relación espectral H/V para el punto 15-VES

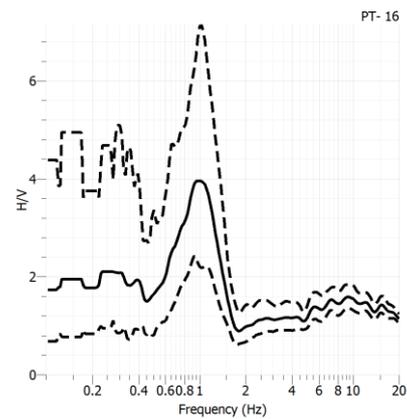


Figura N° 3.21 Relación espectral H/V para el punto 16-VES

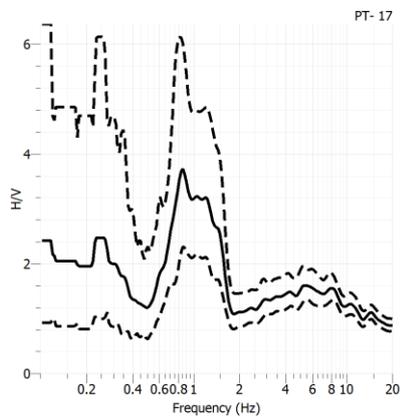


Figura N° 3.22 Relación espectral H/V para el punto 17-VES

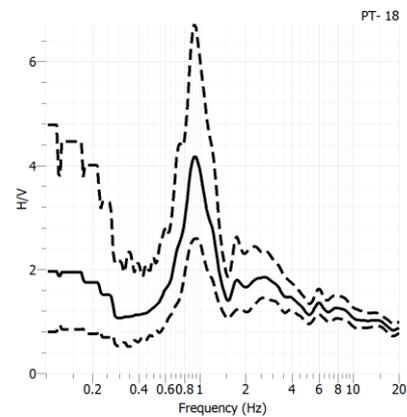


Figura N° 3.23 Relación espectral H/V para el punto 18-VES

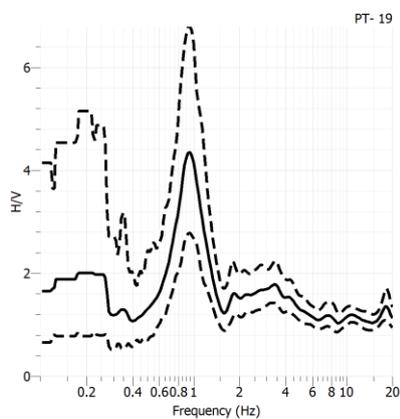


Figura N° 3.24 Relación espectral H/V para el punto 19-VES

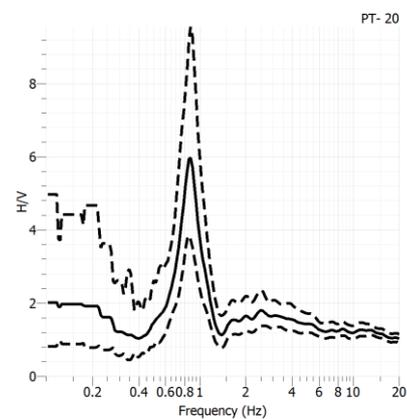


Figura N° 3.25 Relación espectral H/V para el punto 20-VES

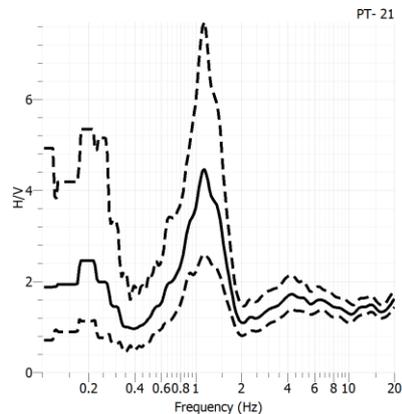


Figura N° 3.26 Relación espectral H/V para el punto 21-VES

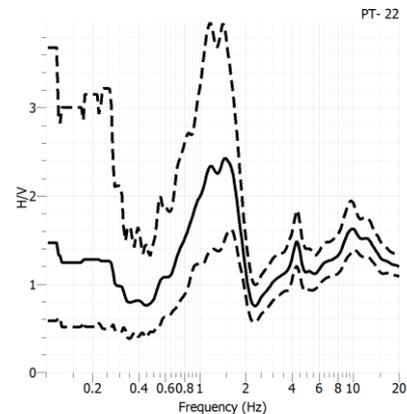


Figura N° 3.27 Relación espectral H/V para el punto 22-VES

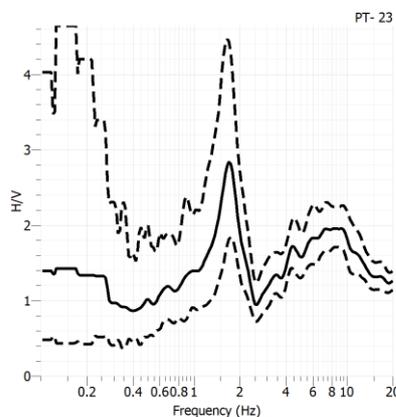


Figura N° 3.28 Relación espectral H/V para el punto 23-VES

La Tabla N° 3.4 muestra las frecuencias y periodos fundamentales obtenidos de los 23 puntos de medición. De igual forma, la Figura N° 3.29 muestra el mapa de isoperiodos obtenido con los datos procesados y mediante el uso del Software ARCGIS para el distrito de Villa El Salvador- Lima. Los 23 puntos mencionados han sido analizados a través del método espectral de Nakamura H/V. Estas mediciones ayudaron a identificar zonas donde se observa que los periodos predominantes del suelo en el distrito están en el rango de 0.4s (para suelos tipo rocosos y fracturados levemente) hasta 1.1s (para suelos tipo arenosos).

Tabla N° 3.4 Frecuencias y periodos predominantes del terreno – Villa El Salvador
(Fuente: Elaboración propia)

Medición	frecuencia (Hz)	Periodo (s)
PT-01	1.480	0.676
PT-02	1.570	0.637
PT-03	1.006	0.994
PT-04	2.020	0.495
PT-05	1.640	0.610
PT-06	1.920	0.521
PT-07	0.930	1.075
PT-08	1.980	0.505
PT-09	4.320	0.231
PT-10	1.330	0.752
PT-11	1.110	0.901
PT-12	1.150	0.870
PT-13	1.650	0.606
PT-14	1.570	0.637
PT-15	1.120	0.893
PT-16	0.976	1.025
PT-17	0.870	1.149
PT-18	0.913	1.095
PT-19	0.917	1.091
PT-20	0.882	1.134
PT-21	1.140	0.877
PT-22	1.310	0.763
PT-23	1.610	0.621

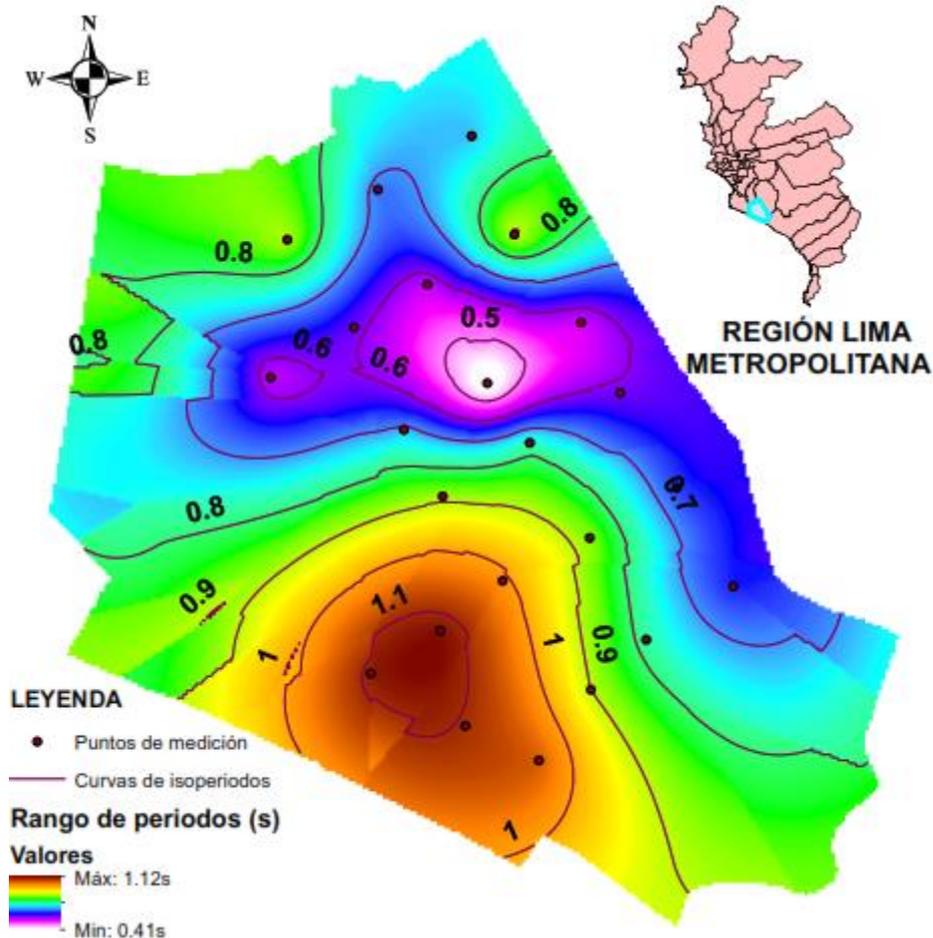


Figura N° 3.29 Mapa de isoperiodos para el distrito de Villa El Salvador
(Fuente: Elaboración propia)

3.5 Clasificación de las edificaciones en el distrito de Villa El Salvador

Se ha subdividido el distrito de Villa El Salvador en 6 sectores, las edificaciones que se tomarán en cuenta para el estudio son de albañilería confinada debido a la predominancia de este tipo de edificaciones en la zona de estudio. La Tabla N° 3.5 muestra el distrito analizado, los sectores, los límites para cada sector, la cantidad de grupos analizados y el tipo de sistema estructural predominante.

Tabla N° 3.5 Clasificación de las edificaciones para el distrito de Villa El Salvador
(Fuente: Elaboración propia)

Distrito	SECTOR	REFERENCIA	GRUPO	SISTEMA ESTRUCTURAL
Villa El Salvador	I	Av. Pumacahua Av. Mariano Pastor Sevilla Av. El Sol Av. Modelo	26	ALBAÑILERÍA CONFINADA
	II	Av. El Sol Av. Separadora Industrial Av. Cesar Vallejo Av. Mariano Pastor Sevilla	26	ALBAÑILERÍA CONFINADA
	III	Av. Cesar Vallejo Av. 200 Millas Av. Separadora Industrial Av. Mariano Pastor Sevilla	30	ALBAÑILERÍA CONFINADA
	IV	Av. 200 Millas Av. Separadora Industrial Av. Revolución Universitaria	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA
	V	Carretera Panamericana Sur Av. Pumacahua Av. María Reiche Av. Pastor Sevilla	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA
	VI	Av. El Sol Av. Mariano Pastor Sevilla Av. José Carlos Mariátegui Magisterio	16	ALBAÑILERÍA CONFINADA

3.5.1 Descripción de las viviendas

A continuación, se describen las características encontradas en las viviendas del distrito de Villa El Salvador para cada sector analizado.

- Sector I

El Sector I posee 26 grupos, para cada grupo se tomaron las características de las viviendas de albañilería confinada consideradas como representativas.

Se recabó información de 143 viviendas del Sector I. Por ejemplo, se puede observar la Figura N° 3.30 donde la línea punteada delimita el Sector I, la zona roja representa el grupo analizado. Mientras, en la Figura N° 3.31 se muestran las viviendas seleccionadas del grupo. De esta forma se recopiló la información para

MANZANA			MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA		TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	5		VIVENDA	14	
NIVELES	3		NIVELES	3	
REFERENCIA:			REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:			OBSERVACIONES:		
MANZANA			MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA		TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	6		VIVENDA	15	
NIVELES	4		NIVELES	3	
REFERENCIA:	AV. LOS ANGELES		REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:	COMPARTEN ESCALERA CENTRAL		OBSERVACIONES:		
MANZANA			MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA		TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	7		VIVENDA	16	
NIVELES	3		NIVELES	3	
REFERENCIA:			REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:			OBSERVACIONES:		
MANZANA			MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA		TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	8		VIVENDA	17	
NIVELES	1		NIVELES	2	
REFERENCIA:			REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:			OBSERVACIONES:		

Figura N° 3.32 Formato para el levantamiento de información del Sector I

Tabla N° 3.6 Resumen de la recopilación de información para el Sector I
(Fuente: Elaboración propia)

DISTRITO	SECTOR	REFERENCIA	GRUPO	VIVIENDAS ANALIZADAS	SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	Nº PISOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
Villa El Salvador	I	Av. Pumacahua Av. Mariano Pastor Sevilla Av. El Sol Av. Modelo	I	16	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			II	18	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			III	18	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			IV	18	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			V	18	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			VI	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			VII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			VIII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			IX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR

DISTRITO	SECTOR	REFERENCIA	GRUPO	VIVIENDAS ANALIZADAS	SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	Nº PISOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
			X	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XI	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XIII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XIV	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XV	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XVI	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XVII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XVIII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XIX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XX	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XXI	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XXII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XXIII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XXIV	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XXV	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XXVI	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR

- Sector II

El sector II posee 26 grupos, para cada grupo se tomaron las características de las viviendas de albañilería confinada consideradas como representativas.

Se recabó información de 86 viviendas para el Sector II. Por ejemplo, se puede observar la Figura N° 3.33 donde la línea punteada delimita el Sector II, la zona roja representa el grupo analizado. Mientras, en la Figura N° 3.34 se muestran las viviendas seleccionadas del grupo. De esta forma se recopiló la información para todos los grupos de este sector. En resumen, las viviendas poseen un estado de conservación regular y el tipo de sistema estructural predominante es albañilería confinada informal.

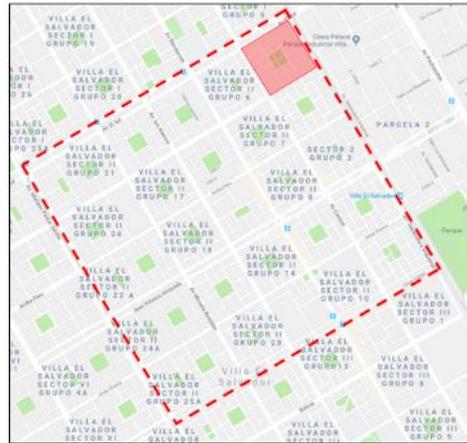


Figura N° 3.33 Sector II - Grupo 1 - Distrito de Villa El Salvador



Figura N° 3.34 Viviendas seleccionadas del Sector II - Grupo 1

La Figura N° 3.35 muestra la información recolectada en una base de datos, de tal manera que la comparación con los demás sectores analizados sea más simple. Además, la Tabla N° 3.7 muestra un resumen de toda la información recolectada para el Sector II, tales como: manzana, número de vivienda, sistema estructural, número de pisos y estado de conservación.

MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	1	
NIVELES	2	
REFERENCIA: CRUCE AV. EL SOL Y SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	2	
NIVELES	2	
REFERENCIA: CRUCE AV. EL SOL Y SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	3	
NIVELES	3	
REFERENCIA: AVENIDA SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	4	
NIVELES	2	
REFERENCIA: UBICACIÓN EN EL PLANO		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	5	
NIVELES	3	
REFERENCIA: AVENIDA SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		

Figura N° 3.35 Formato para el levantamiento de información del Sector II

Tabla N° 3.7 Resumen de la recopilación de información para el Sector II
(Fuente: Elaboración propia)

DISTRITO	SECTOR	REFERENCIA	GRUPO	VIVIENDAS ANALIZADAS	SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	Nº PISOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
Villa El Salvador	II	Av. El Sol Av. Separadora Industrial Av. Cesar Vallejo	I	7	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			II	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			III	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR

Av. Mariano Pastor Sevilla	IV	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
	V	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
	VI	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	VII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	VIII	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	IX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
	X	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XI	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
	XII	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XIII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
	XIV	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XV	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XVI	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XVII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XVIII	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XIX	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
	XXI	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XXII	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XXIII	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XXIV	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
	XXV	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
	XXVI	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR

- Sector III

El Sector III posee 30 grupos, para cada grupo se tomaron las características de las viviendas de albañilería confinada consideradas como representativas.

Se recabó información de 68 viviendas del Sector III. Por ejemplo, se puede observar la Figura N° 3.36 donde la línea punteada delimita el Sector III, la zona roja representa el grupo analizado. Mientras, la Figura N° 3.37 muestra las

viviendas seleccionadas del grupo. De esta forma se recopiló la información para todos los grupos de este sector. En resumen, las viviendas poseen un estado de conservación regular y el tipo de sistema estructural predominante es albañilería confinada informal.

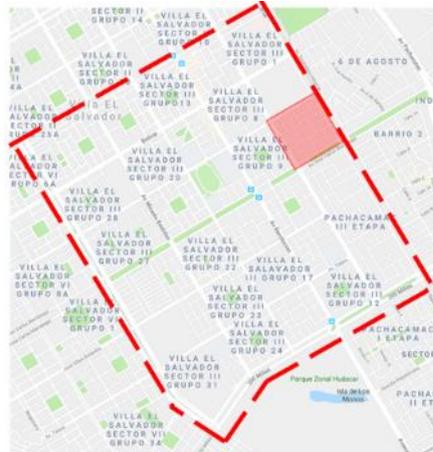


Figura N° 3.36 Sector III - Grupo 8 - Distrito de Villa El Salvador



Figura N° 3.37 Viviendas seleccionadas de la Sector III - Grupo 8

La Figura N° 3.38 muestra la información recolectada en una base de datos, de tal manera que la comparación con los demás sectores analizados sea más simple. Además, la Tabla N° 3.8 muestra un resumen de toda la información recolectada para el Sector III, tales como: manzana, número de vivienda, sistema estructural, número de pisos y estado de conservación.

MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	1	
NIVELES	3	
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	2	
NIVELES	2	
REFERENCIA:AV. CENTRAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO		
VIVENDA		
NIVELES		
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:		

Figura N° 3.38 Formato para el levantamiento de información del Sector III

Tabla N° 3.8 Resumen de la recopilación de información para el Sector III
(Fuente: Elaboración propia)

DISTRITO	SECTOR	REFERENCIA	GRUPO	VIVIENDAS ANALIZADAS	SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	Nº PISOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
Villa El Salvador	III	Av. Cesar Vallejo Av.200 Millas Av. Separadora Industrial Av. Mariano Pastor Sevilla	I	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			II	0	ALBAÑILERÍA CONFINADA	0	REGULAR
			III	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			IV	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			V	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			VI	1	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			VII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			VIII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			IX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			X	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XI	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XIII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XIV	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XV	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XVI	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XVII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XVIII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XIX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XXI	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XXII	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XXIII	0	ALBAÑILERÍA CONFINADA	0	REGULAR
			XXIV	0	ALBAÑILERÍA CONFINADA	0	REGULAR
			XXV	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XXVI	0	ALBAÑILERÍA CONFINADA	0	REGULAR

DISTRITO	SECTOR	REFERENCIA	GRUPO	VIVIENDAS ANALIZADAS	SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	Nº PISOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
			XXVII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XXVIII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XXIX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XXX	1	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR

- Sector IV

El Sector IV posee 2 etapas, para cada etapa se tomaron las características de las viviendas de albañilería confinada consideradas como representativas.

Se recabó información de 15 viviendas del Sector IV. Por ejemplo, se puede observar la Figura N° 3.39 donde la línea punteada delimita el Sector IV, la zona roja representa la etapa analizada. Mientras, la Figura N° 3.40 muestra las viviendas seleccionadas de cada etapa. De esta forma se recopiló información para las etapas de este sector. En resumen, las viviendas poseen un estado de conservación regular y el tipo de sistema estructural predominante es albañilería confinada informal.

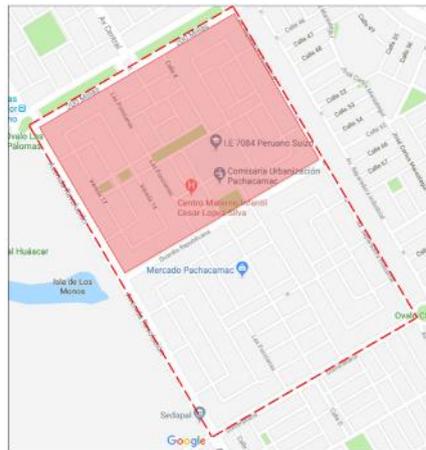


Figura N° 3.39 Sector IV - Etapa 1 - Distrito de Villa El Salvador

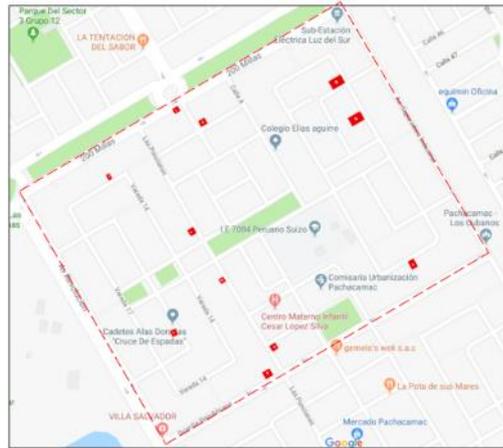


Figura N° 3.40 Viviendas seleccionadas del Sector IV - Etapa 1

La Figura N° 3.41 muestra la información recolectada en una base de datos, de tal manera que la comparación con los demás sectores analizados sea más simple. Además, la Tabla N° 3.9 muestra un resumen de toda la información recolectada para el Sector IV, tales como: manzana, número de vivienda, sistema estructural, número de pisos y estado de conservación.

<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>1</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>AV. 200 MILLAS</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	1	NIVELES	2	REFERENCIA:	AV. 200 MILLAS	OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>7</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CL. LAS PONCIANAS</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	7	NIVELES	2	REFERENCIA:	CL. LAS PONCIANAS	OBSERVACIONES:		
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	1																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	AV. 200 MILLAS																										
OBSERVACIONES:																											
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	7																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	CL. LAS PONCIANAS																										
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>2</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CALLE S/N</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	2	NIVELES	2	REFERENCIA:	CALLE S/N	OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>8</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CALLE S/N</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	8	NIVELES	3	REFERENCIA:	CALLE S/N	OBSERVACIONES:		
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	2																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	CALLE S/N																										
OBSERVACIONES:																											
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	8																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA:	CALLE S/N																										
OBSERVACIONES:																											

Figura N° 3.41 Formato para el levantamiento de información del Sector IV

Tabla N° 3.9 Resumen de la recopilación de información para el Sector IV
 (Fuente: Elaboración propia)

DISTRITO	SECTOR	REFERENCIA	ETAPA	VIVIENDAS ANALIZADAS	SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	Nº PISOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
Villa El Salvador	IV	Av. 200 Millas Av. Separadora Industrial Av. Revolución Universitaria	I	11	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			II	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR

- Sector V

El Sector V posee 2 grupos, para cada grupo se tomaron las características de las viviendas de albañilería confinada consideradas como representativas.

Se recabó información de 4 viviendas del Sector V. Por ejemplo, se puede observar la Figura N° 3.42, donde la línea punteada delimita el Sector V, la zona roja representa el grupo analizado. Mientras, la Figura N° 3.43 muestra las viviendas seleccionadas del grupo. De esta forma se recopiló información para todos los grupos de este sector. En resumen, las viviendas poseen un estado de conservación regular y el tipo de sistema estructural predominante es albañilería confinada informal.

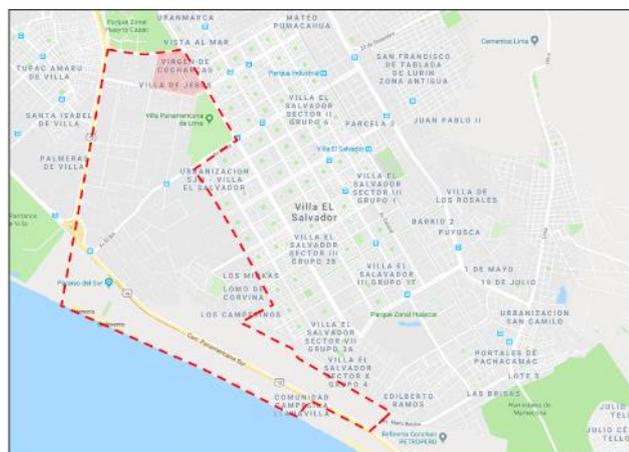


Figura N° 3.42 Sector V - Grupo Virgen de Cocharcas - Distrito de Villa El Salvador



Figura N° 3.43 Viviendas seleccionadas del Sector V - Grupo Virgen de Cocharcas

La Figura N° 3.44 muestra la información recolectada en una base de datos, de tal manera que la comparación con los demás sectores analizados sea más simple. Además, la Tabla N° 3.10 muestra un resumen de toda la información recolectada para el sector IV, tales como: manzana, número de vivienda, sistema estructural, número de pisos y estado de conservación.

TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVIENDA	2	
NIVELES	3	
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVIENDA	3	
NIVELES	3	
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:		

Figura Nº 3.44 Formato para el levantamiento de información del Sector V

Tabla N° 3.10 Resumen de la recopilación de información para el Sector V
 (Fuente: Elaboración propia)

DISTRITO	SECTOR	REFERENCIA	GRUPO	VIVIENDAS ANALIZADAS	SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	Nº PISOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
Villa El Salvador	V	Carretera Panamericana Sur Av. Pumacahua Av. María Reiche Av. Pastor Sevilla	VIRGEN DE COCHARCAS	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			SOCIEDAD TABLADA DE LURIN	1	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR

- Sector VI

El Sector VI posee 16 grupos, para cada grupo se tomaron las características de las viviendas de albañilería confinada consideradas como representativas.

Se recabó información de 33 viviendas del sector VI. Por ejemplo, se puede observar la Figura N° 3.45 donde la línea punteada delimita el Sector VI, la zona roja representa el grupo analizado. Mientras, la Figura N° 3.46 muestra las viviendas seleccionadas del grupo. De esta forma se recopiló información para todos los grupos de este sector. En resumen, las viviendas poseen un estado de conservación regular y el tipo de sistema estructural predominante es albañilería confinada informal.

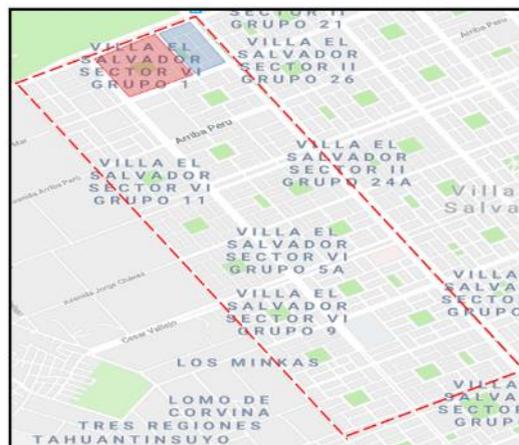


Figura N° 3.45 Sector VI- Grupo 1 Distrito de Villa El Salvador



Figura N° 3.46 Viviendas seleccionadas de la Sector VI- Grupo 1

La Figura N° 3.47 muestra la información recolectada en una base de datos, de tal manera que la comparación con los demás sectores analizados sea más simple. Además, la

Tabla N° 3.11 muestra un resumen de toda la información recolectada para el Sector VI, tales como: manzana, número de vivienda, sistema estructural, número de pisos y estado de conservación.

MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	1	
NIVELES	4	
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	2	
NIVELES	3	
REFERENCIA:		
VACIONES: 2DO PISO SIN HAB		

Figura N° 3.47 Formato para el levantamiento de información del Sector VI

Tabla Nº 3.11 Resumen de la recopilación de información para el Sector VI
(Fuente: Elaboración propia)

DISTRITO	SECTOR	REFERENCIA	GRUPOS	VIVIENDAS ANALIZADAS	SISTEMA ESTRUCTURAL PREDOMINANTE	Nº PISOS	ESTADO DE CONSERVACIÓN
Villa El Salvador	VI	Av. El Sol Av. Mariano Pastor Sevilla Av. José Carlos Mariátegui Magisterio	I	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			II	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			III	1	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			IV	1	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			V	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			VI	4	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			VII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			VIII	1	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			IX	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			X	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XI	1	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XII	1	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XIII	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	3	REGULAR
			XIV (1A)	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XV (1B)	3	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR
			XVI (2B)	2	ALBAÑILERÍA CONFINADA	2	REGULAR



CAPÍTULO IV. ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SISMICA

Una vez identificadas las viviendas representativas y realizado el estudio de zonificación muestral para el distrito de Villa El Salvador, se procedió a la aplicación de los métodos simplificados de Miranda y Nakamura para obtener la vulnerabilidad estructural de las viviendas seleccionadas. De esta manera se obtienen las distorsiones globales y locales de las estructuras, a partir de dichos valores estimamos el daño asociado.

Se realizaron modelos estructurales de diez viviendas para determinar los parámetros necesarios y aplicar el método simplificado de Miranda. En el proceso, fue necesario definir los materiales, las secciones transversales y dimensiones de las viviendas seleccionadas con el objetivo de idealizar los modelos reales y obtener resultados de distorsiones. Los modelos se han realizado en base a los planos de las viviendas analizadas, por lo tanto, ya contemplan las irregularidades existentes y no sería necesaria la aplicación de los factores de corrección mencionados en el Capítulo III (Factores de corrección para distorsiones).

A su vez se aplicó en método de vulnerabilidad de Nakamura en cuatro de las diez viviendas. En el proceso se realizaron mediciones de microtemores en cada nivel de las viviendas con la finalidad de hallar las frecuencias, amplitudes y periodos predominantes. De esta manera se calcularon las distorsiones para evaluar los posibles daños en las estructuras considerando tres escenarios sísmicos.

4.1 Método simplificado de Miranda

En base a este método se obtienen el desplazamiento y la distorsión máxima o distorsión de entrepiso, con la finalidad de diseñar o evaluar viviendas nuevas o existentes de una manera rápida y sencilla.

Las viviendas utilizadas poseen sistema estructural de albañilería confinada y sus distorsiones se obtienen en base a cuatro parámetros β , la altura de entrepiso y aceleración espectral definidos en el capítulo IV.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que se debe seguir para aplicar el método simplificado de Miranda:

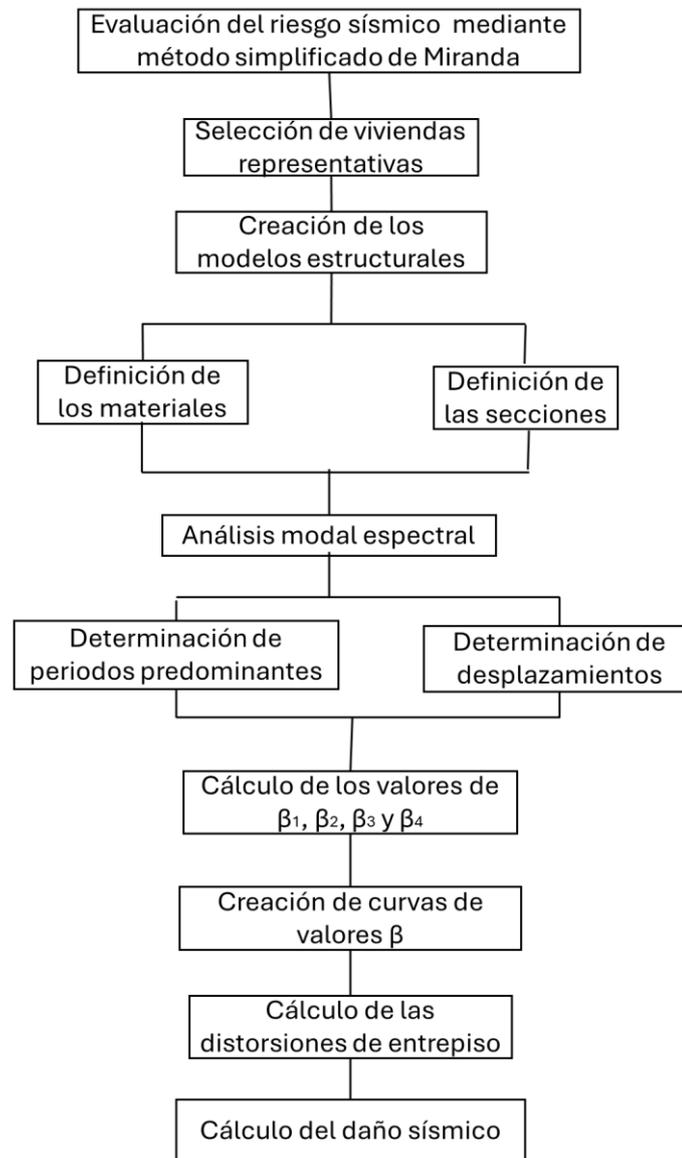


Figura N° 4.1 Diagrama de flujo aplicando el método simplificado de Miranda

4.1.1 Viviendas seleccionadas

Para la aplicación de esta metodología se seleccionaron diez viviendas de sistema estructural de albañilería confinada, de los 6 sectores analizados para el distrito de Villa El Salvador. A continuación, se presentan las características de las estructuras que fueron analizadas en el rango elástico.

La primera vivienda corresponde a la vivienda N° 01 ubicada en el Sector IX Grupo 6 Manzana C Lote 22, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería

confinada. La Figura N° 4.2 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.

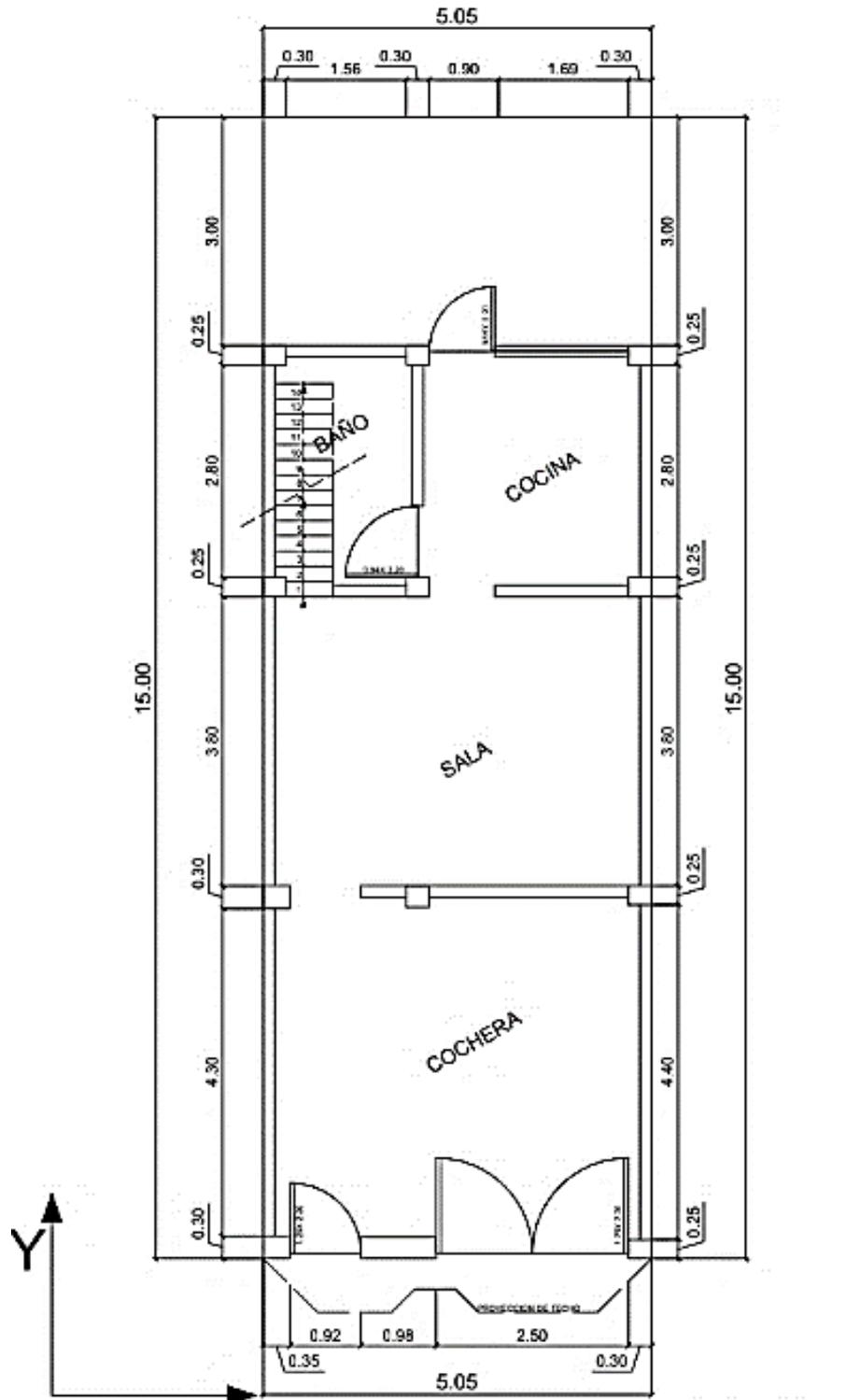


Figura N° 4.2 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 01

La segunda vivienda corresponde a la vivienda N° 02 ubicada en el Sector II Grupo 1 Manzana C Lote 16, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería confinada. La Figura N° 4.3 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.

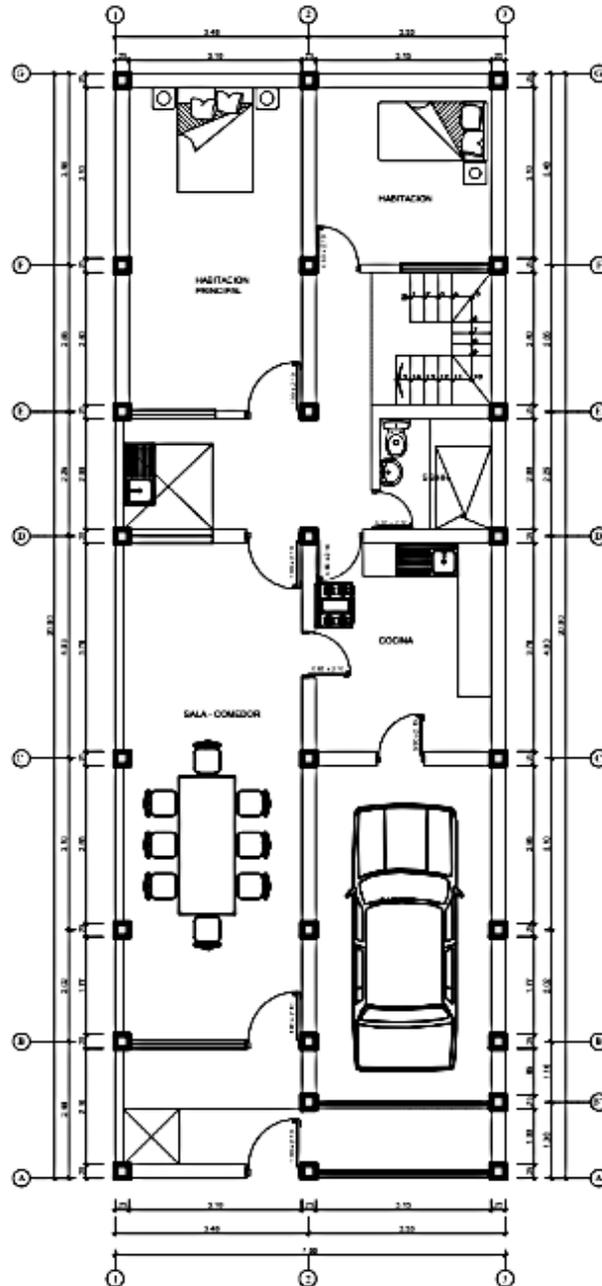


Figura N° 4.3 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 02

La tercera vivienda corresponde a la vivienda N° 03 ubicada en el Sector IX Grupo 6 Manzana C Lote 20, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería. La Figura N° 4.4 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.

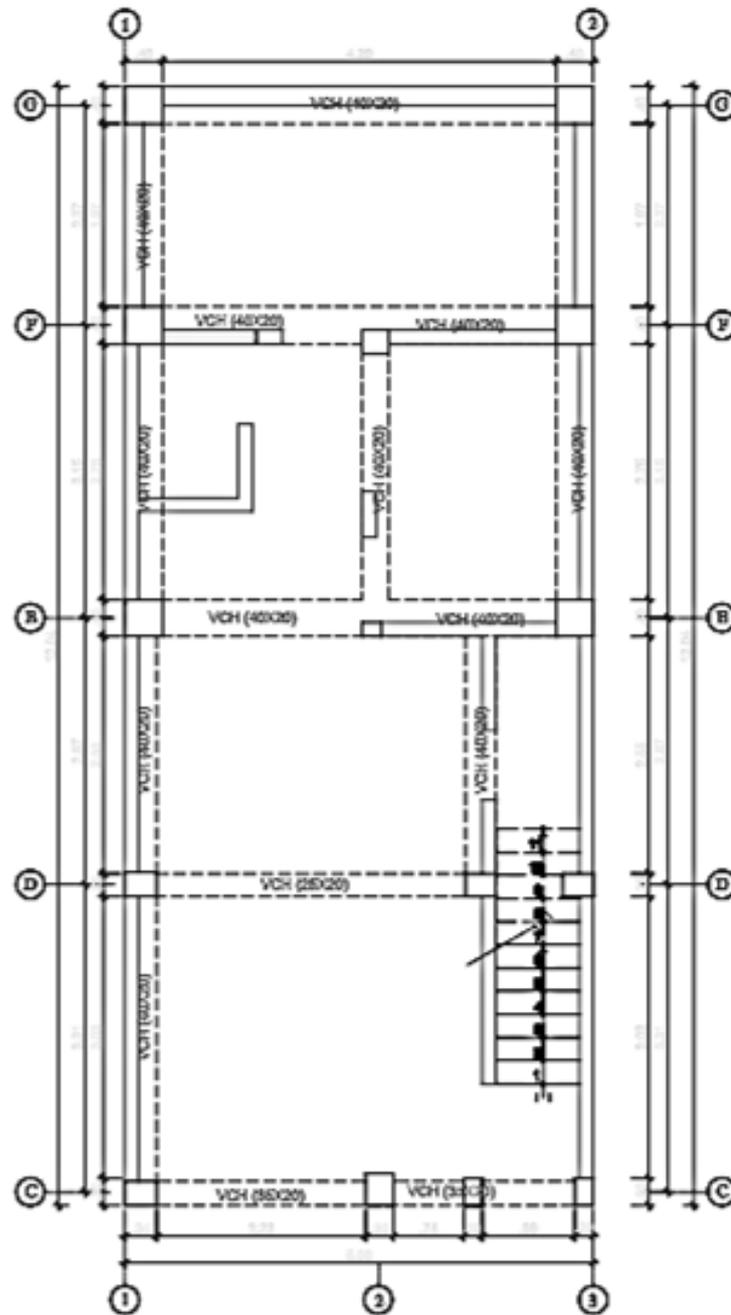


Figura N° 4.4 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 03

La cuarta vivienda corresponde a la vivienda N° 04 ubicada en el Sector IX Grupo 6 Manzana A Lote 17, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería confinada. La Figura N° 4.5 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.

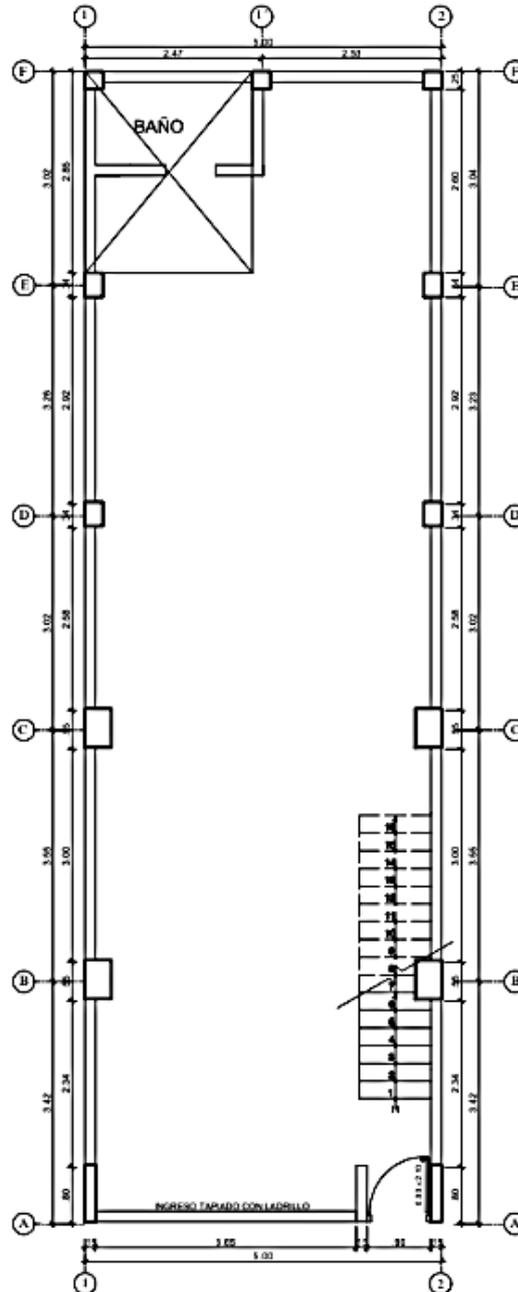


Figura N° 4.5 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 04

La quinta vivienda corresponde a la vivienda N° 05 ubicada en el Sector II Grupo 1 Manzana D Lote 23, posee 1 nivel y un sistema estructural de albañilería confinada. La Figura N° 4.6 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.

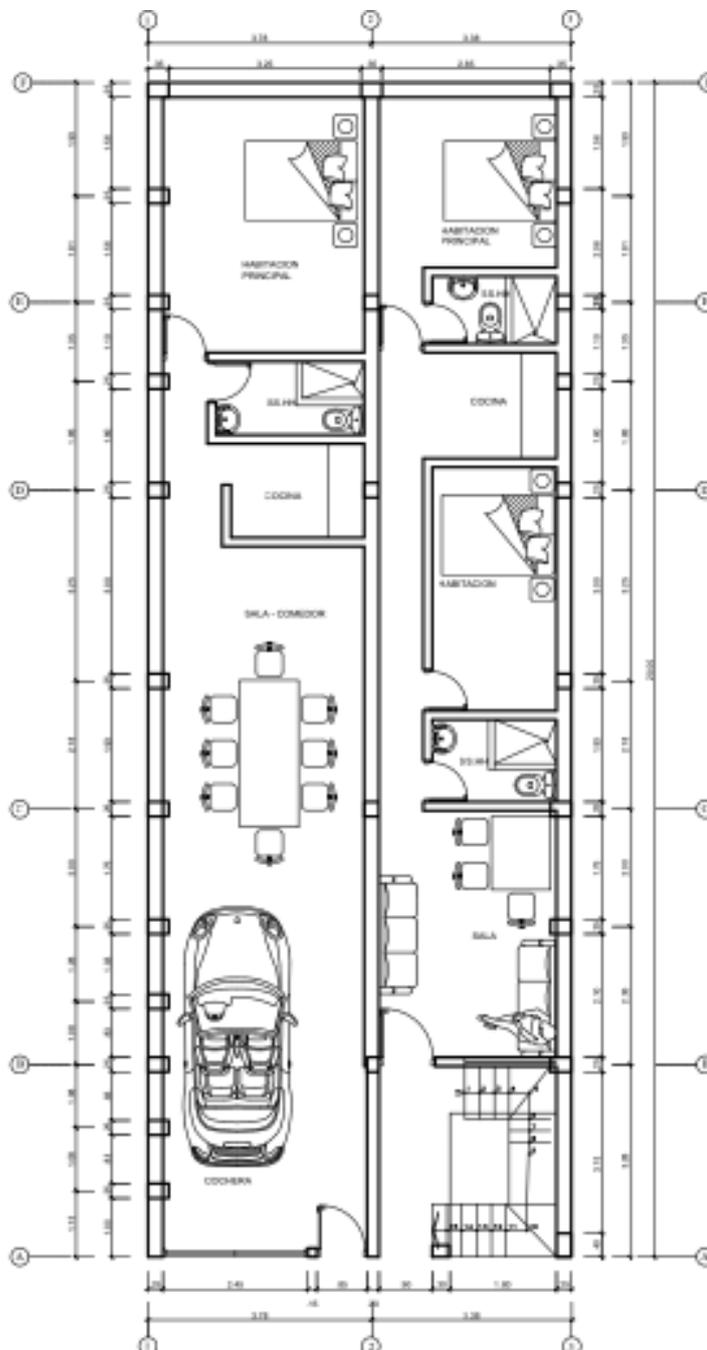


Figura N° 4.6 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 05

La sexta vivienda corresponde a la vivienda N° 06 ubicada en el Sector IX Grupo 6 Manzana F Lote 12, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería confinada. La Figura N° 4.7 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.

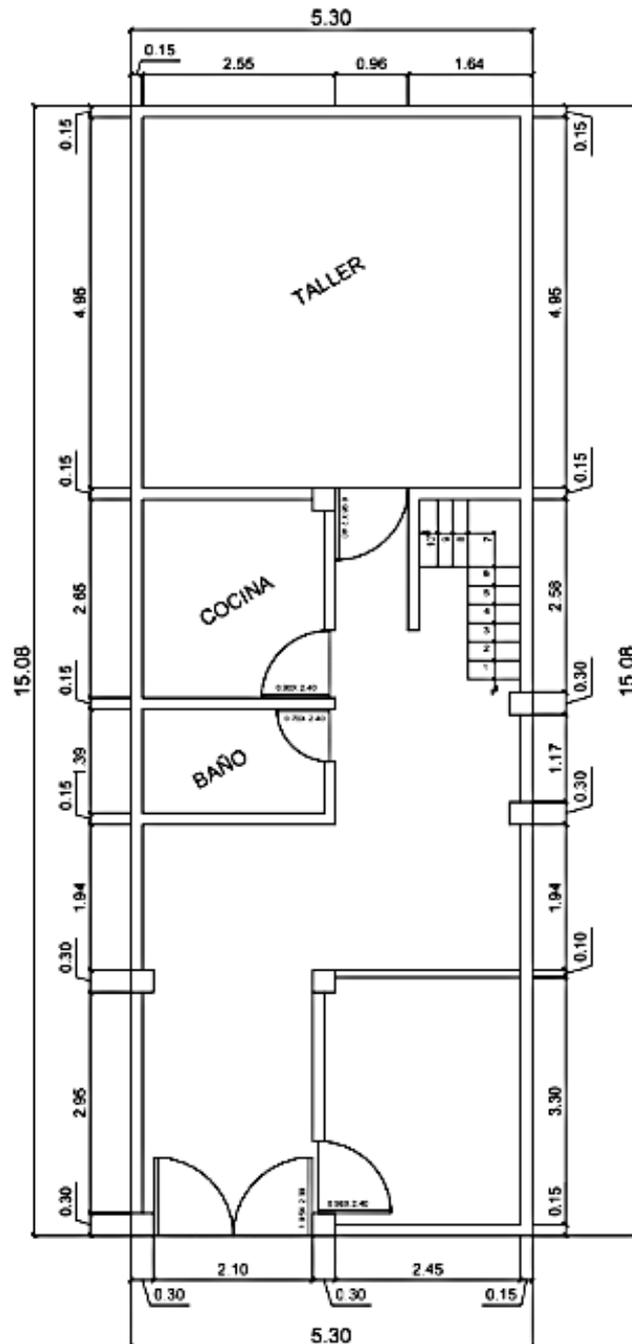


Figura N° 4.7 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 06

La séptima vivienda corresponde a la vivienda N° 07 ubicada en el Sector IX Grupo 6 Manzana G Lote 24, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería confinada. La Figura N° 4.8 muestra el plano en planta de el plano en planta de la vivienda seleccionada.

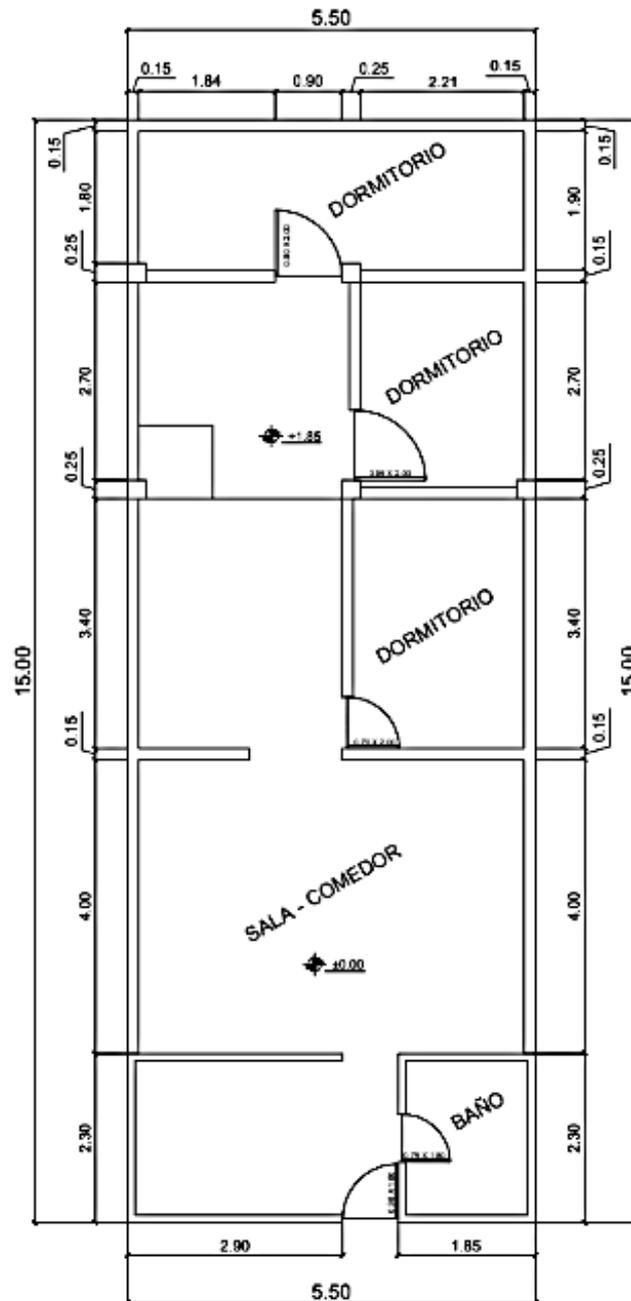


Figura N° 4.8 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 07

La octava vivienda corresponde a la vivienda N° 08 ubicada en el Sector IX Grupo 3A Manzana G Lote 17, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería confinada. La Figura N° 4.9 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.

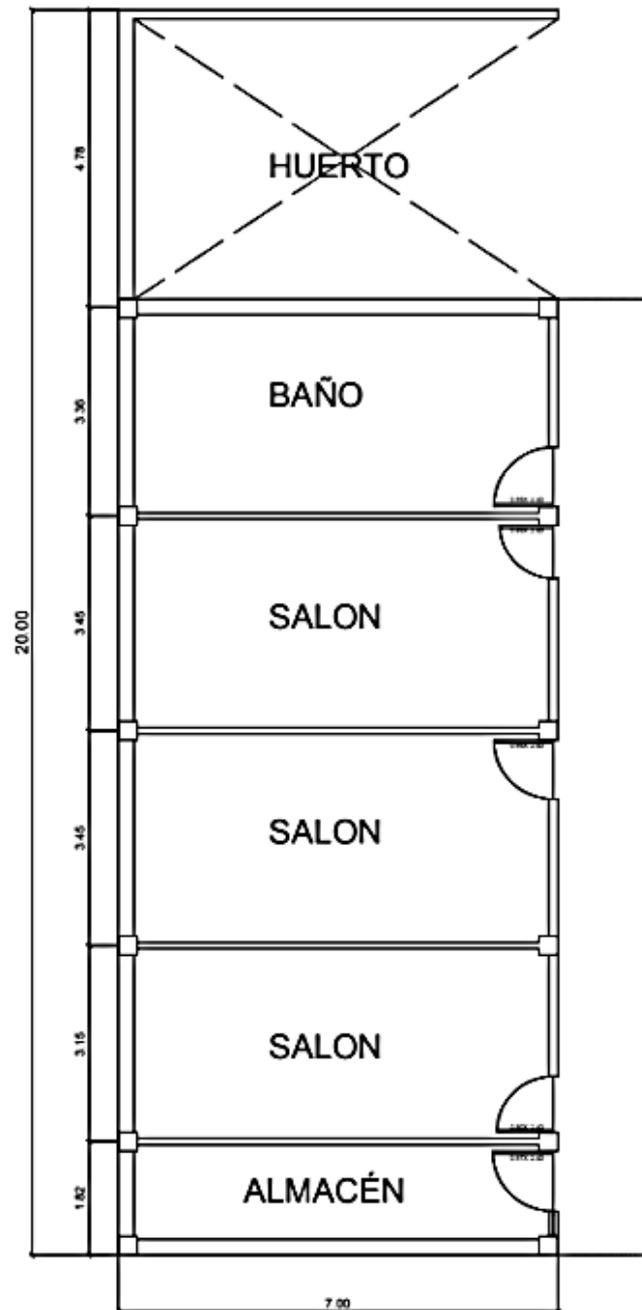


Figura N° 4.9 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 08

La novena vivienda corresponde a la vivienda N° 09 ubicada en el Sector II Grupo 28 Manzana I Lote 2, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería confinada. La Figura N° 4.10 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.



Figura N° 4.10 Plano estructural del primer nivel de la vivienda N° 09

La décima vivienda corresponde a la vivienda N° 10 ubicada en el Sector II Grupo 9 Manzana P Lote 9, posee 3 niveles y un sistema estructural de albañilería confinada. La Figura N° 4.11 muestra el plano en planta de la vivienda seleccionada.

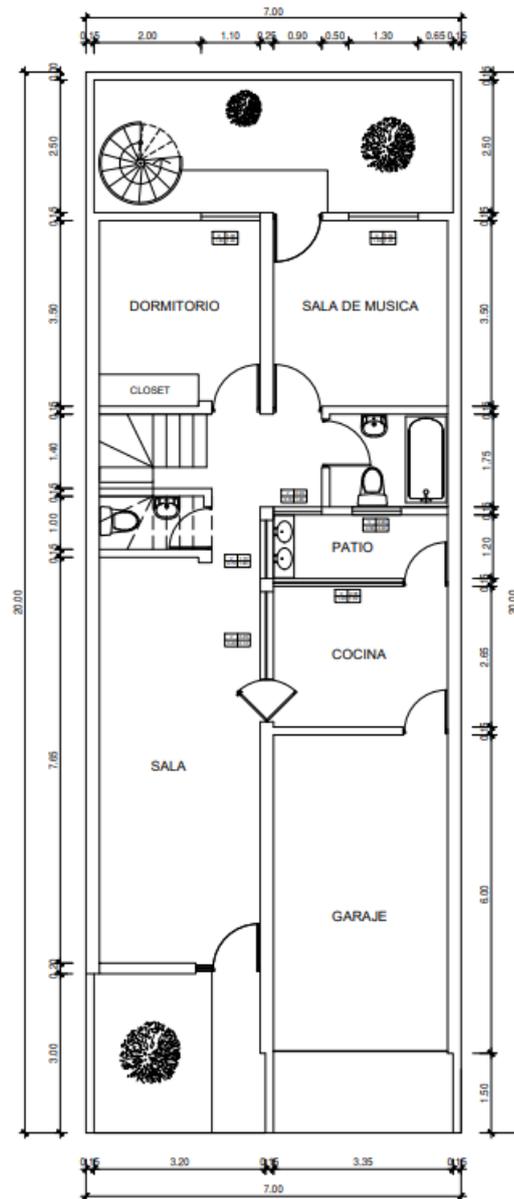


Figura N° 4.11 Plano arquitectónico del primer nivel de la vivienda N° 10

4.1.2 Modelamiento estructural de las viviendas seleccionadas

Con la finalidad de obtener los parámetros β para utilizar en el Método Simplificado de Miranda es necesario modelar las viviendas seleccionadas considerando las propiedades adecuadas para el acero de refuerzo, concreto y albañilería confinada. A través de un análisis modal espectral se obtiene los coeficientes β_1 y β_2 .

A continuación, se describen las propiedades de los materiales considerados:

- Concreto:

Para la definición del concreto se considera una resistencia $f'_c=175 \text{ kgf/cm}^2$ en promedio para todos los elementos estructurales. El modelo de Mander para la relación esfuerzo deformación es considerado para idealizar el concreto. Se considera un 15% de aporte en la zona de tracción. La Figura N° 4.12 muestra la relación esfuerzo deformación para la resistencia definida.

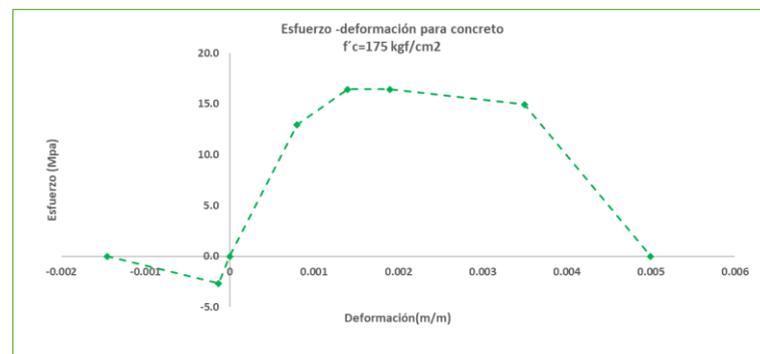


Figura N° 4.12 Relación esfuerzo deformación de Mander $f'_c=175 \text{ kgf/cm}^2$

- Acero de refuerzo

Para la definición del acero de refuerzo se considera un esfuerzo de fluencia f_y igual a 4200 kgf/cm^2 propuesto por Park y Paulay. La Figura N° 4.13 muestra la relación para la resistencia definida.

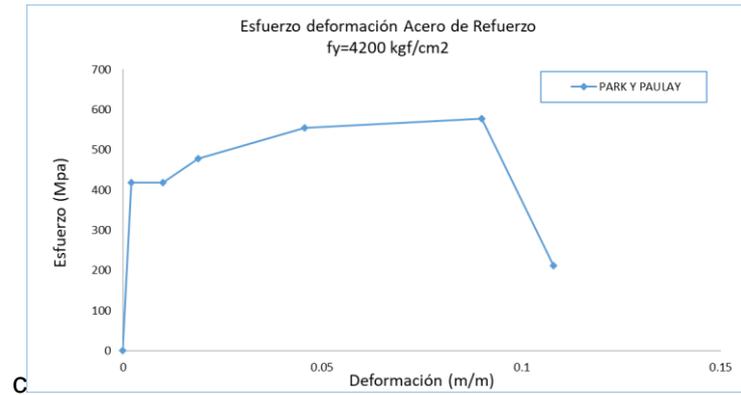


Figura N° 4.13 Relación esfuerzo deformación propuesta por Park y Paulay $f_y=4200$ kgf/cm²

- Unidad de albañilería

Para la definición de la albañilería se considera un $f'_m = 23$ kgf/cm² y un módulo de elasticidad de 11500 kgf/cm² que son valores característicos de los ladrillos tipo king kong y se considera un $f'_m = 13$ kgf/cm² y un módulo de elasticidad de 6500 kgf/cm² puesto que se acostumbra a utilizar ladrillo pandereta en los pisos superiores de la zona en estudio.

Con la definición de los materiales se procede a modelar las viviendas, mediante el uso del software ETABS 2016.

A continuación se muestran los modelos estructurales de las 10 viviendas seleccionadas: Figura N° 4.14, Figura N° 4.15, Figura N° 4.16, Figura N° 4.17, Figura N° 4.18, Figura N° 4.19, Figura N° 4.20, Figura N° 4.21, Figura N° 4.22 y Figura N° 4.23 para calcular los valores β del método simplificado de Miranda.

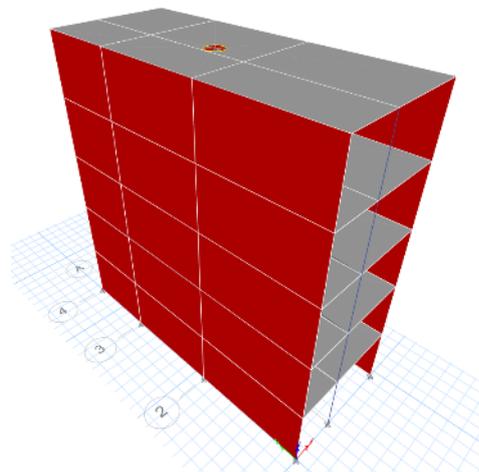


Figura N° 4.14 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 01

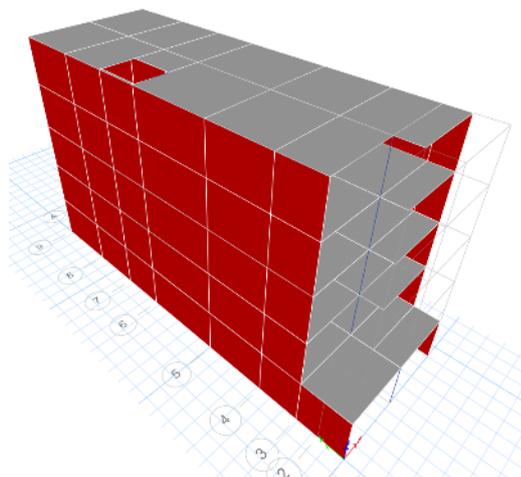


Figura N° 4.15 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 02

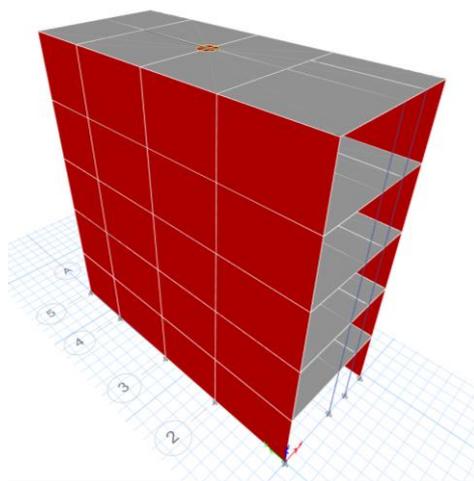


Figura N° 4.16 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 03

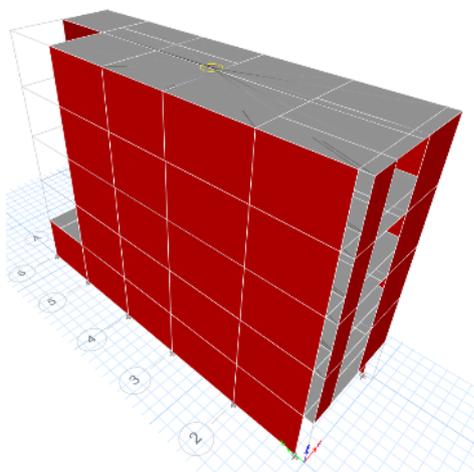


Figura N° 4.17 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 04

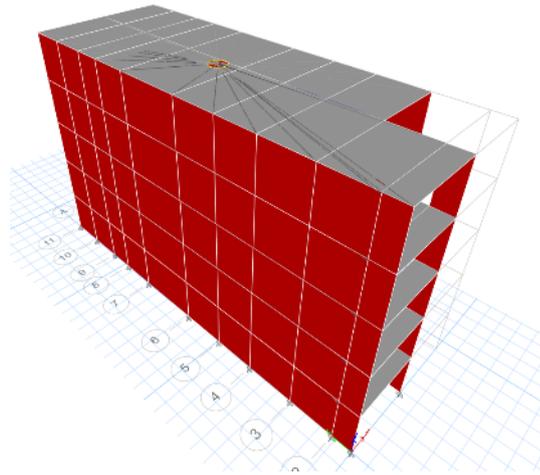


Figura N° 4.18 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 05

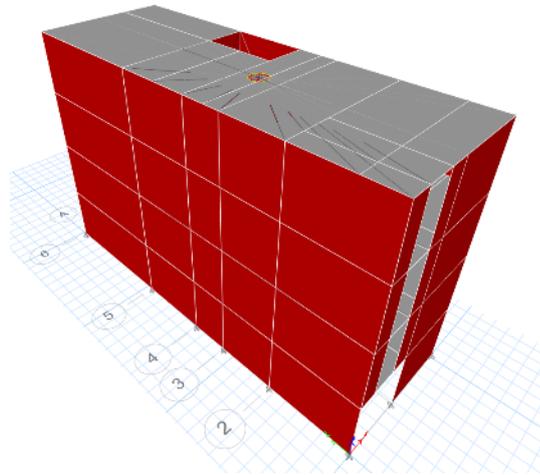


Figura N° 4.19 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 06

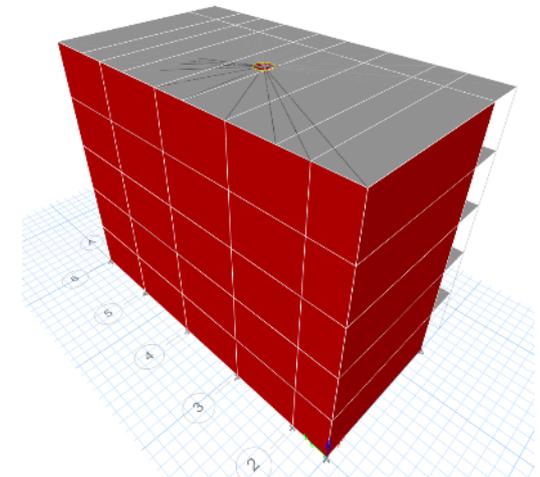


Figura N° 4.20 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 07

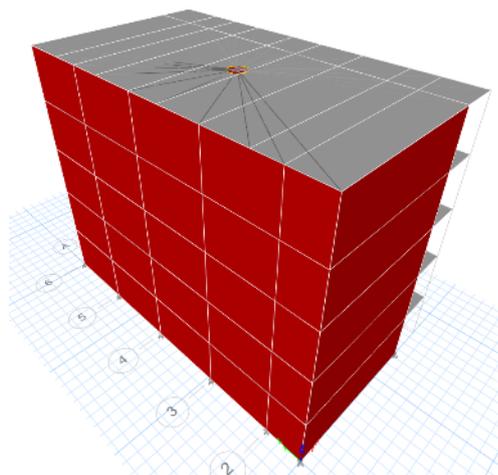


Figura N° 4.21 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 08

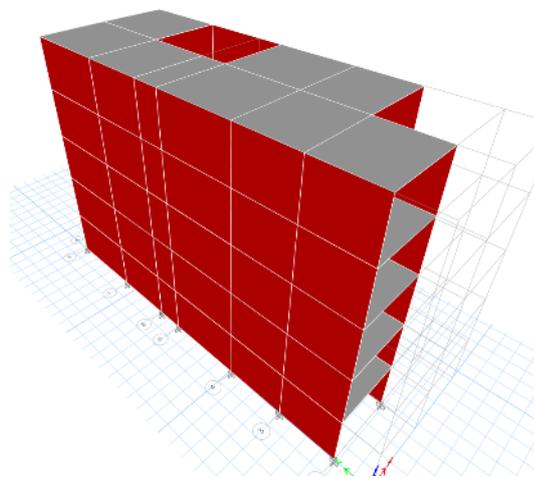


Figura N° 4.22 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 09

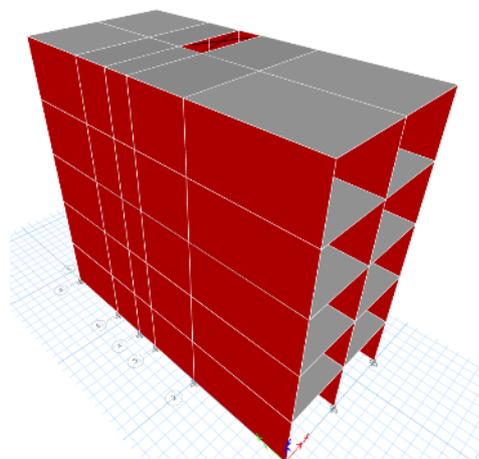


Figura N° 4.23 Modelo estructural de 5 niveles de la vivienda N° 10

4.1.3 Aplicación del Método Simplificado de Miranda

Según la Norma Técnica de Edificaciones E.020 (2006) se considera una carga viva de 200 kgf/m² en los entresijos y una carga de 100 kgf/m² para el techo.

Se han determinado los parámetros sísmicos para las viviendas analizadas según la norma E.030 (2018). El factor de amplificación sísmica (C) se obtuvo con los datos de periodos de suelo obtenidos con las mediciones de microtemores y graficados en el mapa de isoperiodos y en todos los casos el valor de C es 2.5.

Tabla N° 4.1 Parámetros sísmicos establecidos en la norma E.030 (2018)

Descripción	Parámetros	Dirección X	Dirección Y
Factor de Zona	Z	0.45	0.45
Factor de uso	U	1	1
Factor de suelo	S	1.1	1.1
Coficiente de reducción sísmica	Ro	8	3

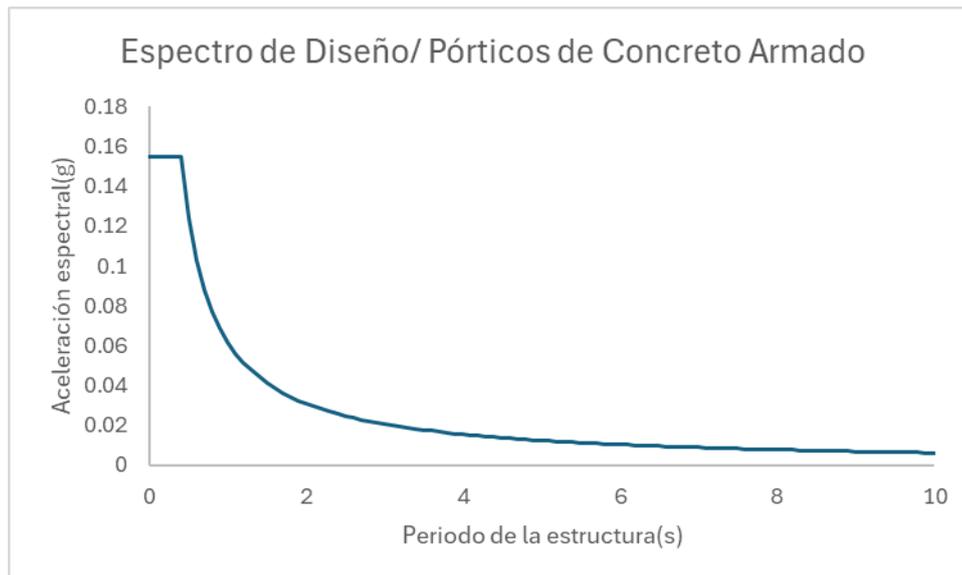


Figura N° 4.24 Espectro de diseño en la dirección X/ Pórticos de concreto armado

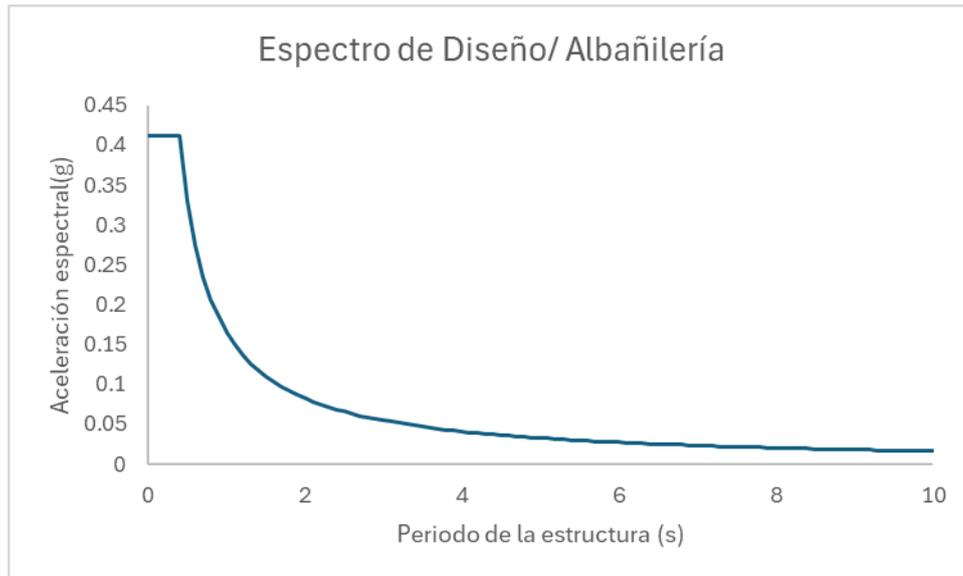


Figura N° 4.25 Espectro de diseño en la dirección Y/ Albañilería

Se procede a calcular los valores de β para cada nivel de entrespiso de las 10 viviendas analizadas. La Tabla N° 4.2 muestra las alturas, periodos predominantes y pseudo aceleración para cada dirección y nivel. Se ha modelado cada vivienda considerando proyecciones de plantas típicas hasta el nivel 5 en cada vivienda.

Tabla N° 4.2 Pseudo aceleración y periodos predominantes para cada nivel de las viviendas

Vivienda	Nivel	H (m)	Tx(s)	Ty(s)	Sax (g)	Say (g)
1	5	12	0.587	0.132	0.155	0.413
	4	9.6	0.449	0.103	0.155	0.413
	3	7.2	0.304	0.076	0.155	0.413
	2	4.8	0.169	0.055	0.155	0.413
	1	2.4	0.069	0.031	0.155	0.413
2	5	12	0.383	0.120	0.155	0.413
	4	9.6	0.296	0.092	0.155	0.413
	3	7.2	0.216	0.066	0.155	0.413
	2	4.8	0.147	0.042	0.155	0.413
	1	2.4	0.095	0.026	0.155	0.413
3	5	12	0.328	0.120	0.155	0.413



Vivienda	Nivel	H (m)	T _x (s)	T _y (s)	S _{ax} (g)	S _{ay} (g)
	4	9.6	0.248	0.092	0.155	0.413
	3	7.2	0.174	0.066	0.155	0.413
	2	4.8	0.109	0.042	0.155	0.413
	1	2.4	0.057	0.023	0.155	0.413
	5	12	0.387	0.127	0.155	0.413
4	5	12	0.387	0.127	0.155	0.413
	4	9.6	0.305	0.099	0.155	0.413
	3	7.2	0.227	0.073	0.155	0.413
	2	4.8	0.155	0.049	0.155	0.413
	1	2.4	0.093	0.027	0.155	0.413
5	5	12	0.485	0.114	0.155	0.413
	4	9.6	0.371	0.088	0.155	0.413
	3	7.2	0.264	0.064	0.155	0.413
	2	4.8	0.230	0.042	0.155	0.413
	1	2.4	0.089	0.024	0.155	0.413
6	5	12	0.470	0.131	0.155	0.413
	4	9.6	0.360	0.104	0.155	0.413
	3	7.2	0.250	0.078	0.155	0.413
	2	4.8	0.190	0.053	0.155	0.413
	1	2.4	0.080	0.031	0.155	0.413
7	5	12	0.460	0.137	0.155	0.413
	4	9.6	0.350	0.107	0.155	0.413
	3	7.2	0.250	0.079	0.155	0.413
	2	4.8	0.160	0.054	0.155	0.413
	1	2.4	0.086	0.031	0.155	0.413
8	5	12	0.410	0.223	0.155	0.413
	4	9.6	0.340	0.169	0.155	0.413
	3	7.2	0.230	0.120	0.155	0.413
	2	4.8	0.160	0.078	0.155	0.413
	1	2.4	0.0896	0.043	0.155	0.413
9	5	12	0.440	0.110	0.155	0.413

Vivienda	Nivel	H (m)	T _x (s)	T _y (s)	S _{ax} (g)	S _{ay} (g)
	4	9.6	0.349	0.089	0.155	0.413
	3	7.2	0.250	0.065	0.155	0.413
	2	4.8	0.170	0.042	0.155	0.413
	1	2.4	0.098	0.022	0.155	0.413
	10	5	11	0.431	0.144	0.155
	4	8.8	0.334	0.112	0.155	0.413
	3	6.6	0.247	0.083	0.155	0.413
	2	4.4	0.165	0.056	0.155	0.413
	1	2.2	0.092	0.033	0.155	0.413

El cálculo de los valores β_1 se determinó mediante la relación de desplazamiento del techo y el desplazamiento espectral. Estos valores se pueden apreciar en la Tabla N° 4.3. Además, las Figura N° 4.26 y Figura N° 4.27 muestran los valores de β_1 para las direcciones X (pórticos de concreto armado) e Y (albañilería) de las viviendas en estudio.

Tabla N° 4.3 Cálculo de valores β_1 para cada nivel y vivienda

Vivienda	Nivel	Desplaz. Espectral X (cm)	Desplaz. Espectral Y (cm)	Desplaz. Último nivel x (cm)	Desplaz. Último nivel y (cm)	β_{1x}	β_{1y}
1	5	1.32	0.18	1.87	0.25	1.41	1.38
	4	0.77	0.11	1.05	0.15	1.36	1.34
	3	0.36	0.06	0.48	0.08	1.35	1.32
	2	0.11	0.03	0.14	0.04	1.30	1.13
	1	0.02	0.01	0.02	0.01	1.01	1.02
2	5	0.56	0.15	1.10	0.20	1.95	1.38
	4	0.34	0.09	0.61	0.12	1.82	1.38
	3	0.18	0.04	0.30	0.06	1.68	1.39
	2	0.08	0.02	0.11	0.03	1.35	1.49
	1	0.03	0.01	0.04	0.01	1.11	1.15
3	5	0.41	0.15	0.80	0.21	1.94	1.41
	4	0.24	0.09	0.45	0.12	1.91	1.39
	3	0.12	0.04	0.21	0.06	1.84	1.37



Vivienda	Nivel	Desplaz. Espectral X (cm)	Desplaz. Espectral Y (cm)	Desplaz. Último nivel x (cm)	Desplaz. Último nivel y (cm)	β_{1x}	β_{1y}
	2	0.05	0.02	0.08	0.03	1.66	1.38
	1	0.01	0.01	0.01	0.01	1.07	1.11
4	5	0.58	0.17	1.04	0.22	1.81	1.35
	4	0.36	0.10	0.60	0.13	1.67	1.33
	3	0.20	0.05	0.32	0.07	1.64	1.32
	2	0.09	0.02	0.12	0.03	1.28	1.26
	1	0.03	0.01	0.03	0.01	1.04	1.07
5	5	0.90	0.13	1.79	0.18	1.97	1.38
	4	0.53	0.08	0.95	0.11	1.80	1.39
	3	0.27	0.04	0.42	0.06	1.57	1.38
	2	0.20	0.02	0.26	0.02	1.26	1.33
	1	0.03	0.01	0.03	0.01	1.12	1.02
6	5	0.85	0.18	1.02	0.24	1.20	1.35
	4	0.50	0.11	0.57	0.14	1.13	1.30
	3	0.24	0.06	0.27	0.08	1.13	1.28
	2	0.14	0.03	0.16	0.04	1.12	1.25
	1	0.02	0.01	0.02	0.01	0.93	1.02
7	5	0.81	0.19	1.45	0.27	1.78	1.38
	4	0.47	0.12	0.77	0.16	1.62	1.35
	3	0.24	0.06	0.37	0.09	1.52	1.33
	2	0.10	0.03	0.11	0.04	1.14	1.24
	1	0.03	0.01	0.03	0.01	1.02	1.02
8	5	0.65	0.51	0.99	0.79	1.53	1.55
	4	0.44	0.29	0.67	0.46	1.51	1.57
	3	0.20	0.15	0.27	0.23	1.31	1.54
	2	0.10	0.06	0.12	0.09	1.26	1.44
	1	0.03	0.02	0.04	0.02	1.13	1.16
9	5	0.74	0.12	1.44	0.17	1.93	1.36
	4	0.47	0.08	0.80	0.10	1.70	1.21
	3	0.24	0.04	0.35	0.05	1.44	1.16
	2	0.11	0.02	0.15	0.02	1.38	1.13
	1	0.04	0.00	0.04	0.00	1.02	0.99
10	5	0.71	0.21	1.41	0.27	1.98	1.29
	4	0.43	0.13	0.76	0.16	1.77	1.26
	3	0.23	0.07	0.39	0.09	1.64	1.22

Vivienda	Nivel	Desplaz. Espectral X (cm)	Desplaz. Espectral Y (cm)	Desplaz. Último nivel x (cm)	Desplaz. Último nivel y (cm)	β_{1x}	β_{1y}
	2	0.10	0.03	0.14	0.04	1.30	1.17
	1	0.03	0.01	0.04	0.01	1.12	0.94

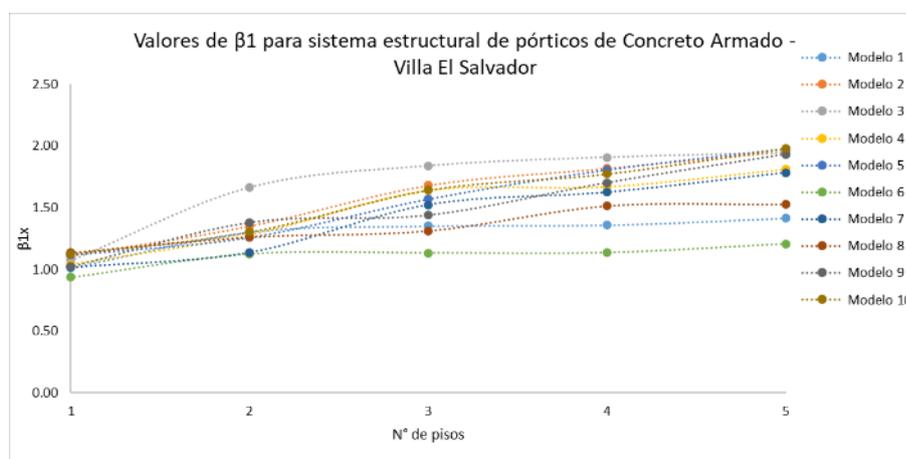


Figura N° 4.26 Valores de β_1 para sistema estructural pórticos de concreto armado en viviendas de Villa El Salvador

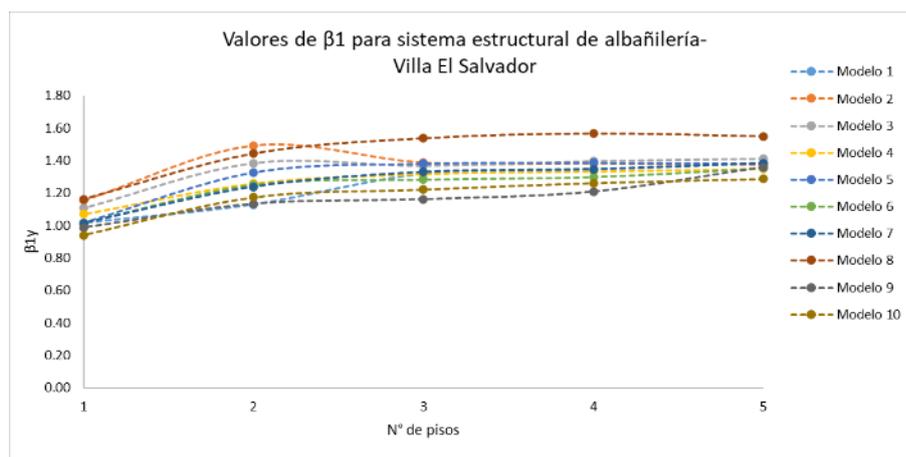


Figura N° 4.27 Valores de β_1 para sistema estructural albañilería en viviendas de Villa El Salvador

El cálculo de los valores β_2 se determina mediante la relación de la máxima distorsión de entrepiso y la distorsión global de la estructura. Esto se puede apreciar en la Tabla N°4.4. Además, la Figura N° 4.28 y la Figura N° 4.29 muestran los valores de β_2 para las direcciones X (pórticos de concreto armado) e Y (albañilería) de las viviendas en estudio.

Tabla N° 4.4 Cálculo de valores β_2 para cada nivel y vivienda

Viv.	Nivel	Desplazamiento máximo de entrepiso x (cm)					Desplazamiento máximo de entrepiso y (cm)					β_{2x}	β_{2y}
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		
1	5	1.87	1.70	1.60	1.10	0.60	0.25	0.21	0.17	0.11	0.05	1.75	1.30
	4		1.05	0.82	0.44	0.08		0.15	0.12	0.09	0.04	1.56	1.32
	3			0.48	0.29	0.06			0.08	0.06	0.03	1.56	1.34
	2				0.14	0.03				0.04	0.02	1.66	1.31
	1					0.02					0.01	1.09	1.09
2	5	1.10	0.95	0.74	0.47	0.17	0.20	0.18	0.14	0.09	0.03	1.46	1.50
	4		0.61	0.54	0.36	0.14		0.12	0.10	0.07	0.03	1.57	1.49
	3			0.30	0.25	0.11			0.06	0.05	0.02	1.54	1.53
	2				0.11	0.07				0.03	0.01	1.36	1.21
	1					0.04					0.01	1.09	1.09
3	5	0.80	0.68	0.51	0.31	0.11	0.21	0.18	0.14	0.09	0.03	1.36	1.44
	4		0.45	0.37	0.23	0.09		0.12	0.10	0.07	0.02	1.41	1.48
	3			0.21	0.16	0.06			0.06	0.05	0.02	1.44	1.45
	2				0.08	0.04				0.03	0.01	1.12	1.13
	1					0.01					0.01	1.09	1.09
4	5	1.04	0.89	0.71	0.51	0.28	0.22	0.20	0.16	0.11	0.05	1.47	1.44
	4		0.60	0.53	0.39	0.22		0.13	0.12	0.08	0.04	1.62	1.40
	3			0.32	0.27	0.16			0.07	0.06	0.03	1.62	1.36
	2				0.12	0.10				0.03	0.02	1.87	1.27
	1					0.03					0.01	1.09	1.09
5	5	1.79	1.55	1.17	0.70	0.23	0.18	0.16	0.13	0.08	0.03	1.43	1.51
	4		0.95	0.85	0.53	0.18		0.11	0.09	0.06	0.02	1.61	1.55
	3			0.42	0.37	0.13			0.06	0.04	0.02	1.82	1.52
	2				0.26	0.09				0.02	0.01	1.45	1.18
	1					0.03					0.01	1.09	1.09
6	5	1.02	0.83	0.61	0.37	0.16	0.24	0.21	0.17	0.11	0.05	1.26	1.33
	4		0.57	0.44	0.28	0.12		0.14	0.12	0.09	0.04	1.22	1.33
	3			0.27	0.19	0.09			0.08	0.06	0.03	1.23	1.35
	2				0.16	0.06				0.04	0.02	1.41	1.33
	1					0.02					0.01	1.09	1.09
7	5	1.45	1.39	1.04	0.65	0.28	0.27	0.23	0.18	0.12	0.06	1.46	1.31
	4		0.77	0.75	0.49	0.22		0.16	0.13	0.09	0.05	1.56	1.33
	3			0.37	0.33	0.16			0.09	0.07	0.03	1.58	1.31
	2				0.11	0.10				0.04	0.02	1.93	1.30
	1					0.03					0.01	1.09	1.09

Viv.	Nivel	Desplazamiento máximo de entrepiso x (cm)					Desplazamiento máximo de entrepiso y (cm)					β_{2x}	β_{2y}
		5	4	3	2	1	5	4	3	2	1		
8	5	0.99	0.54	0.65	0.11	0.06	0.79	0.67	0.50	0.31	0.13	2.99	1.30
	4		0.67	0.21	0.21	0.35		0.46	0.36	0.23	0.10	3.00	1.25
	3			0.27	0.07	0.04			0.23	0.16	0.07	2.36	1.24
	2				0.12	0.03				0.09	0.05	1.74	1.16
	1					0.04					0.02	1.09	1.09
9	5	1.41	1.44	1.36	1.01	0.43	0.17	0.14	0.11	0.07	0.03	2.18	1.26
	4		0.80	0.74	0.77	0.34		0.10	0.08	0.05	0.02	2.35	1.25
	3			0.35	0.34	0.25			0.05	0.04	0.02	2.38	1.21
	2				0.15	0.13				0.02	0.01	1.85	1.14
	1					0.04				0.00		1.09	1.09
10	5	1.41	1.39	1.36	0.96	0.42	0.27	0.24	0.18	0.12	0.06	1.88	1.18
	4		0.76	0.68	0.73	0.34		0.16	0.13	0.09	0.05	2.08	1.18
	3			0.39	0.21	0.25			0.09	0.07	0.03	1.93	1.19
	2				0.14	0.12				0.04	0.02	1.74	1.19
	1					0.04					0.01	1.00	1.00

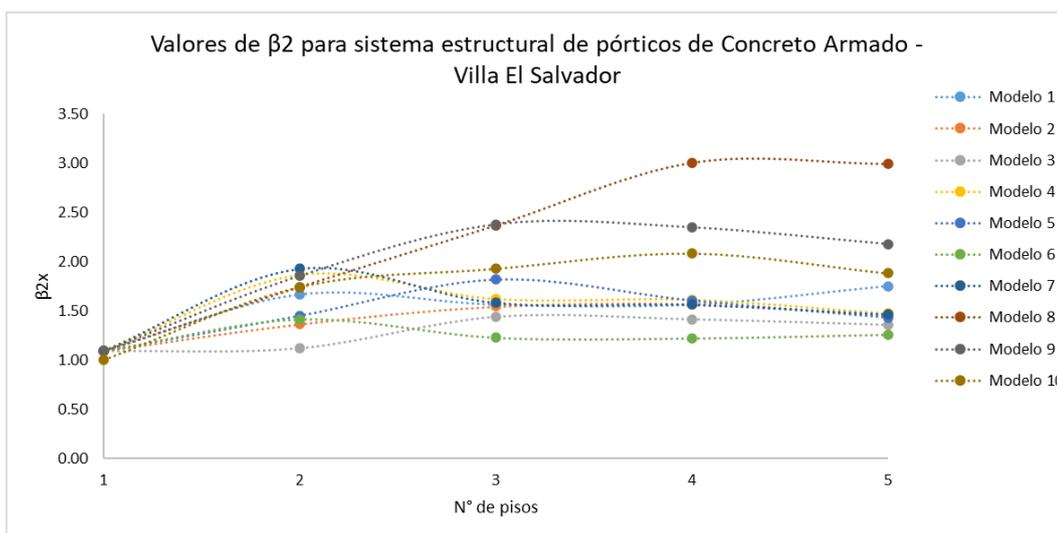


Figura N° 4.28 Valores de β_2 para sistema estructural pórticos de concreto armado en viviendas de Villa El Salvador

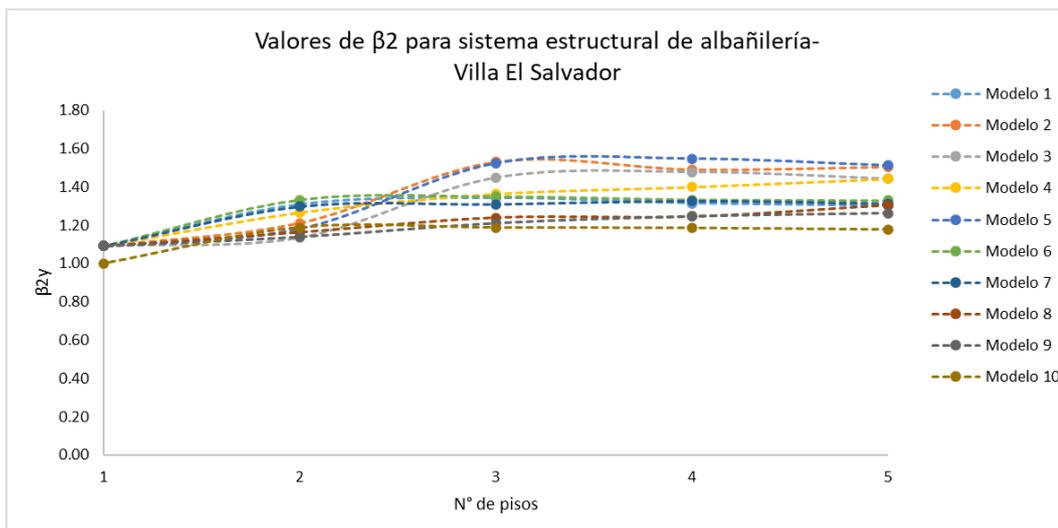


Figura N° 4.29 Valores de β_2 para sistema estructural albañilería en viviendas de Villa El Salvador

Para el cálculo de los valores β_3 y β_4 se utilizan las ecuaciones 2.17 y 2.19, que dependen del periodo fundamental de la estructura y el valor de la ductilidad. Los resultados se pueden apreciar en la Tabla N° 4.5.

Tabla N° 4.5 Cálculo de valores β_3 y β_4 para cada nivel y vivienda

Vivienda	Nivel	Ductilidad aportado μ_x	Ductilidad albañilería μ_y	β_{3x}	β_{3y}	β_{4x}	β_{4y}
1	5	3	2	1.04	1.25	1.13	1.09
	4	3	2	1.08	1.33	1.12	1.09
	3	3	2	1.17	1.42	1.12	1.08
	2	3	2	1.40	1.52	1.11	1.08
	1	3	2	1.89	1.68	1.11	1.07
2	5	3	2	1.11	1.28	1.13	1.09
	4	3	2	1.18	1.36	1.12	1.09
	3	3	2	1.29	1.46	1.12	1.08
	2	3	2	1.47	1.60	1.11	1.08
	1	3	2	1.71	1.72	1.11	1.07
3	5	3	2	1.15	1.28	1.13	1.09
	4	3	2	1.24	1.36	1.12	1.09
	3	3	2	1.39	1.46	1.12	1.08
	2	3	2	1.63	1.60	1.11	1.08
	1	3	2	2.01	1.74	1.11	1.07
4	5	3	2	1.11	1.26	1.13	1.09
	4	3	2	1.17	1.34	1.12	1.09
	3	3	2	1.27	1.43	1.12	1.08
	2	3	2	1.44	1.55	1.11	1.08

Vivienda	Nivel	Ductilidad aportado μ_x	Ductilidad albañilería μ_y	β_{3x}	β_{3y}	β_{4x}	β_{4y}
	1	3	2	1.72	1.71	1.11	1.07
5	5	3	2	1.06	1.30	1.13	1.09
	4	3	2	1.12	1.37	1.12	1.09
	3	3	2	1.22	1.47	1.12	1.08
	2	3	2	1.27	1.60	1.11	1.08
	1	3	2	1.75	1.74	1.11	1.07
6	5	3	2	1.07	1.25	1.13	1.09
	4	3	2	1.12	1.32	1.12	1.09
	3	3	2	1.24	1.41	1.12	1.08
	2	3	2	1.35	1.53	1.11	1.08
	1	3	2	1.81	1.68	1.11	1.07
7	5	3	2	1.07	1.24	1.13	1.09
	4	3	2	1.13	1.31	1.12	1.09
	3	3	2	1.24	1.41	1.12	1.08
	2	3	2	1.43	1.53	1.11	1.08
	1	3	2	1.77	1.68	1.11	1.07
8	5	3	2	1.09	1.12	1.13	1.09
	4	3	2	1.14	1.18	1.12	1.09
	3	3	2	1.27	1.28	1.12	1.08
	2	3	2	1.43	1.41	1.11	1.08
	1	3	2	1.74	1.59	1.11	1.07
9	5	3	2	1.08	1.31	1.13	1.09
	4	3	2	1.13	1.37	1.12	1.09
	3	3	2	1.24	1.47	1.12	1.08
	2	3	2	1.40	1.60	1.11	1.08
	1	3	2	1.69	1.75	1.11	1.07
10	5	3	2	1.08	1.23	1.13	1.09
	4	3	2	1.14	1.30	1.12	1.09
	3	3	2	1.24	1.39	1.12	1.08
	2	3	2	1.41	1.51	1.11	1.08
	1	3	2	1.73	1.66	1.11	1.07

La Figura N° 4.30 y la Figura N° 4.31 muestran los valores de β_3 para las direcciones X (pórticos de concreto armado) e Y (albañilería) de las viviendas en estudio.

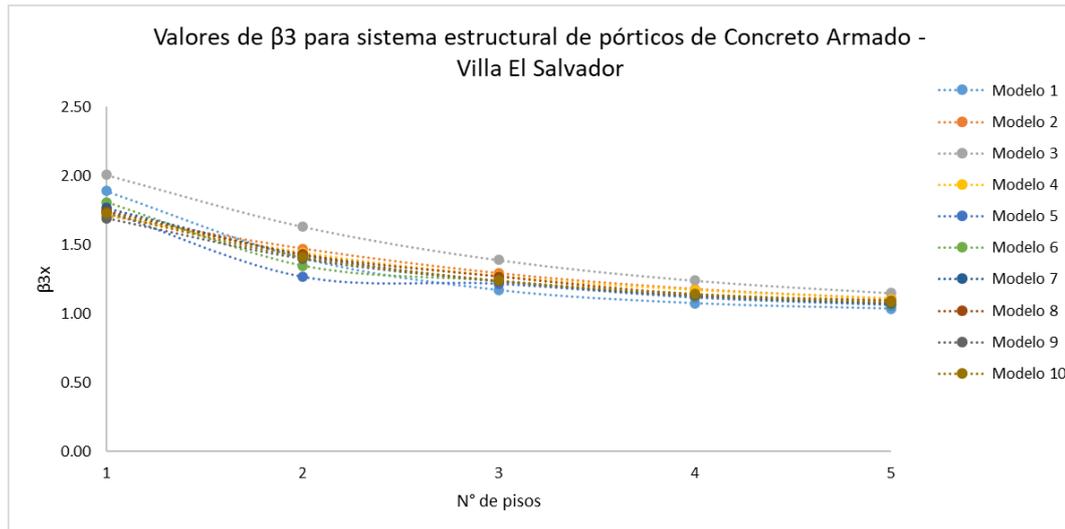


Figura N° 4.30 Valores de β_3 para sistema estructural pórticos de concreto armado en viviendas de Villa El Salvador

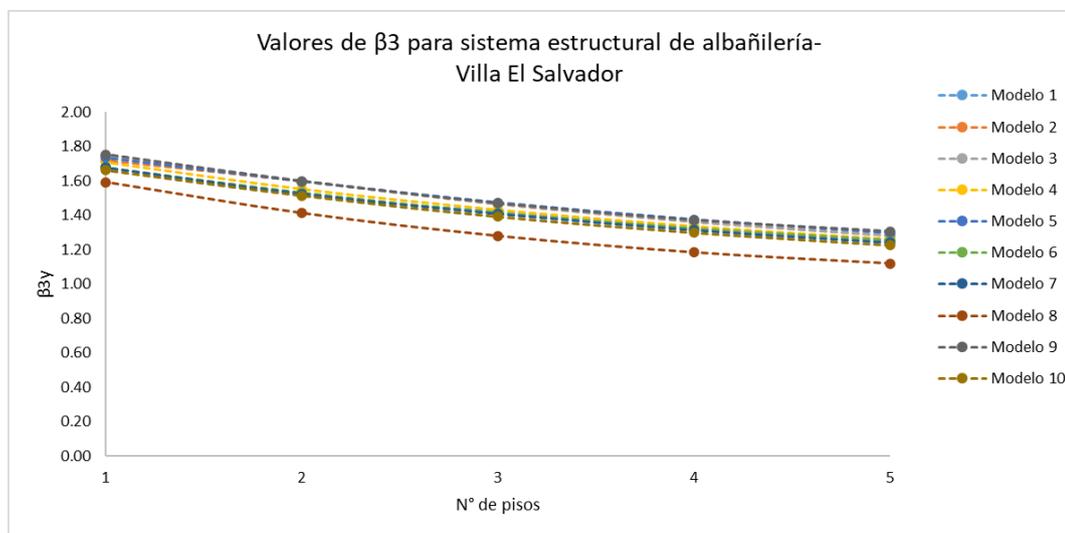


Figura N° 4.31 Valores de β_3 para sistema estructural albañilería en viviendas de Villa El Salvador

La Figura N° 4.32 y la Figura N° 4.33 muestran los valores de β_4 para cada sistema estructural predominante.

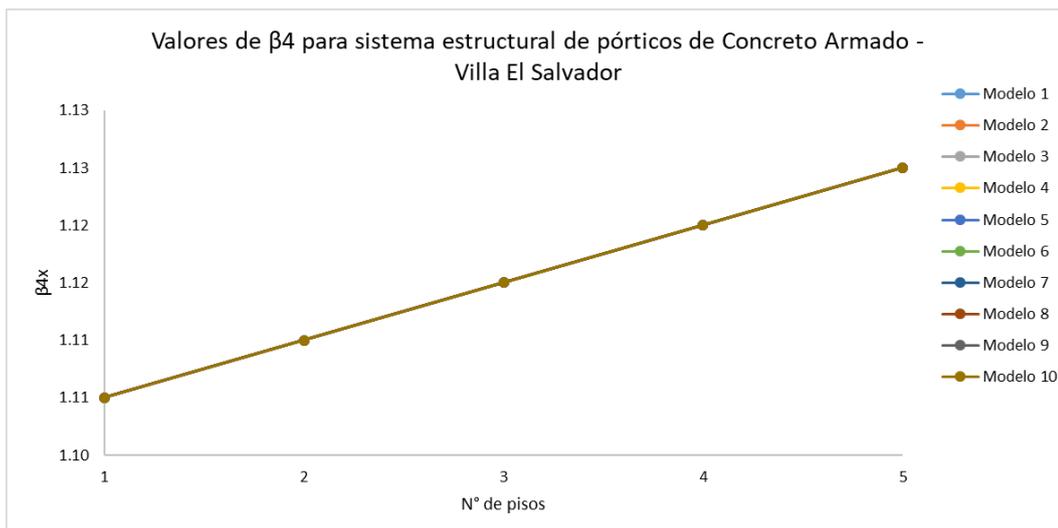


Figura N° 4.32 Valores de β_4 para sistema estructural pórticos de concreto armado en viviendas de Villa El Salvador

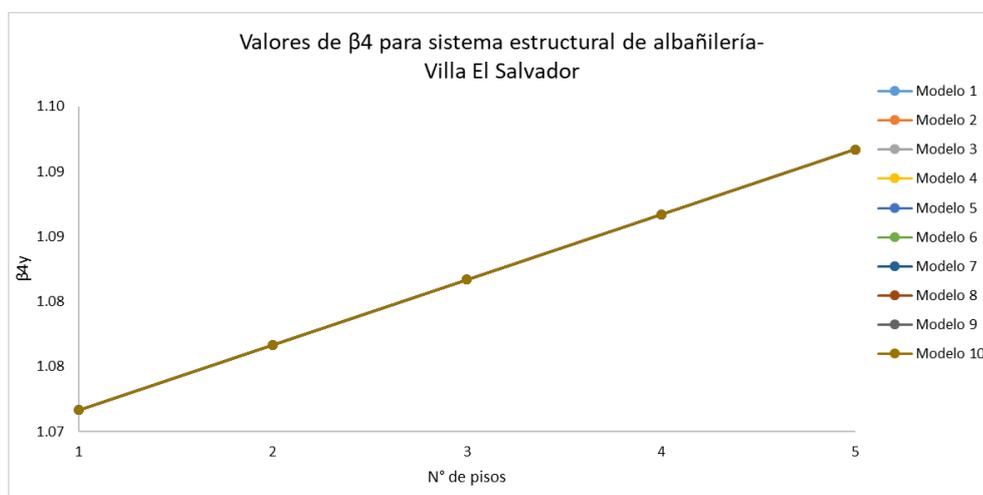


Figura N° 4.33 Valores de β_4 para sistema estructural albañilería en viviendas de Villa El Salvador

Una vez obtenidos los valores de β para las viviendas se procede a calcular las distorsiones en las direcciones principales mediante la ecuación 2.13.

Además, las distorsiones han sido afectadas por los factores de corrección correspondientes a deterioro e irregularidad por altura según (Proyecto APESEG-CISMID, 2004).

Tabla N° 4.6 Distorsiones calculadas por el método simplificado de Miranda

Vivienda	Nivel	Yx MIRANDA	Yy MIRANDA
1	2	0.0081	0.0058
	1	0.0028	0.0020
2	2	0.0068	0.0062
	1	0.0057	0.0051
3	2	0.0034	0.0027
	1	0.0019	0.0015
4	2	0.0078	0.0054
	1	0.0056	0.0039
5	1	0.0070	0.0028
6	2	0.0073	0.0084
	1	0.0026	0.0030
7	2	0.0075	0.0057
	1	0.0044	0.0033
8	2	0.0075	0.0055
	1	0.0047	0.0035
9	2	0.0097	0.0054
	1	0.0065	0.0036
10	3	0.0164	0.0082
	2	0.0110	0.0055
	1	0.0068	0.0034

4.2 Método del índice de la vulnerabilidad de Nakamura (2008)

En base a este método se obtienen las distorsiones de entrepiso y distorsiones globales de las viviendas, haciendo uso de los valores espectrales obtenidos mediante la relación H/V propuesta por Nakamura (2008).

Para determinar las distorsiones de entrepiso es necesario contar con la medición de por lo menos un punto en cada nivel de la vivienda. Para la aplicación del método se seleccionaron 4 viviendas, de las 10 que fueron utilizadas para el método simplificado de Miranda, con el objetivo de comparar las distorsiones de entrepiso.

A continuación, se presenta el diagrama de flujo que se debe seguir para aplicar el método de índice de vulnerabilidad de Nakamura:

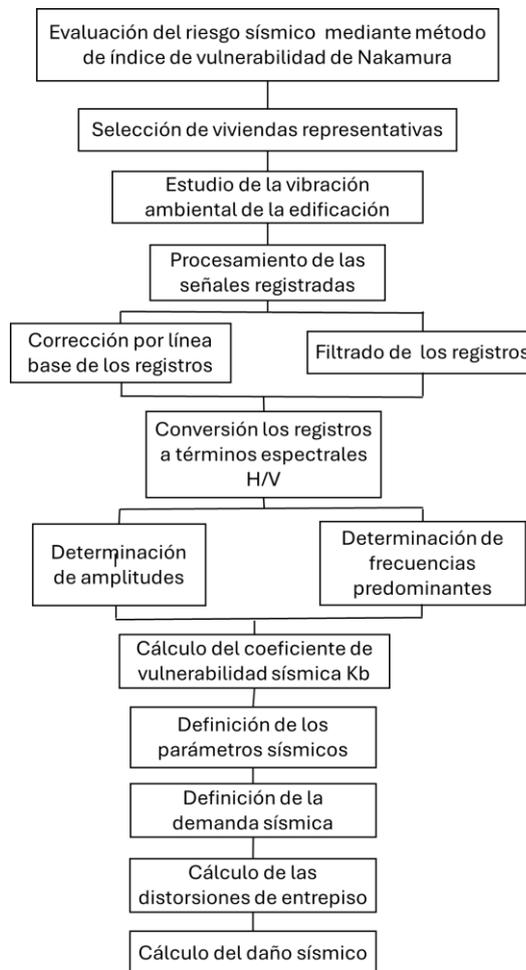


Figura N° 4.34 Diagrama de flujo para usar el método de índice de vulnerabilidad de Nakamura

4.2.1 Viviendas seleccionadas

La primera edificación es la vivienda N° 02 ubicada en el Sector II, descrita en el capítulo de sistema de información geográfica con coordenadas $12^{\circ}12'00.5''$ S y $76^{\circ}56'21.4''$ W, posee 2 niveles y sistema estructural de albañilería. La Figura N° 4.35 muestra la vivienda seleccionada.



Figura N° 4.35 Vivienda N° 02- Método de Nakamura

La segunda edificación es la vivienda N° 05 ubicada en el Sector II, descrita en el capítulo de sistema de información geográfica con coordenadas $12^{\circ}11'58.9''$ S y $76^{\circ}56'21.0''$ W, posee 2 niveles y un sistema estructural de albañilería. La Figura N° 4.36 muestra la vivienda seleccionada.



Figura N° 4.36 Vivienda N° 05- Método de Nakamura

La tercera edificación es la vivienda N° 09 ubicada en el Sector II descrita en el capítulo de sistema de información geográfica con coordenadas $12^{\circ}13'23.2''S$ $76^{\circ}56'32.5''W$, posee 3 niveles y un sistema estructural de albañilería. La Figura N° 4.37 muestra la vivienda seleccionada.



Figura N° 4.37 Vivienda N° 09- Método de Nakamura

La cuarta edificación es la vivienda N° 10 ubicada en el Sector II descrita en el capítulo de sistema de información geográfica con coordenadas $-12.207^{\circ} S$, $-76.93^{\circ} W$, posee 4 niveles y un sistema estructural de albañilería. La Figura N° 4.38 muestra la vivienda seleccionada.



Figura N° 4.38 Vivienda N° 10- Método de Nakamura

4.2.1.1 Aplicación del método de índice de vulnerabilidad (2008)

Para la obtención de distorsiones de entrepiso mediante este método se registraron mediciones de microtremores en todos los entrepisos y suelo de las viviendas seleccionadas. De esta forma podemos obtener los parámetros, tales como: amplitudes, aceleraciones máximas, periodos y frecuencias fundamentales.

El método suele producir alrededor del 10% al 15% de desviación estándar, que es típico de los estudios sismológicos, pero al aumentar el número de puntos investigados este valor se reduce (Oynakov, 2023).

La Figura N°4.39 muestra las señales que se utilizaron en las tres direcciones (Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical) para cada nivel de entrepiso de la vivienda 2 y de esta manera calculamos las relaciones espectrales H/V de Nakamura para cada dirección horizontal. A continuación, se muestran las arquitecturas de las plantas y las relaciones H/V en términos espectrales para cada nivel de la vivienda: Figura N°4.40 y Figura N°4.41.

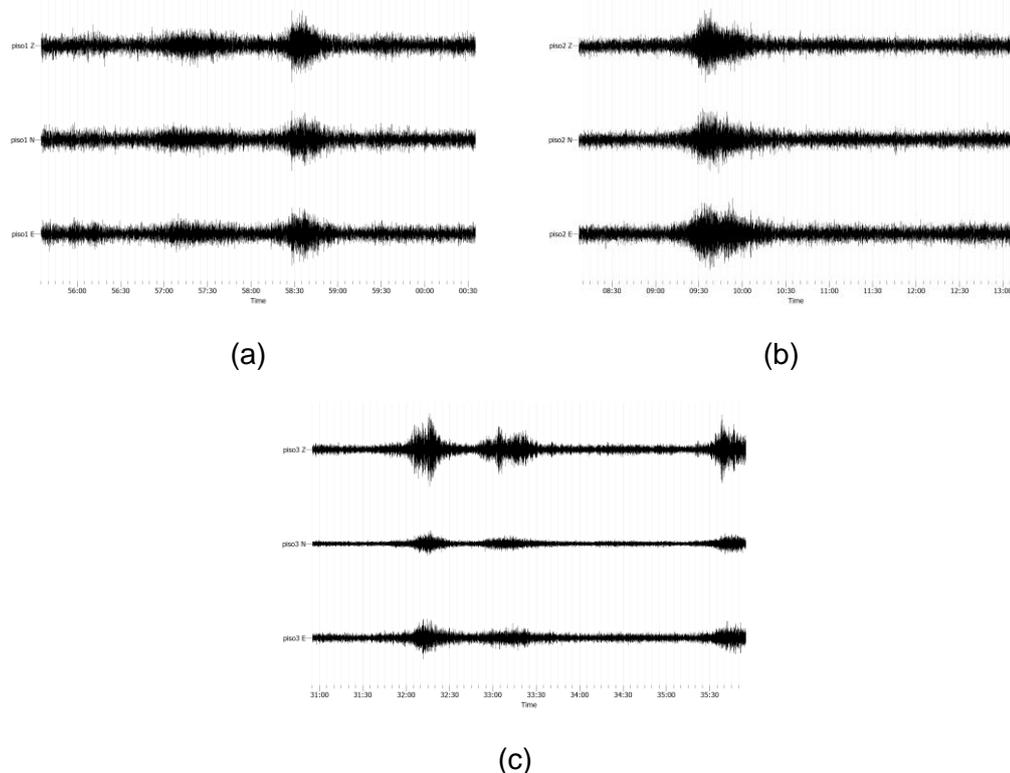


Figura N° 4.39 Registro de las señales para la vivienda N°2: (a) primer nivel, (b) segundo nivel y (c) tercer nivel.

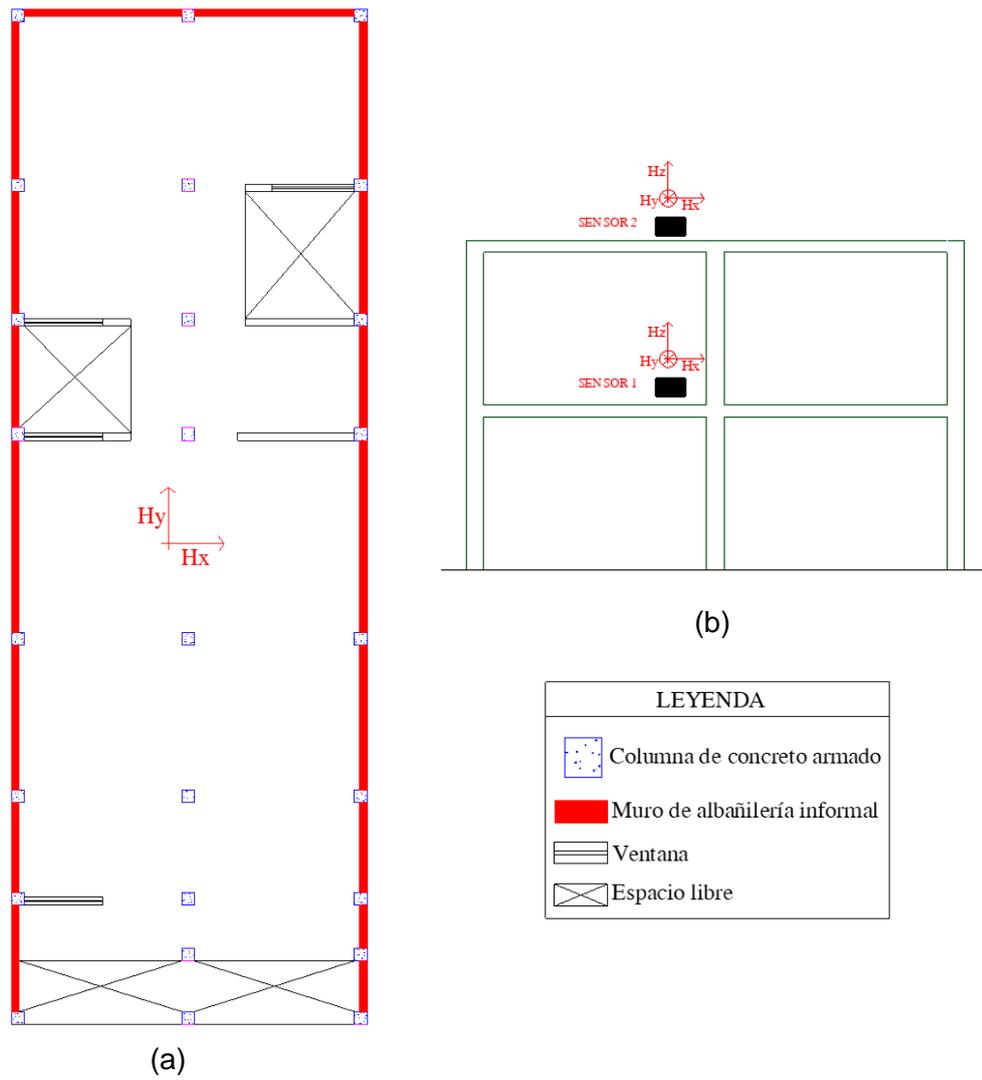


Figura N° 4.40 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 2:

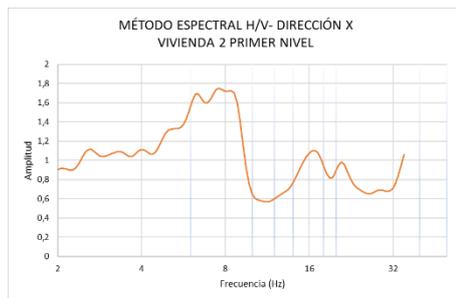
(a) Plano en planta, (b) Elevación



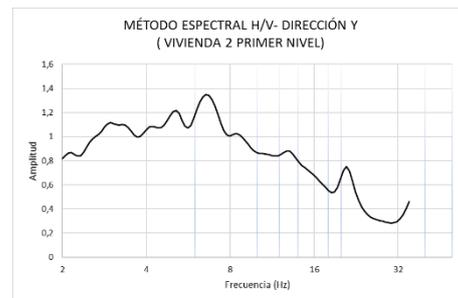
(a)



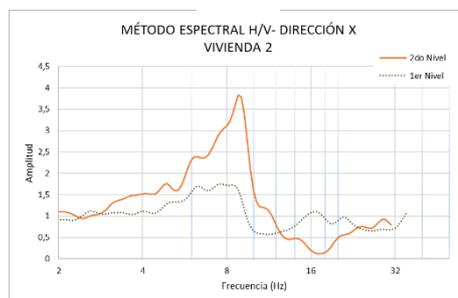
(b)



(c)



(d)



(e)



(f)

Figura N° 4.41 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 2: (a) 2do nivel eje X, (b) 2do nivel eje Y, (c) 1er nivel eje X, (d) 1er nivel eje Y, (e) Dirección X y (f) Dirección Y.

La Figura N°4.42 muestra las señales que se utilizaron en las tres direcciones (Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical) para cada nivel de entrepiso de la vivienda 5 y de esta manera calculamos las relaciones espectrales H/V de Nakamura para cada dirección horizontal. A continuación, se muestran las arquitecturas de las plantas y las relaciones H/V en términos espectrales para cada nivel de la vivienda: Figura N°4.43.

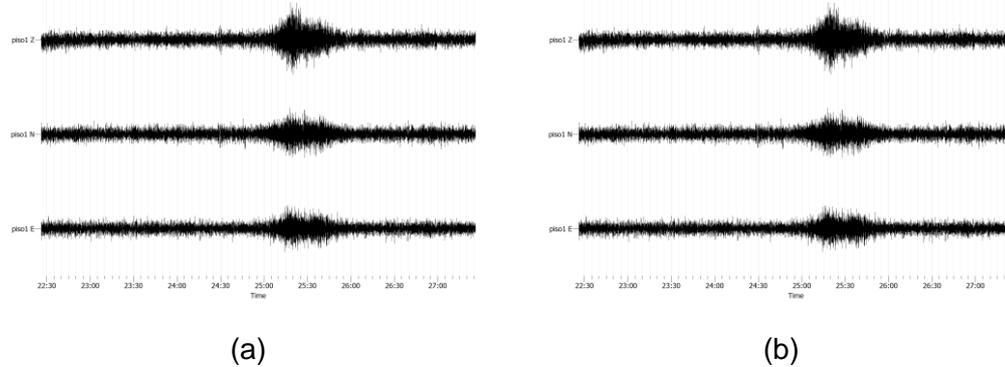


Figura N° 4.42 Registro de las señales para la vivienda N°5: (a) primer nivel y (b) segundo nivel.

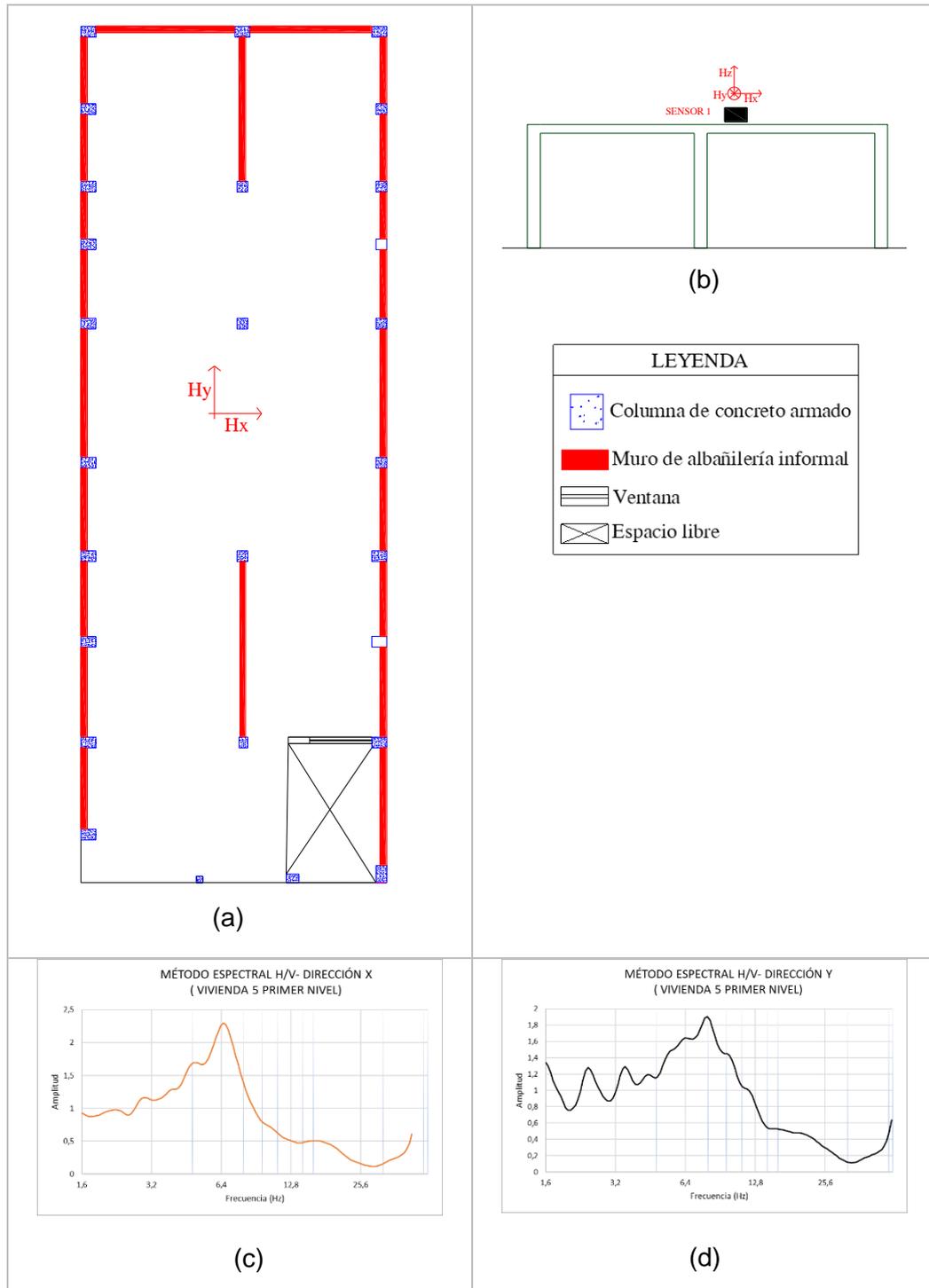


Figura N° 4.43 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 5:

(a) Plano en planta, (b) Elevación, (c) 1er nivel eje X, (d) 1er nivel eje Y.

La Figura N°4.44 muestra las señales que se utilizaron en las tres direcciones (Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical) para cada nivel de entropiso de la vivienda 9 y de esta manera calculamos las relaciones espectrales H/V de Nakamura para cada dirección horizontal. A continuación, se muestran las arquitecturas de las plantas y las relaciones H/V en términos espectrales para cada nivel de la vivienda: Figura N°4.45 y Figura N°4.46.

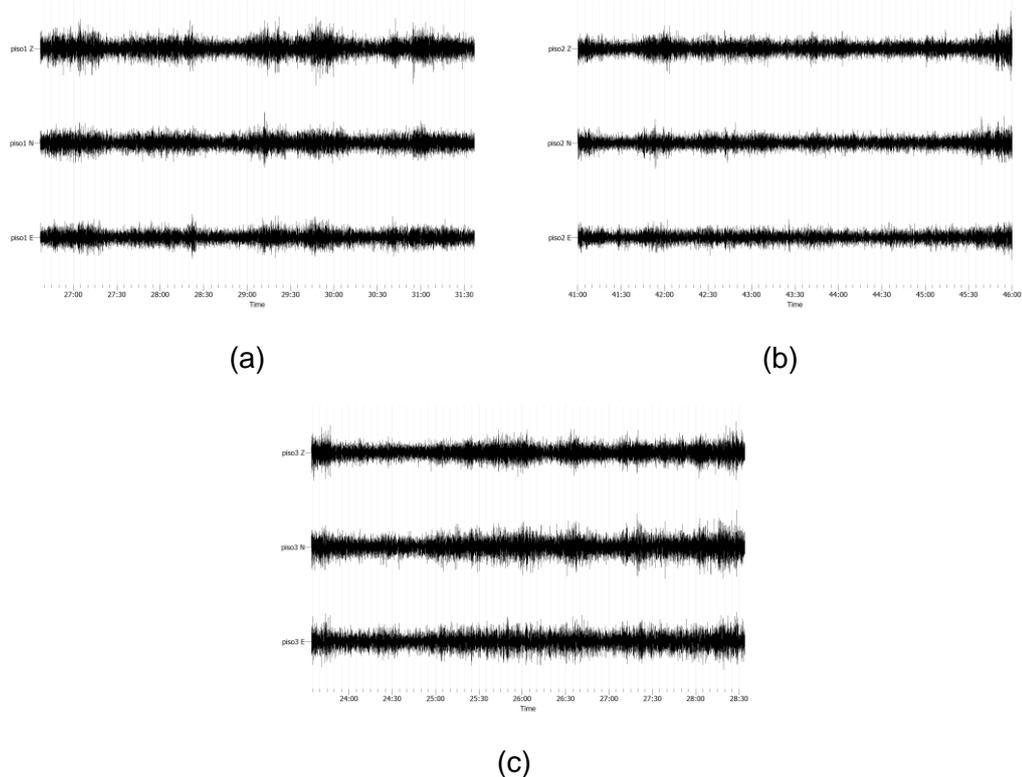


Figura N° 4.44 Registro de las señales para la vivienda N°9: (a) primer nivel, (b) segundo nivel y (c) tercer nivel.

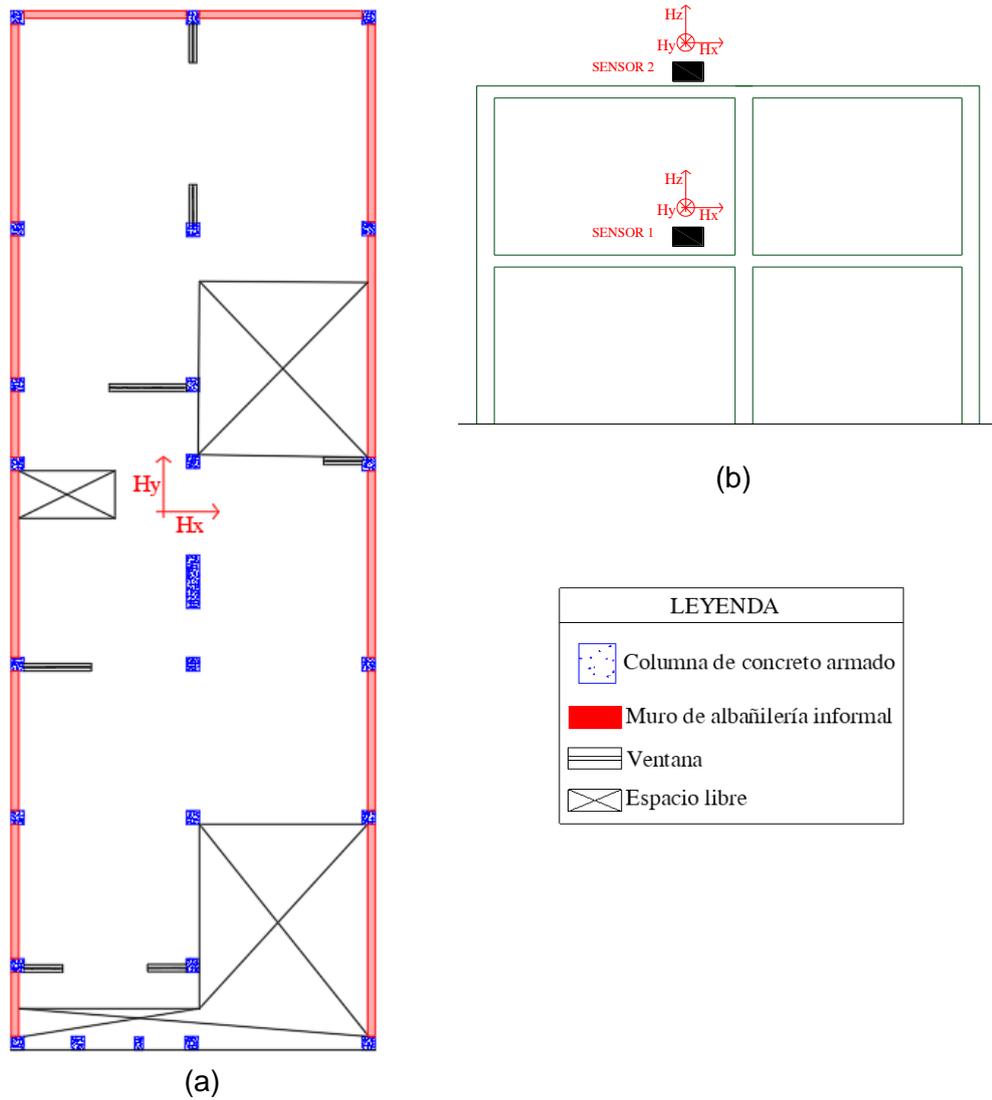


Figura N° 4.45 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 9:

(a) Plano en planta, (b) Elevación

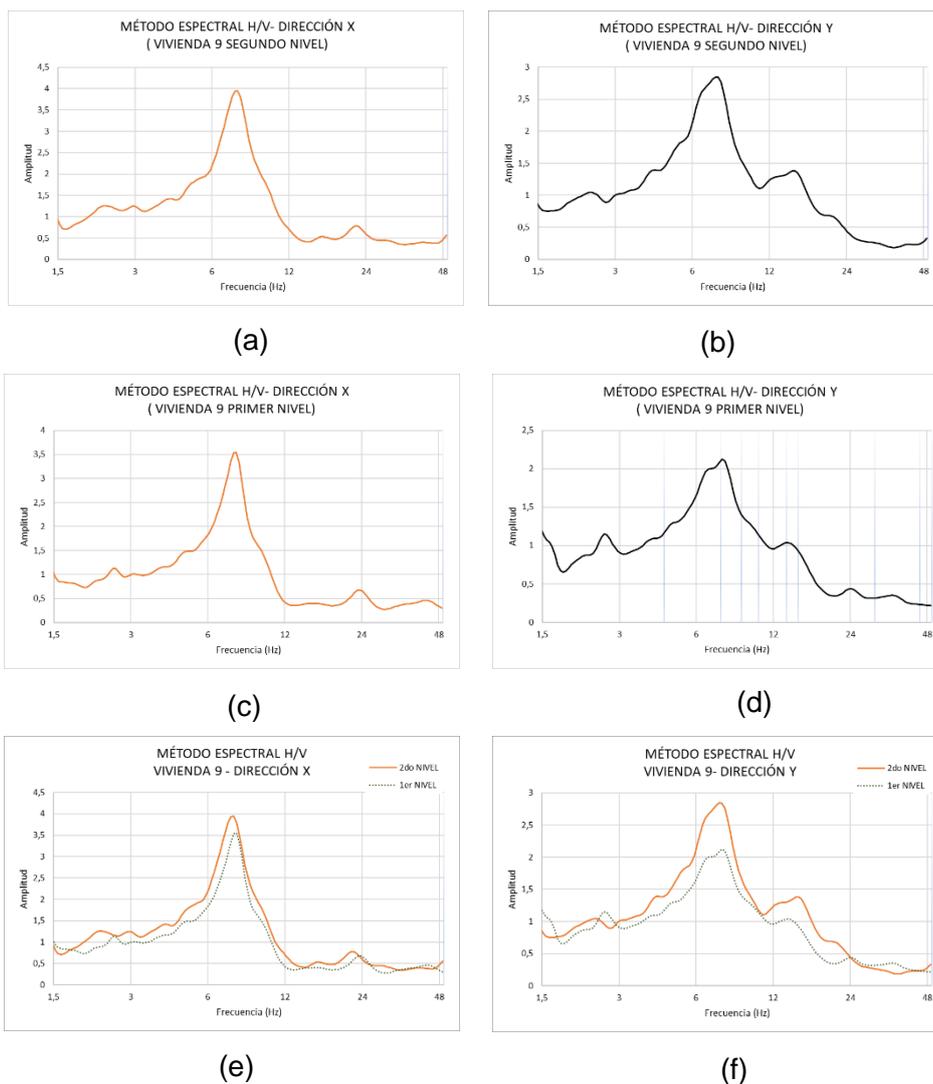


Figura N° 4.46 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 9: (a) 2do nivel eje X, (b) 2do nivel eje Y, (c) 1er nivel eje X, (d) 1er nivel eje Y, (e) Dirección X y (f) Dirección Y.

La Figura N°4.47 muestra las señales que se utilizaron en las tres direcciones (Norte-Sur, Este-Oeste y Vertical) para cada nivel de entresuelo de la vivienda 10 y de esta manera calculamos las relaciones espectrales H/V de Nakamura para cada dirección horizontal. A continuación, se muestran las arquitecturas de las plantas y las relaciones H/V en términos espectrales para cada nivel de la vivienda: Figura N°4.48 y Figura N°4.49.

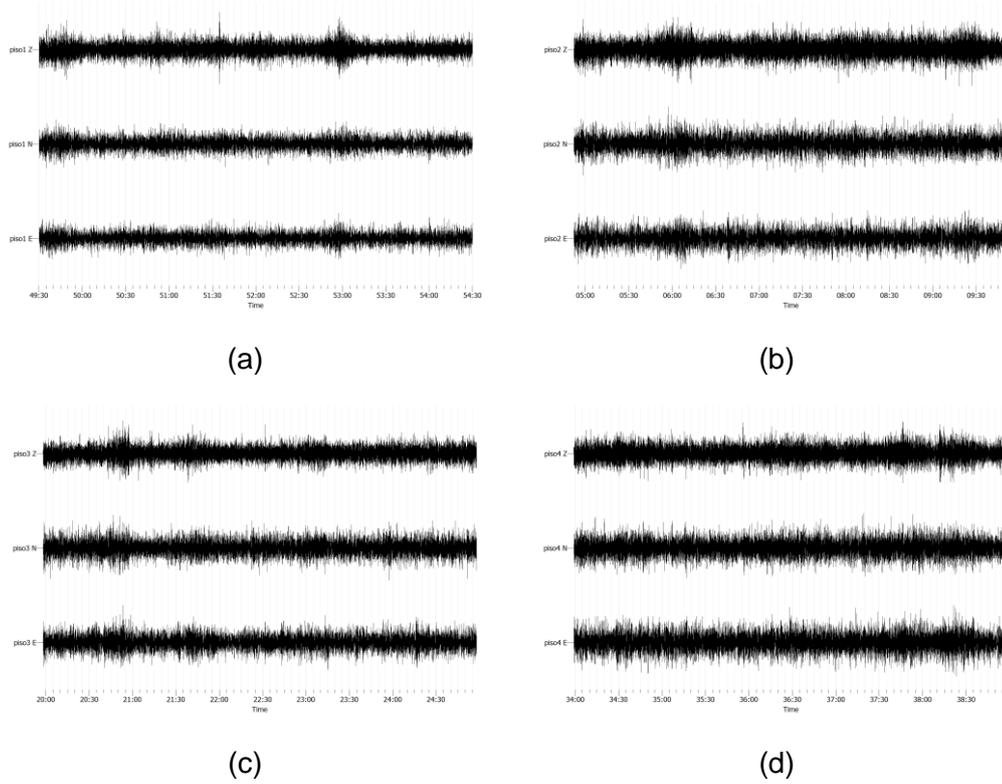


Figura N° 4.47 Registro de las señales para la vivienda N°10: (a) primer nivel, (b) segundo nivel, (c) tercer nivel y (d) cuarto nivel.

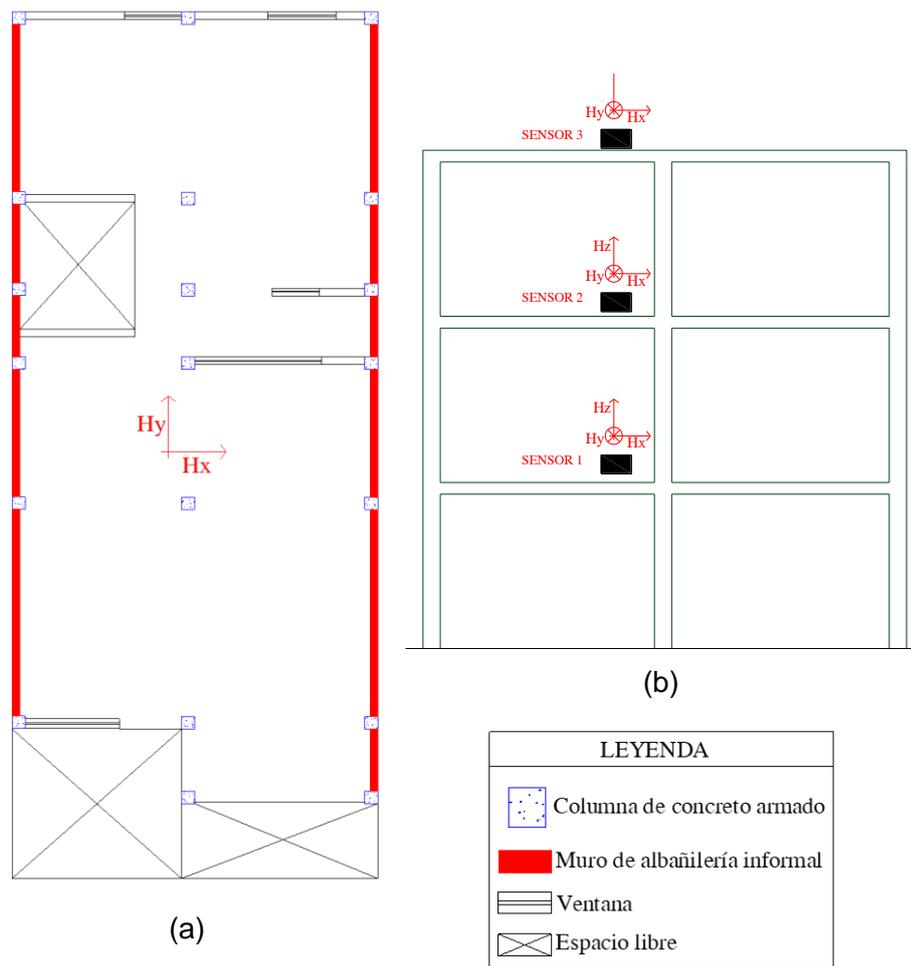
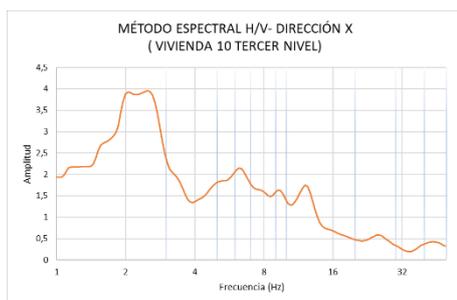


Figura N° 4.48 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 10:

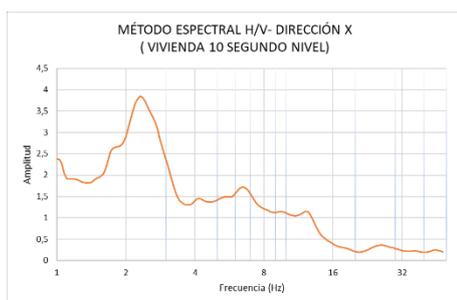
(a) Plano en planta, (b) Elevación



(a)



(b)



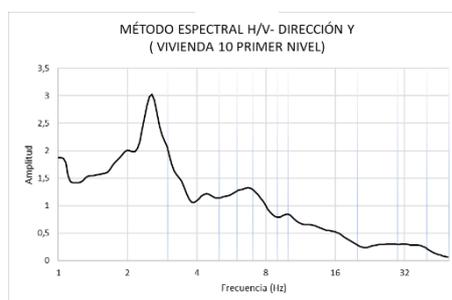
(c)



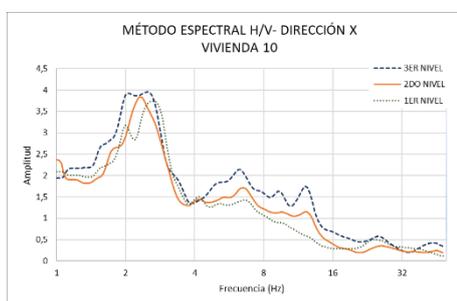
(d)



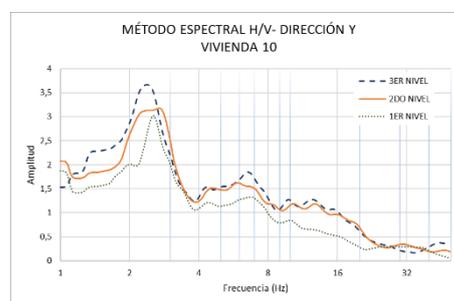
(e)



(f)



(g)



(h)

Figura N° 4.49 Relación espectral H/V Nakamura para la vivienda N° 10: (a) 3er nivel eje X, (b) 3er nivel eje Y, (c) 2do nivel eje X, (d) 2do nivel eje Y, (e) 1er nivel eje X, (f) 1er nivel eje Y, (g) Dirección X y (h) Dirección Y.

La Tabla N° 4.7 y la Tabla N° 4.8 muestran los valores de las amplitudes obtenidos en los registros de microtemores en la dirección X e Y para cada nivel de la vivienda analizada. Mientras, la Tabla N° 4.9 y la Tabla N° 4.10 muestran los valores de frecuencias obtenidos para cada nivel de la estructura y el periodo fundamental promedio en segundos.

Tabla N° 4.7 Valores de amplitudes para cada piso obtenido por el Método de Nakamura-
Dirección X

ID	Amplitud (A)- Dirección X			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
3ER NIVEL	-	-	-	3.959
2DO NIVEL	3.831	-	3.942	3.843
1ER NIVEL	1.751	2.295	3.549	3.740

Tabla N° 4.8 Valores de amplitudes para cada piso obtenido por el Método de Nakamura-
Dirección Y

ID	Amplitud (A)- Dirección Y			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
3ER NIVEL	-	-	-	3.668
2DO NIVEL	1.391	-	2.846	3.184
1ER NIVEL	1.349	1.904	2.126	3.024

Tabla N° 4.9 Valores de frecuencias y periodo fundamental para cada nivel- Dirección X

ID	Frecuencia fundamental(F)-Dirección X			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
3ER NIVEL	-	-	-	2.493
2DO NIVEL	8.81	-	7.575	2.373
1ER NIVEL	7.6	7.575	7.764	2.620
T (s)	0.132	0.132	0.129	0.421

Tabla N° 4.10 Valores de frecuencias y periodo fundamental para cada nivel- Dirección Y

ID	Frecuencia fundamental(F)- Dirección Y			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
3ER NIVEL	-	-	-	2.373
2DO NIVEL	6.78	-	7.390	2.685
1ER NIVEL	6.6	7.958	7.575	2.556
T (s)	0.152	0.126	0.132	0.372

Según Nakamura (2008) el desplazamiento y distorsión de entrepiso presentado en la ecuación 2.24 está asociado a la amplitud y frecuencia fundamental de la estructura. Para determinar el coeficiente de vulnerabilidad se presenta la Tabla N° 4.11 y Tabla N° 4.12 con los valores de variación de amplitudes para las direcciones X e Y.

Tabla N° 4.11 Valores de variación de amplitudes – Dirección X

ID	variación de amplitudes (ΔA)			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
ΔA_{3-2X}	-	-	-	0.115
ΔA_{2-1X}	2.080	-	0.392	0.103
$A_{\text{techo X}}$	3.831	2.295	3.942	3.959

Tabla N° 4.12 Valores de variación de amplitudes – Dirección Y

ID	variación de amplitudes (ΔA)			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
ΔA_{3-2y}	-	-	-	0.485
ΔA_{2-1y}	0.042	-	0.721	0.159
$A_{\text{techo y}}$	1.391	1.904	2.846	3.668

A partir de la variación de amplitudes se obtiene el índice de vulnerabilidad de Nakamura para las direcciones predominantes. Estos valores se pueden apreciar en la Tabla N° 4.13 y Tabla N° 4.14 respectivamente.

Tabla N° 4.13 Índices de vulnerabilidad de Nakamura – Dirección X

ID	Coeficientes de vulnerabilidad de Nakamura			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
K_{b3x}	-	-	-	2.161
K_{b2x}	3.802	-	0.687	1.929
$_{av}K_{bx}$	7.003	4.222	6.901	24.728

Tabla N° 4.14 Índices de vulnerabilidad de Nakamura- Dirección Y

ID	Coeficientes de vulnerabilidad de Nakamura			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
K_{b3y}	-	-	-	7.096
K_{b2y}	0.101	-	1.326	2.330
$_{av}K_{by}$	3.369	3.173	5.236	17.901

Con los valores del índice de vulnerabilidad se simplifica el cálculo de las distorsiones de entrepiso, siendo igual al producto del índice de vulnerabilidad y la aceleración efectiva que transfiere a la estructura. Por lo que la distorsión de la estructura depende de la aceleración del terreno.

En este caso se utilizaron 3 demandas sísmicas (servicio, diseño y catastrófico). Los valores de las aceleraciones se obtuvieron en base a la aceleración espectral definida por la norma de Diseño Sismorresistente E.030 (2018) para edificaciones de sistema estructural de albañilería y pórticos de concreto armado. Los parámetros sísmicos utilizados se muestran en la Tabla N° 4.1 y los espectros de diseño en la Figura N° 4.24 y Figura N° 4.25.

Se han determinado los parámetros sísmicos para las cuatro viviendas analizadas según la norma E.030 (2018). El factor de amplificación sísmica (C) se obtuvo con los datos de periodos de suelo obtenidos con las mediciones de microtremores, como se aprecia en la Figura N° 4.50 y en todos los casos el valor de C es 2.5.

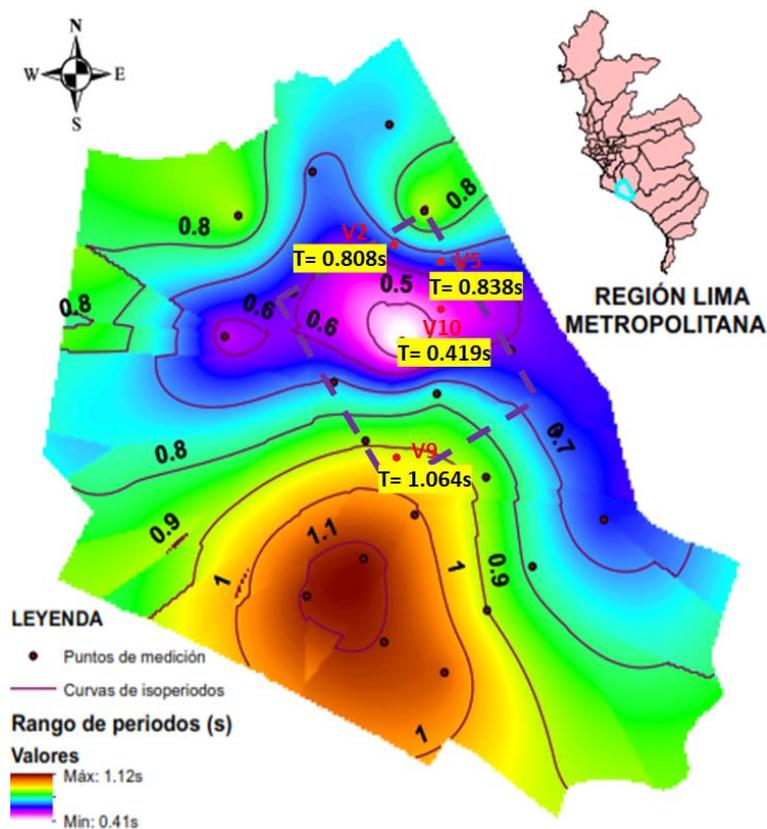


Figura N° 4.50 Periodos del suelo de las 4 viviendas analizadas

Por lo que las distorsiones de entrepiso y la distorsión global para las 4 viviendas analizadas quedan establecidas en la Tabla N° 4.15, Tabla N° 4.16 y Tabla N° 4.17 para las sismos de servicio, diseño y catastrófico para la dirección X.

Tabla N° 4.15 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-

Sismo de servicio- Dirección X

ID	DISTORSIONES DE ENTREPISO- SISMO SERVICIO - DIRECCION X			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
γ_{32}	-	-	-	0,0010
γ_{21}	0,0018	-	0,0003	0,0009
$\gamma_{global\ x}$	0,0034	0,0021	0,0034	0,0120

Tabla N° 4.16 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-

Sismo diseño- Dirección X

ID	DISTORSIONES DE ENTREPISO- SISMO DISEÑO - DIRECCION X			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
γ_{32}	-	-	-	0,0026
γ_{21}	0,0024	-	0,0008	0,0023
$\gamma_{global\ x}$	0,0085	0,0051	0,0084	0,0300

Tabla N° 4.17 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-

Sismo catastrófico-Dirección X

ID	DISTORSIONES DE ENTREPISO- SISMO CATASTRÓFICO - DIRECCION X			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
γ_{32}	-	-	-	0,0039
γ_{21}	0,0069	-	0,0013	0,0035
$\gamma_{global\ x}$	0,0128	0,0077	0,0126	0,0450

Mientras, las Tabla N° 4.18, Tabla N° 4.19 y Tabla N° 4.20 muestran las distorsiones para la dirección Y para los diferentes niveles de demanda sísmica.

Tabla N° 4.18 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-

Sismo de servicio- Dirección Y

ID	DISTORSIONES DE ENTREPISO- SISMO SERVICIO - DIRECCIÓN Y			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
γ_{32}	-	-	-	0,0034
γ_{21}	0,0000	-	0,0006	0,0011
$\gamma_{global\ y}$	0,0016	0,0015	0,0025	0,0087

Tabla N° 4.19 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-

Sismo de diseño- Dirección Y

ID	DISTORSIONES DE ENTREPISO- SISMO DISEÑO - DIRECCIÓN Y			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
γ_{32}	-	-	-	0,0086
γ_{21}	0,0001	-	0,0016	0,0028
$\gamma_{global\ y}$	0,0041	0,0039	0,0064	0,0217

Tabla N° 4.20 Distorsiones de entrepiso por el método de Nakamura-

Sismo catastrófico- Dirección Y

ID	DISTORSIONES DE ENTREPISO- SISMO CATASTRÓFICO- DIRECCIÓN Y			
	VIV. N° 02	VIV. N° 05	VIV. N° 09	VIV. N° 10
γ_{32}	-	-	-	0,0129
γ_{21}	0,0002	-	0,0024	0,0042
$\gamma_{global\ y}$	0,0061	0,0058	0,0095	0,0326

Al comparar los resultados obtenidos para las distorsiones según el método de índice de vulnerabilidad de Nakamura y el Método Simplificado de Miranda en cada dirección de análisis se obtiene de dicha validación para esta investigación una efectividad promedio de 80% en la dirección X (pórticos) y 66% en la dirección Y (albañilería), estos valores son calculados y no asumidos.

4.3 Vulnerabilidad estructural

En base a la metodología propuesta por Miranda (1999) se calculan las distorsiones máximas en el techo y entresijos.

El valor esperado del daño de la estructura y la vulnerabilidad en edificaciones dado un valor de distorsión máxima de entresijo se puede cuantificar mediante la siguiente expresión:

$$E((\beta|\gamma_i)) = 1 - \exp \left[\ln 0.5 \left(\frac{\gamma_i}{\gamma_0} \right)^\varepsilon \right] \quad 4.1$$

Donde:

γ_i : Distorsión asociada al piso i.

γ_0 : Distorsión asociada al sistema estructural.

B es la pérdida bruta, γ_0 y ε son parámetros de vulnerabilidad estructural que dependen del sistema estructural y la fecha de construcción. Por definición β es la proporción entre el costo de reparación y el costo total y su valor esta entre 0 y 1.

Los sistemas estructurales considerados en el presente estudio incluyen pórticos de concreto armado y albañilería. Los daños estructurales que ocurren en la edificación dependen de la deformación relativa (ε) y distorsiones.

Tabla N° 4.21 Valores asociado al daño de la edificación (Proyecto APESEG- CISMID, 2004)

Sistema Estructural de la edificación		
Valores	Pórticos de concreto armado	Albañilería
ε	2.033	1.65
γ_0	0.0086	0.0043

Una vez calculadas las distorsiones de entrepiso mediante el método simplificado de Miranda o el método de índice vulnerabilidad de Nakamura podemos obtener el daño esperado mediante el uso de la Figura N° 4.51.

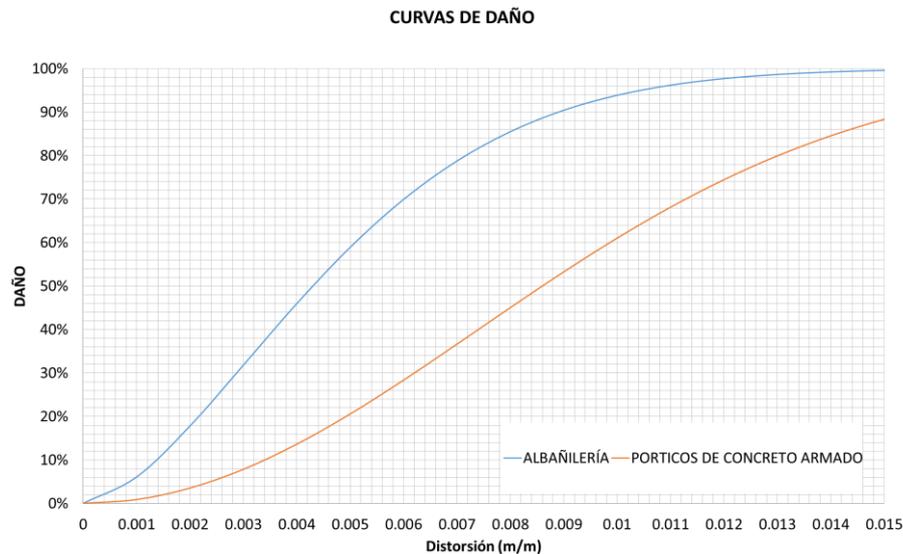


Figura N° 4.51 Curvas de daño para sistemas estructurales pórticos de concreto armado y albañilería

Para obtener el costo de reparación promedio se ha asociado el costo de cada vivienda a su respectivo daño frente al sismo de diseño, realizando el producto a manera de promedio ponderado (Ordaz, 1998).

$$E(P_{Nj}) = \sum V_i * E(\beta_{Nji} | \gamma_{ij}) \quad 4.2$$

$$\text{Costo de reparación promedio} = \frac{E(P_{Nj})}{\sum V_i} \quad 4.3$$

Donde:

β_{Nji} : Pérdida neta en la estructura.

V_i : Valor de la estructura.

P_{nj} : Pérdida neta.

E : Valor esperado.

La Tabla N° 4.22 muestra el daño global para cada vivienda analizada, en base a las distorsiones calculadas con el método simplificado de Miranda para el escenario sísmico de diseño.

Tabla N° 4.22 Daño de cada vivienda analizada en base al método simplificado de Miranda para el escenario sísmico de diseño.

VIVIENDA	N° DE PISOS	ÁREA TECHADA(m2)	DISTORSIÓN MÁXIMA	DAÑO
1	2	75.7	0.0062	51.66%
2	2	140.0	0.0052	60.99%
3	2	60.2	0.0033	36.67%
4	2	81.3	0.0059	47.46%
5	1	151.2	0.0053	62.16%
6	2	79.9	0.0064	73.32%
7	2	82.5	0.0057	50.35%
8	2	106.5	0.0057	48.51%
9	2	140	0.0074	81.40%
10	3	128.4	0.0125	98.18%

La tabla N° 4.23 muestra el daño global obtenido en cuatro de las diez viviendas analizadas mediante el método simplificado de Miranda y el método de vulnerabilidad de Nakamura para el escenario sísmico de diseño. Esto con la finalidad de compatibilizar los resultados de ambos métodos.

Tabla N° 4.23 Daño para las cuatro viviendas analizadas por los métodos de Miranda y Nakamura para el escenario sísmico de diseño (Resultados según el método simplificado de Miranda)

VIVIENDA	N° DE PISOS	ÁREA TECHADA(m2)	DISTORSIÓN MÁXIMA	DAÑO
2	2	140.0	0.0052	60.99%
5	1	151.2	0.0053	62.16%
9	2	140	0.0074	81.40%
10	3	128.4	0.0125	98.18%

La Tabla N° 4.24 muestra el daño global para cada vivienda analizada en base a las distorsiones calculadas con el método de vulnerabilidad de Nakamura para el escenario sísmico de diseño.

Tabla N° 4.24 Daño para las cuatro viviendas analizadas por los métodos de Miranda y Nakamura para el escenario sísmico de diseño (Resultados según el método simplificado de Nakamura)

VIVIENDA	N° DE PISOS	ÁREA TECHADA(m2)	DISTORSIÓN MÁXIMA	DAÑO
2	2	140.0	0.0085	49.19%
5	1	151.2	0.0051	60.39%



9	2	140	0.0084	87.55%
10	3	128.4	0.0300	100.00%

Tanto por el método simplificado de Miranda como por el método de vulnerabilidad de Nakamura, la vivienda menos vulnerable es la vivienda 2 y las más vulnerable es la vivienda 10 de acuerdo con los resultados que se exponen en las tablas anteriores

CAPÍTULO V. ANÁLISIS DEL RIESGO SÍSMICO

5.1 Pérdida máxima probable (PML)

La PML fue desarrollada para estimar las pérdidas que podría sufrir una cartera o portafolio de elementos expuestos (edificios); es decir, el promedio de pérdidas sobre un área geográfica definida. Esta medida no representa un valor matemático o estadístico para estructuras individuales específicas, dado que el desempeño esperado de cada edificación puede variar significativamente de la respuesta promedio de un amplio grupo de edificios. En general, las funciones de vulnerabilidad son una representación del comportamiento promedio de tipos constructivos (presentan una dispersión y una varianza), y de acuerdo con la ley de los grandes números, en cuanto mayor es el número de elementos expuestos el comportamiento tenderá a estar cerca de la media. La incertidumbre de los daños significa que las pérdidas causadas por un evento real pueden ser divergentes del valor previsible del modelo, pero el promedio de todos los eventos catastróficos modelados corresponde con el riesgo real, siempre y cuando se hayan reflejado correctamente en el modelo la exposición y la vulnerabilidad. El objetivo de un valor único de PML es representar una pérdida abarcando el comportamiento típico de grupos de edificios con características similares en sismos importantes y no pretende representar el comportamiento estructural detallado de un edificio (Marulanda, 2013).

La pérdida máxima probable (PML) en edificaciones es un estimador del tamaño de las pérdidas máximas que sería razonable esperar durante un periodo de exposición sísmica. Se define como la pérdida estimada que ocurriría para un periodo de retorno determinado. Las tasas de excedencia de P_N se pueden calcular de la siguiente manera (Ordaz et al, 1998; Ordaz, 1999):

$$\mu(P_N) = \sum_j \int_{M_o}^{M_u} -\frac{d\lambda_j(M)}{dM} P_r(P_{Nj} > P_N | M, fuente_i) dM \quad 5.1$$

Donde:

M: Magnitud en la fuente considerada.

$\lambda_j(M)$: Tasa de excedencia de la magnitud M en la fuente j.

La sumatoria de la ecuación 5.4 tiene en cuenta los efectos de todas las fuentes sísmicas consideradas. Una vez realizados estos cálculos se puede determinar el

PML para cada caso. Depende de los riesgos individuales y de la distribución geográfica; el PML es grande si hay concentraciones importantes en lugares de alto riesgo sísmico, y pequeño si las viviendas están uniformemente distribuidas (Olarte, 2007).

Se ha usado un modelo para evaluar el riesgo sísmico con el cual se ha establecido la curva del PML considerando los módulos de peligro sísmico, vulnerabilidad estructural, distribución y condiciones de las viviendas.

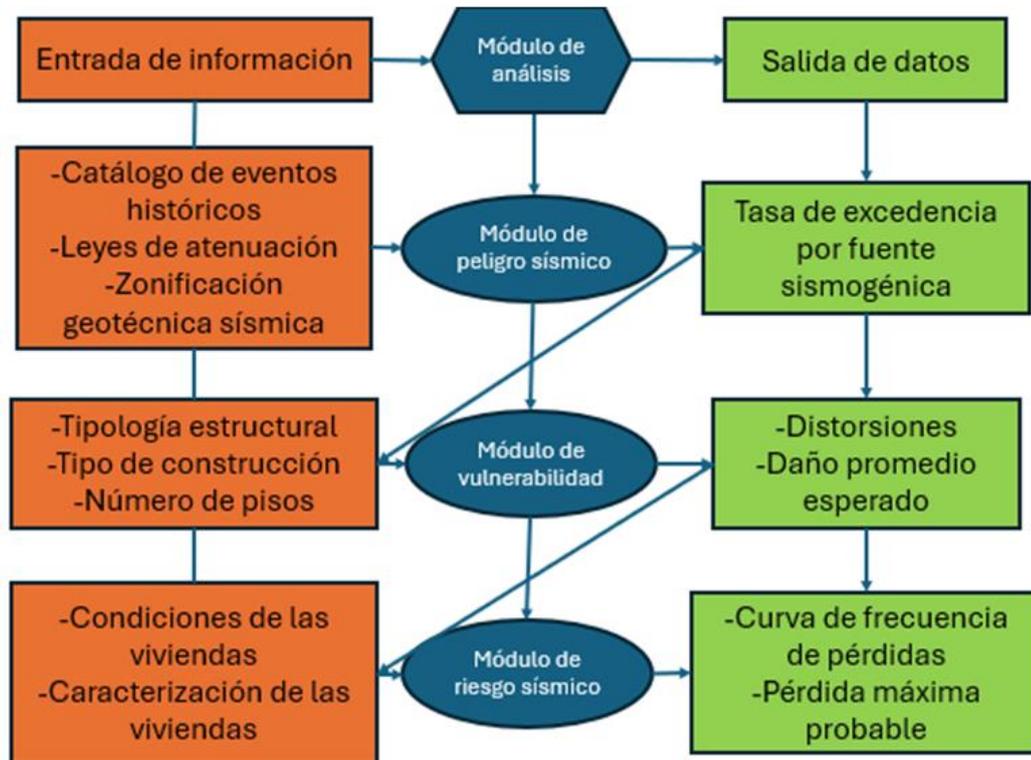


Figura Nº 5.1 Diagrama de flujo para el cálculo de la pérdida máxima probable (PML) para viviendas en áreas urbanas.

El procedimiento seguido en la estimación de la PML es obtenido con una metodología internacionalmente aceptada por la comunidad científica para estimar dichas pérdidas. Se ha obtenido una curva de PML con diferentes periodos de retorno. En general, no existe un criterio estándar para medir el PML, sin embargo, es recomendable tomar como referencia un periodo de retorno comprendido entre 500 y 2000 años.

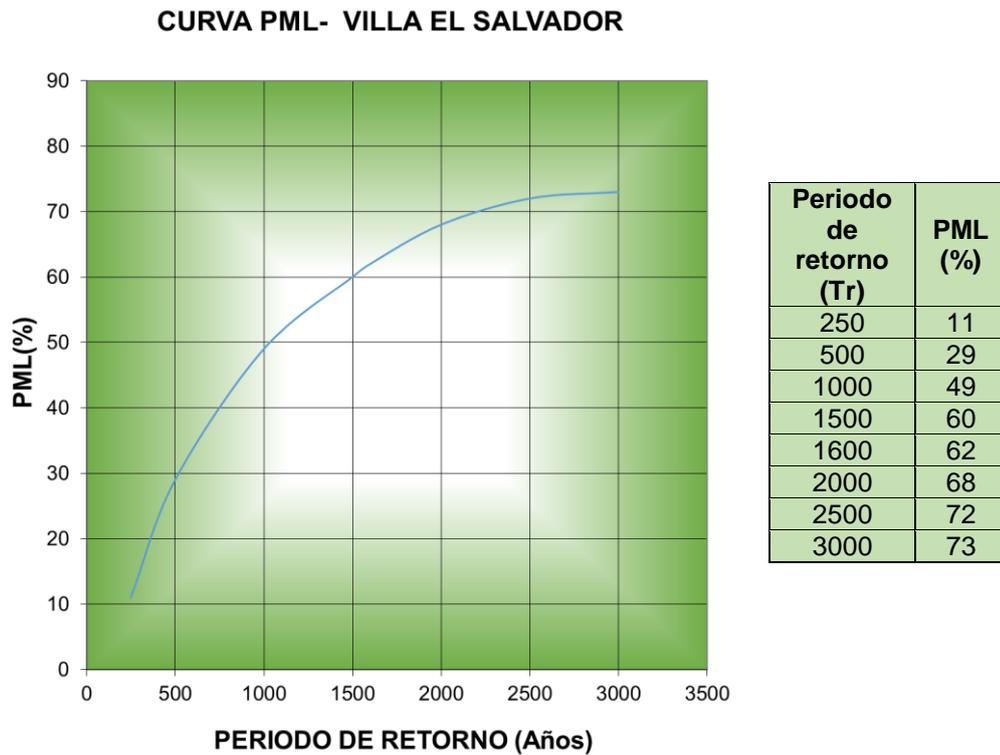


Figura N° 5.2 Curva de pérdida máxima probable (PML) para el distrito de Villa El Salvador

Fuentes de magnitud entre 8.2 – 8.7 Mw

Para los escenarios sísmicos utilizados en la presente investigación se han obtenido valores de pérdida máxima probable para fuentes sismogénicas de magnitud entre 8.2 – 8.7 Mw como se muestra en la Figura N° 5.2. Los valores de PML obtenidos han sido obtenidos considerando la ubicación de las viviendas, tipo de suelo, número de pisos, antigüedad, tipología estructural y valor de cada vivienda. El valor de PML para un periodo de retorno de 1000 años es de 49%. El análisis probabilista del riesgo permite determinar las distribuciones de probabilidad de las pérdidas que pueden sufrir las edificaciones expuestas, en lapsos dados, como consecuencia de la ocurrencia sismos como en este caso, integrando de manera racional las incertidumbres que surgen en las diferentes fases del análisis. Los modelos de riesgo usualmente han sido utilizados para estimar las consecuencias financieras de los desastres potenciales. Sin embargo, los resultados para la pérdida máxima probable (PML), mediante una interpretación adecuada, tienen implicaciones sociales y económicas importantes, para establecer medidas de gestión de riesgo apropiadas. (Marulanda, 2013).

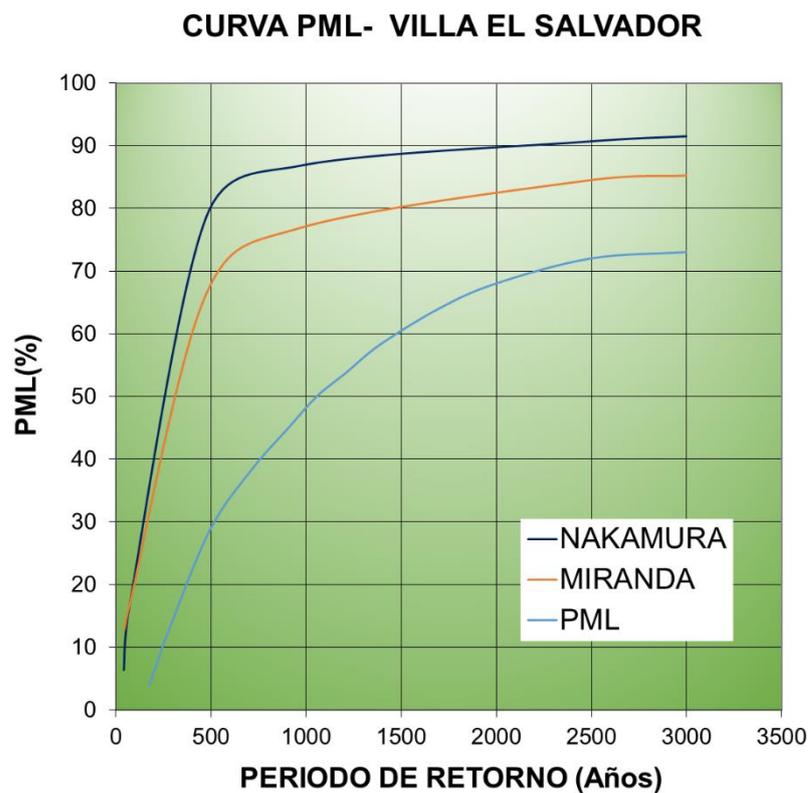


Figura N° 5.3 Curvas de pérdidas esperadas en viviendas de baja altura en el distrito de Villa El Salvador según los métodos de Nakamura y Miranda con respecto a la curva de PML

Los resultados asociados a pérdidas para las viviendas analizadas tanto para la metodología de vulnerabilidad de Nakamura como para el método simplificado de Miranda, para diferentes escenarios sísmicos, se han graficado en la Figura N° 5.3. Las pérdidas por ambos métodos se han calculado a partir de funciones de vulnerabilidad que relacionan la respuesta de las viviendas (distorsiones) con el valor esperado de daño y que dependen básicamente del sistema estructural y materiales de las edificaciones.

Para poder realizar una comparación de las gráficas mostradas se ha considerado que existe una equivalencia total y determinista entre el daño de la edificación y la pérdida, aun cuando en el cálculo de la PML se ha estimado la probabilidad de los diferentes niveles de pérdida, dada la probabilidad de los diferentes niveles de daño (Sierra, 2012)

Los resultados asociados a pérdidas para las viviendas analizadas tanto por la metodología de vulnerabilidad de Nakamura y el método simplificado de Miranda, reflejan valores elevados puesto que están fuertemente influenciados por la ubicación, tipo de suelo y por la tipología estructural de las edificaciones.

De acuerdo con la metodología de vulnerabilidad de Nakamura, los resultados reflejan el comportamiento propio y real de cada vivienda con mediciones directas sobre las mismas. El porcentaje de pérdida obtenido para el sismo de diseño mediante este método es en promedio 78% del costo total de las viviendas.

De acuerdo con el método simplificado de Miranda cuyos parámetros se calculan en base al análisis estructural en cada edificación obteniéndose distorsiones que se ven afectados por factores de corrección definidos, se realizaron los modelos en base a los planos existentes, sin embargo, las construcciones no se han realizado con dirección técnica ni control de calidad en los materiales utilizados. El porcentaje de pérdida obtenido para el sismo de diseño mediante este método es en promedio 67% del costo total de las viviendas.

El porcentaje de pérdida máxima probable (PML) obtenido para el sismo de diseño mediante este método es en promedio 30%. La pérdida máxima probable (PML), nos proporciona una estimación de pérdidas por sismo que usa un tratamiento probabilista de las variables que controlan el fenómeno. En este caso la curva ha sido elaborada en base a las diez viviendas analizadas y refleja valores de pérdidas probables que también se han visto influenciados por la ubicación, tipo de suelo y por la tipología estructural de las edificaciones.

CONCLUSIONES

1. Se ha evaluado la vulnerabilidad de edificaciones de baja altura con una aplicación en Villa El Salvador, mediante el uso de métodos espectrales a través de mediciones con microtremores de acuerdo con la metodología del índice de vulnerabilidad de Nakamura y se han obtenido valores de distorsiones validados con la aplicación del método simplificado de Miranda cuyos parámetros se calculan en base al análisis estructural en cada vivienda. Al comparar los resultados obtenidos por ambos métodos para las distorsiones en cada dirección de análisis, se obtiene de dicha validación una efectividad promedio en el método de Nakamura de 80% en la dirección X (pórticos) y 66% en la dirección Y (albañilería).
2. A partir de mediciones con microtremores realizadas en la presente investigación en diferentes puntos del área de estudio, se obtuvieron periodos en el suelo en el rango de 0.23s a 1.15s. Esto debido a la variabilidad en el tipo de suelo en el distrito de Villa El Salvador.
3. A partir de las mediciones de vibración ambiental se obtuvieron los periodos predominantes en las viviendas analizadas, por el método de Nakamura, en un rango de 0.10s a 0.37s en la dirección X (pórticos de concreto armado) y de 0.09s a 0.42s en la dirección Y (albañilería).
4. La zona en estudio presenta diferentes tipologías, siendo la predominante el sistema estructural de albañilería confinada informal, con concreto de baja resistencia en los elementos estructurales, en edificaciones de niveles en el rango de uno a cuatro pisos.
5. Se ha analizado la vulnerabilidad sísmica de diez viviendas para el escenario sísmico asociado al periodo de retorno de 475 años (sismo de diseño) mediante el método simplificado de Miranda, obteniendo buena convergencia en los cuatro factores de corrección β_1 , β_2 , β_3 y β_4 para el sistema estructural de albañilería confinada. Obteniendo distorsiones máximas de entrepiso de 0.0164 para la dirección X (Pórticos) y 0.0084 para la dirección Y (Albañilería). En la dirección X los valores obtenidos son altos y la mayoría superan el límite establecido por la norma E.030 (2018) y en la dirección Y la mayoría de los valores de distorsión superan al límite establecido en la norma E.030 (2018).
6. Se ha analizado la vulnerabilidad sísmica de cuatro de las diez viviendas mencionadas para tres escenarios sísmicos (servicio, diseño y

catastrófico) mediante el método de vulnerabilidad de Nakamura, relacionando amplitud y frecuencia fundamental obtenidos del estudio de vibración ambiental de las estructuras utilizando microtemores, obteniendo para la vivienda 10 distorsiones máximas globales en la dirección X de 0.0034(sismo de servicio), 0.0085 (sismo diseño) y 0.045 (sismo catastrófico). Mientras, en la dirección Y de 0.0087 (sismo de servicio), 0.0217 (sismo diseño) y 0.0326 (sismo catastrófico). Siendo esta la vivienda más vulnerable de las cuatro viviendas analizadas.

7. El porcentaje de pérdida asociado a las viviendas analizadas para el sismo de diseño mediante el método simplificado de Miranda es en promedio 67% del costo total de las viviendas. Mediante el método de vulnerabilidad de Nakamura es en promedio 78% del costo total de las viviendas.
8. Las viviendas de albañilería confinada analizadas tienen una vulnerabilidad alta debido a factores principales como: la falta de dirección técnica, deterioro, irregularidades, tipo de material utilizado y al tipo de suelo. Ante los escenarios sísmicos de diseño y catastrófico las viviendas en la zona de estudio presentarían un daño significativo en los elementos estructurales imposibilitando su reparación, siendo necesaria su demolición en caso no hayan colapsado.
9. Se ha obtenido la Pérdida Máxima Probable para Villa El Salvador, tomando como base las diez viviendas analizadas considerando características como: ubicación georreferenciada, tipología estructural, número de pisos, antigüedad y tipo de suelo. El valor de PML para un periodo de retorno de 1000 años es de 49%.
10. Se ha realizado una comparación gráfica de PML con curvas de pérdidas promedio para ambas metodologías: Método de índice de vulnerabilidad de Nakamura y Método simplificado de Miranda. Las pérdidas asociadas a los resultados de ambos métodos presentan una tendencia similar.

RECOMENDACIONES

1. Se puede considerar como criterio válido para la corrección de la distorsión máxima final, la aplicación de factores de castigo para el caso de irregularidades, deterioro, tipo de suelos y otros; ya que estos son directamente proporcionales al daño de la estructura. Se muestran factores de corrección en las tablas 2.7y 2.8, en la primera de acuerdo con FEMA-154 (2002) y en la segunda de acuerdo con juicio de expertos (Proyecto APESEG-CISMID, 2004). Estas correcciones se aplicarían en caso las estructuras modeladas se hubieran considerado como regulares.
2. Es recomendable tomar medidas de organización y procedimiento para la reducción de riesgo sísmico a pesar de las limitaciones que podrían surgir por poca disponibilidad de recursos, tomando medidas adecuadas de prevención exigiendo la adecuación de las construcciones existentes a los códigos vigentes. El proceso de planificación y cambio de las actuales características puede tardar varios años e incluso décadas, por ello las políticas de gestión de riesgo deberían seguir vigentes a pesar de los cambios de administración pública.
3. Si bien las evaluaciones sísmicas tradicionales contemplan un estudio riguroso de las estructuras, los métodos presentados permiten evaluaciones sísmicas simplificadas y válidas que permiten tomar decisiones oportunas, en particular el método de vulnerabilidad de Nakamura ya que se basa en mediciones físicas en la estructura para determinar su daño, por lo cual es recomendable su aplicación en zonas donde no se hayan realizado estudios previos de vulnerabilidad.



Líneas de investigación futura

1. Realizar la aplicación del método de vulnerabilidad de Nakamura para edificaciones de baja altura en otras zonas, ya que es un método simplificado que permite obtener mediciones características de periodos de suelo y estructura para cada edificación.
2. Realizar la aplicación del método de vulnerabilidad de Nakamura y el método simplificado de Miranda para edificaciones de niveles superiores que no fueron contemplados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Aguiar, R., & González, A. (2006). *Evaluación Rápida de la Deriva Máxima de Piso en Edificios sin Muros de Corte*. Caracas, Venezuela: Facultad de Ingeniería, Universidad Central de Venezuela.
2. Applied Technology Council (ATC-40). (1996). *Seismic Evaluation and Retrofit of Concrete Buildings*. California, EE.UU.: SEISMIC SAFETY COMMISSION.
3. Applied Technology Council. (1987). *Evaluating The Seismic Resistance of Existing Buildings*. California, EE.UU.: H. J. Degenkolb Associates.
4. Asociación Peruana de Empresa de Seguros (APESEG). (2004). *Estudio de Vulnerabilidad y Riesgo Sísmico en 42 distritos de Lima y Callao*. Lima, Perú: CISMID.
5. Calvi, G. (2006). *Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies Over The Past 30 Years*. Roorkee, India: ISET Journal of Earthquake Technology.
6. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). (2012). *Evaluación del Riesgo Sísmico en el Distrito de Breña*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería.
7. Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID). (2011). *Microzonificación Sísmica del Distrito de Villa El Salvador*. Lima - Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
8. Chavarría, D. (2001). *Estudio Piloto de Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de 1 y 2 Pisos del Barrio Cuarto de Legua en el Cono de Cañaveralejo (Cali, Colombia)*. Cali, Colombia: Universidad del Valle.
9. Diaz, D. (2019). *Estimación de Daño Sísmico en Viviendas de Albañilería Confinada Mediante Curvas de Fragilidad para Viviendas de 01 y 02 Pisos*. Lima, Perú: Universidad Peruana Unión (Tesis de Maestría).
10. Espindola, V., & Pérez, X. (2018). *Sismología*. Ciudad de México, México: Servicio Sismológico Nacional.

11. Federal Emergency Management Agency (FEMA). (1998). *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*. California, EE.UU.: American National Standards Institute (ANSI).
12. Fundación Suiza de Cooperación. (2016). *Situación Actual de las Viviendas de Construcción de tipo Informal en Villa El Salvador*. Lima, Perú: CONSTRUYA.
13. Giner, J., & Molina, S. (2001). *Sismicidad y Riesgo Sísmico en la C.A.V.* Alicante, España: Editorial Club Universitario.
14. Instituto Nacional de Defensa Civil. (2017). *Escenario Sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8 Mw*. Lima, Perú: Subdirección de Sistematización de Información.
15. Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI). (2014). *Peligro de Deslizamiento del Cerro Lomo de Corvina Distrito de Villa El Salvador - Lima*. Lima - Perú: Centro de Operaciones de Emergencia Nacional.
16. Karic, A., Atalić, J., & Kolbitsch, A. (2022). *Seismic vulnerability of historic brick masonry buildings in Vienna*. Vienna, Austria: Bulletin of Earthquake Engineering.
17. Key, D. (1988). *Earthquake Design Practice for Buildings*. London, United Kingdom: Thomas Telford.
18. Mander, J., & Priestley, J. (1988). *THEORETICAL STRESS-STRAIN MODEL FOR CONFINED CONCRETE*. New York, EE.UU.: Journal of Structural Engineering Vol. 114.
19. Marín, F. (2012). *Evaluación de Riesgo Sísmico del Centro Histórico de la Ciudad de Huánuco*. Lima, Perú: Universidad Nacional de Ingeniería, Tesis de Maestría en Estructuras.
20. Martínez, S. (2014). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica Urbana Basada en Tipologías Constructivas y Disposición urbana de la Edificación. Aplicación en la Ciudad de Lorca, Región de Murcia*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid, Tesis de Maestría en Estructuras.
21. Marulanda, M. (2013). *Modelación probabilista de pérdidas económicas por sismo para la estimación de la vulnerabilidad fiscal del estado y la*

- gestión financiera del riesgo soberano*. Barcelona, España: Universitat Politècnica de Catalunya.
22. Minster, J., & T., J. (1978). *Present-day Plate Motions* . Washington, EE.UU.: Geophys.
23. Miranda, E. (1996). *Assessment of the Seismic Vulnerability of Existing Buildings* . Acapulco, México: Eleventh World Conference on Earthquake Engineering.
24. Miranda, E. (1999). *Approximate Seismic Lateral Deformation Demands in Multistory Buildings*. Stanford, EE.UU.: Journal of Structural engineering.
25. Miranda, E. (2005). *Simplified Analysis Tools for Rapid Seismic Evaluation of Existing Buildings in Urban Areas*. Stanford, EE.UU.: Stanford University.
26. Municipalidad Distrital de Villa El Salvador. (2011). *Estudio de Microzonificación Sísmica y vulnerabilidad en el Distrito de Villa El Salvador*. Lima - Perú: Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento.
27. Nakamura, Y. (1989). *Dynamic Characteristics Estimation of subsurface Using Microtremor on the Ground Surface*. Tokio, Japan: Railway Technical Research Institute.
28. Nakamura, Y. (1997). *SEISMIC VULNERABILITY INDICES FOR GROUND AND STRUCTURES USING MICROTREMOR*. Florencia: World Congress on Railway Research.
29. Nakamura, Y. (2008). *On the H/V Spectrum*. Beijing, China: The 14th World Conference on Earthquake Engineering.
30. Niño, H. J. (2010). *Tecnología del Concreto*. Bogotá, Colombia: Asocreto.
31. NTE E.030-Diseño Sismorresistente. (24 de Enero de 2018). Lima, Perú: El Peruano.
32. Olarte, J., & Gallardo, J. (2007). *Modelo de Estimación del Riesgo Sísmico para un Portafolio Asegurado*. Arequipa- Perú: Congreso Nacional de Ingeniería Civil.
33. Olarte, J., Aguilar, Z., Zavala, C., Martinez, A., & Gallardo, J. (2008). *Estimate of the Probable Maximun loss PML in Lima and Callao*:

- Application to the Peruvian insurance Industry*. Beijing-China: The 14th World Conference on Earthquake Engineering. October 12-17.
34. Olarte, J., Romani, S., & Samaniego, L. (2012). *Analysis of Sensitivity of the Principal Factors in the Estimate of the Probable Maximum Loss PML*. Lisboa-Portugal: The 15th World Conference on Earthquake Engineering.
35. Oynakov, E., & Radan, I. (2023). *Evaluation of the Nakamura Vulnerability Index of a Cast-In-Situ Reinforced Concrete Building from Ambient Noise Records*. Sofia, Bulgaria: Bulgarian Academy of Sciences.
36. Petersen, M., & Harmsen, S. (2017). *Sensitivity Study of Seismic Hazard and Risk for the Continent of South America*. Santiago, Chile: 16th World Conference on Earthquake Engineering, 16WCEE 2017.
37. Proaño, R., & Zavala, C. (2003). *Estimación de la Respuesta Sísmica de Estructuras en Base a Sistemas de 1 Grado Libertad para el Cálculo de la Vulnerabilidad Sísmica*. Iquitos, Perú: XIV Congreso de Ingeniería Civil Iquitos.
38. Pulido, N., Aguilar, Z., & Tavera, H. (2015). *Scenario Source Models and Strong Motion for future Mega earthquakes: Application to Lima, Central Perú*. California, Estados Unidos: Bulletin of the Seismological Society of America.
39. Quiroz, E. (2017). *Vulnerabilidad sísmica de una edificación escolar típica módulo 780 Pre NDSR-1997 mediante modelos no lineales*. Lima, Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú, Tesis de Maestría en estructuras.
40. R., P., & Paulay, T. (1978). *Estructuras de Concreto Reforzado*. Christchurch, New Zealand: Limusa.
41. Rosa, M., Follador, V., & Sbrogiò, L. (2023). *Vulnus Web: A Web-Based Procedure for the Seismic Vulnerability Assessment of Masonry Buildings*. Basel, Switzerland: 208 MDPI Journals Awarded Impact Factor.
42. Ruiz, J. (2009). *Evaluación de la Fragilidad Basada en Distorsión Lateral para Muros de Mampostería Confinada*. Ciudad de México, México: Revista de Ingeniería Sísmica, Número 80.

43. Sato, T., & Nakamura, Y. (2008). *The change of the dynamic characteristics using microtremor*. Beijing, China: The 14th World Conference on Earthquake Engineering .
44. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO). (2009). *Reglamento Nacional de Edificaciones NTE E.060 (Concreto Armado)*. Lima.
45. Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción-SENCICO. (2018). *Reglamento Nacional de Edificaciones -Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente*. Lima , Perú.
46. Sierra, C., & Jaramillo, J. (2011). *IE - RISS: Una herramienta computacional para la estimación de pérdidas por sismo en edificaciones*. Medellín, Colombia: UNIVERSIDAD EAFIT.
47. Socarrás, Y. (2021). *Limitaciones de los estudios de vulnerabilidad sísmica a edificaciones de hormigón en Santiago de Cuba*. Santiago de Cuba, Cuba: Empresa de Proyectos de Arquitectura e Ingeniería de Matanzas.
48. Structural Engineers Association of California (SEAOC). (1995). *Visión 2000 Report on performance based seismic engineering of buildings*. California, EE.UU.: Structural Engineers Association of California- VISION 2000.
49. Tavera, H., & Buforn, E. (1998). *Sismicidad y Sismotectónica de Perú*. Madrid, España: Universidad Complutense de Madrid.
50. Tejada, A. (2011). *Análisis dinámico de estructuras en el dominio de las frecuencias*. Madrid, España: Universidad Politécnica de Madrid.
51. The Federal Emergency Management Agency (FEMA). (2000). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*. Washington, EE.UU.: National Earthquake Hazards Reduction Program.
52. Tokimatsu, K. (1997). *Geotechnical site characterization using surface waves*. Tokio, Japan: Tokyo Institute of Technology.
53. Tongwei, Q., & Feng, X. (2021). *微动H/V谱比方法 · A review on microtremor H/V spectral ratio method*. Beijing, China: Research Gate.



54. United States Department of the Navy. (1982). *NAVFAC Design Manual, Foundations and Earth Structures*. Washington, EE.UU.: The Superintendent of Documents.
55. Yepes, C., & Silva, V. (2017). *Probabilistic Seismic Risk Assessment of the Residential Building Stock in South America*. Santiago, Chile: 16th World Conference on Earthquake, 16WCEE 2017.
56. Zavala, C., Diaz, M., Flores, E., & Cardenas, L. (2019). *Damage Limite States for Confined Masonry Walls Based on Experimental Test*. Lima, Perú: JournalTECNIA Vol.29 N°2 July-December2019.



ANEXO A. MATRIZ DE CONSISTENCIA

Tabla N° A.1 Matriz de consistencia

PROBLEMA	OBJETIVOS	HIPÓTESIS	VARIABLES INDICADORES	METODOLOGÍA
Problema General	Objetivo General	Hipótesis General		
¿Las estructuras de baja altura en el rango de uno a cinco niveles, son capaces de soportar eventos sísmicos de gran magnitud?	Evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en edificaciones de baja altura en áreas urbanas usando métodos espectrales en edificaciones de albañilería y de concreto armado.	Mediante el uso de métodos espectrales que se basan en modelos estructurales equivalentes a sistemas de un grado de libertad, se puede evaluar la vulnerabilidad y, por tanto, el riesgo sísmico de edificaciones de baja altura determinándose modelos equivalentes a partir de mediciones de microtremor y realizando análisis de las estructuras para la aplicación de un método simplificado.	<p>Variables Independientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad de las edificaciones de albañilería. • Nivel de sismo a la que estarán sometidas las edificaciones. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar una recopilación de información sobre investigaciones relacionadas a vulnerabilidad sísmica en las edificaciones, riesgo sísmico, peligrosidad sísmica. • Recopilación de información de las características de las viviendas de baja altura representativas del distrito. • Realizar mediciones de micro temores para conocer las propiedades dinámicas del suelo y de las estructuras consideradas como representativas en el distrito de Villa El Salvador. • Desarrollo del sistema de información geográfica en el distrito del Villa El Salvador para obtener mapa de isoperiodos del sector analizado.
Problemas Específicos	Objetivos Específicos	Hipótesis Específicas		
<p>¿Cómo obtener la respuesta de desplazamientos elásticos e inelásticos de estructuras de baja altura sometidas a sismos?</p> <p>¿Es posible conocer la vulnerabilidad de las edificaciones mediante la utilización de métodos espectrales basados en modelos estructurales equivalentes a sistemas de un grado de libertad?</p> <p>¿Mediante el método simplificado de Miranda y el método de Nakamura es posible conocer el riesgo y la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de baja altura?</p> <p>¿Las respuestas de las estructuras utilizando método simplificado de Miranda y método de Nakamura son similares a modelos estructurales que contengan varios grados de libertad?</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Evaluar la vulnerabilidad estructural de las edificaciones de baja altura, de uno a cinco pisos, usando métodos espectrales, para el caso particular de viviendas típicas del distrito de Villa El Salvador. • Evaluar el riesgo sísmico en base al peligro sísmico y a la vulnerabilidad estructural, para el caso particular de edificaciones de baja altura en el distrito de Villa El Salvador. • Estimar las pérdidas producto de los daños esperados para los diferentes escenarios sísmicos analizados para una muestra de edificaciones de baja altura. 	<ul style="list-style-type: none"> • Es posible evaluar la vulnerabilidad estructural de edificaciones de baja altura mediante métodos espectrales que se basan en modelos estructurales equivalentes a sistemas de un grado de libertad. • Es posible evaluar las respuestas del riesgo sísmico de edificaciones de baja altura mediante la utilización de métodos simplificados con sistemas de un grado de libertad y son similares a partir de mediciones con microtemores o realizando el análisis de estructuras para calcular parámetros de corrección. 	<p>Variables dependientes</p> <ul style="list-style-type: none"> • Capacidad residual de las edificaciones de albañilería. • Desplazamiento residual de las estructuras bajo el sismo • Distorsiones de las estructuras bajo el sismo. • Nivel de daño de las edificaciones frente al sismo <p>Indicadores</p> <ul style="list-style-type: none"> • Desplazamiento máximo frente al sismo. • Fuerza cortante actuante en la base de las estructuras. • Degradación de las propiedades dinámicas de las estructuras. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desarrollar modelos estructurales de las viviendas consideradas como representativas en el rango de uno a cinco niveles. • Aplicar el método simplificado de Miranda y el método de Índice de vulnerabilidad de Nakamura para el cálculo de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico. • Análisis de resultados de vulnerabilidad obtenidos con el método simplificado de Miranda y el método de Índice de vulnerabilidad de Nakamura. • Comparar los resultados obtenidos por el método simplificado de Miranda y el Método de índice de vulnerabilidad de Nakamura. • Análisis de resultados del riesgo sísmico obtenido de las simulaciones realizadas.

ANEXO B. DETALLE DE LAS PLANTAS Y SECCIONES

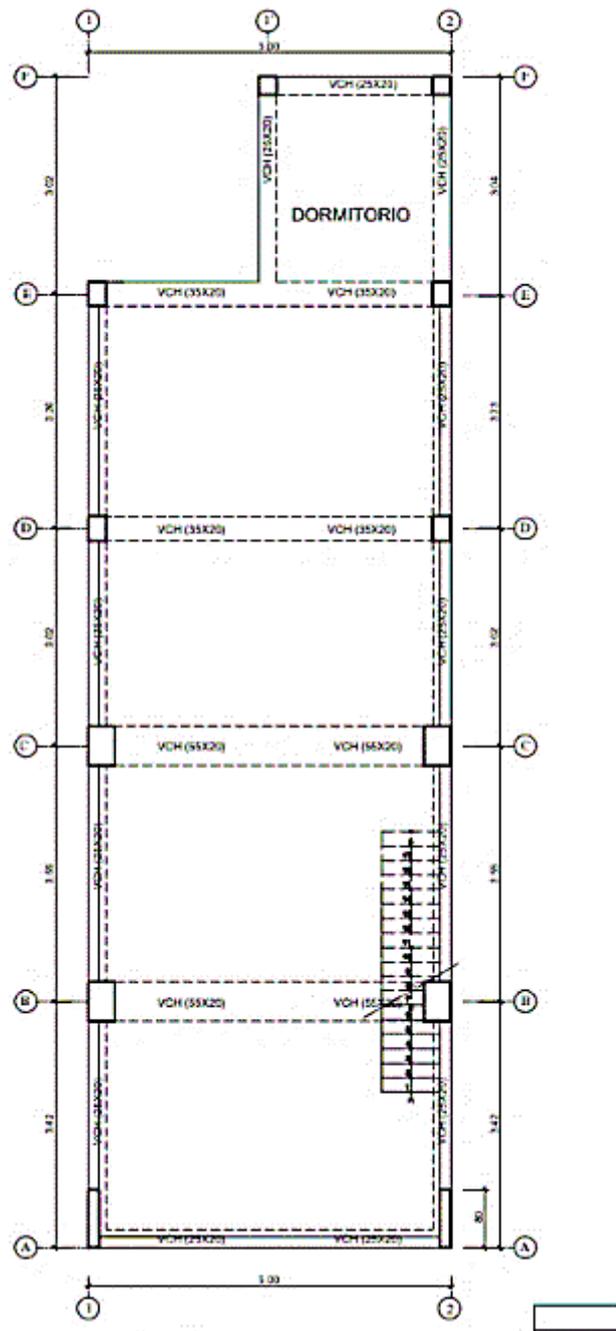


Figura N° B.1 Detalle de losa aligerada del primer nivel- vivienda N° 04

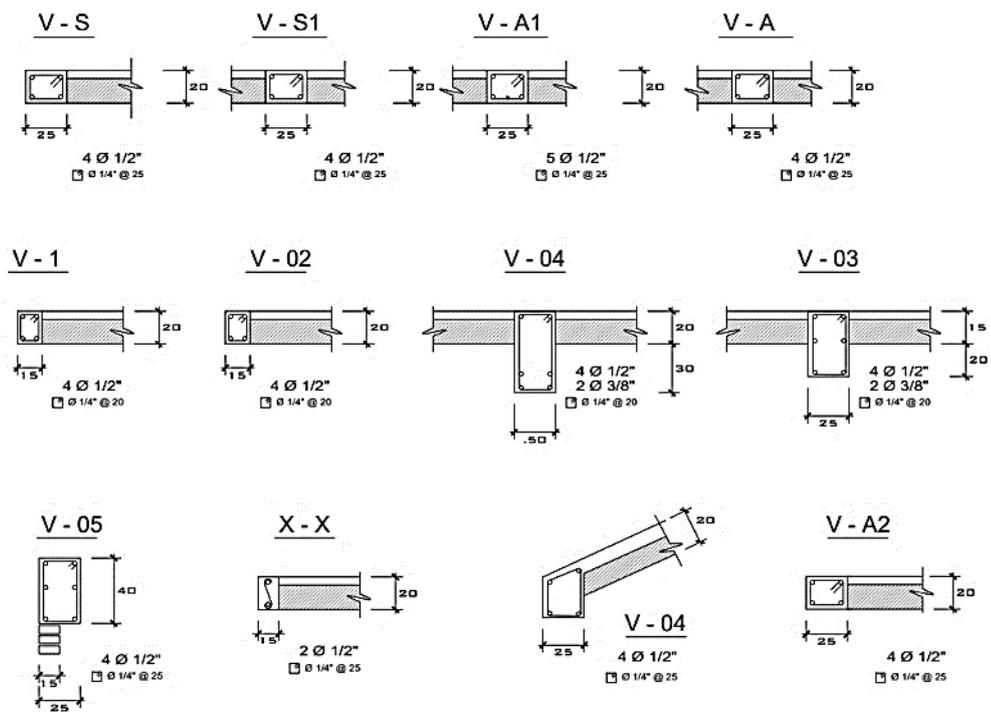


Figura N° B.3 Detalle de las secciones de las vigas de la vivienda N° 09

ANEXO C. PLANOS DEL DISTRITO DE VILLA EL SALVADOR

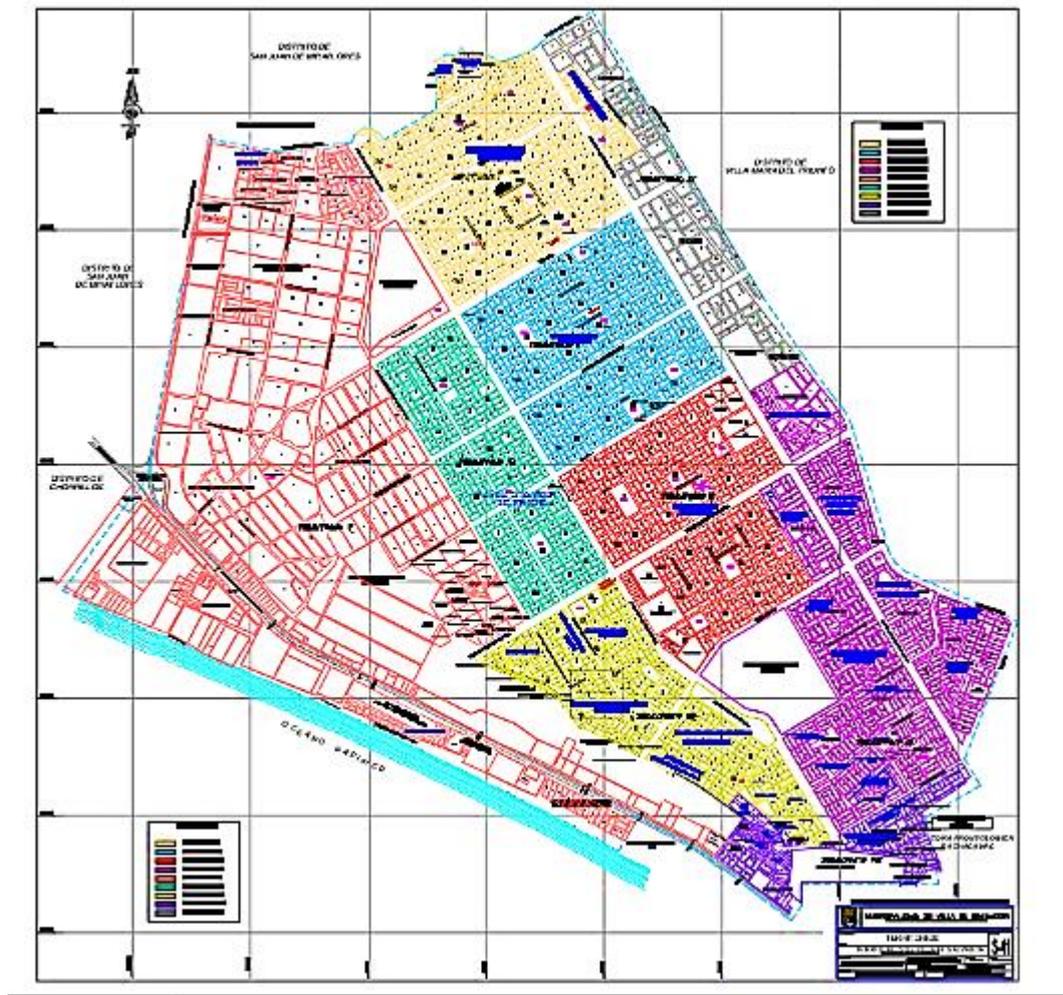


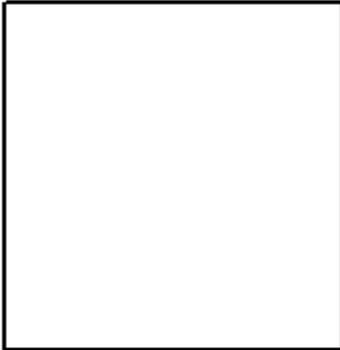
Figura N° C.1 Territorio de la Municipalidad de Villa El Salvador- Lima

ANEXO D. FORMATOS PARA RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

1.0 Identificación		
1.1 Ubicación	1.4 Av, Calle, Jr, Psj	N°
1.2 N° de manzanas	1.5 N° de habitantes	
1.3 N° de lote	1.6 N° Teléfono	
2.0 Tipo de construcción		3.0 Tipo de estructura
2.1 Lote sin construir	<input type="checkbox"/>	3.1 Mampostería de ladrillo
2.2 Vivienda unifamiliar	<input type="checkbox"/>	3.2 Adobe, quincha y tapial
2.3 Vivienda multifamiliar	<input type="checkbox"/>	3.3 Pórticos de con concreto armado
2.4 Edificio	<input type="checkbox"/>	3.4 Pórticos de acero
2.5 Local comercial	<input type="checkbox"/>	3.5 Madera
2.6 Local Industrial	<input type="checkbox"/>	3.6 Piedra
2.7 Local en construcción	<input type="checkbox"/>	3.7 Otros (Incluye lotes sin construir)
2.8 Local demolido	<input type="checkbox"/>	
4.0 Descripción		
4.1 Año de construcción	4.4 Auto construcción	<input type="checkbox"/>
4.2 N° Total de pisos	4.5 Asistido por un profesional a fin	<input type="checkbox"/>
4.3 Sótanos		
5.0 Tipo de organización del sistema resistente (Marcar solo uno)		
5.1 Confinamiento mediante columnas y vigas o arriostramiento horizontales y verticales		<input type="checkbox"/>
5.2 Muros bien ligados sin vigas		<input type="checkbox"/>
5.3 Muros no ligados, sin vigas ni columnas o sin arriostramiento		<input type="checkbox"/>
6.0 Calidad del sistema resistente (marcar todos los que responda)		
6.1 Mampostería de buena calidad con piezas homogéneas y de dimensiones constantes		<input type="checkbox"/>
6.2 Muros con mampostería de fabricación artesanal en toda su extensión		<input type="checkbox"/>
6.3 Presencia de buen amarre en las unidades de mampostería		<input type="checkbox"/>
6.4 Mortero de buena calidad y con espesores según norma		<input type="checkbox"/>
7.0 Pendiente del terreno		
Nula	<input type="checkbox"/>	Regular <input type="checkbox"/>
		Fuerte <input type="checkbox"/>
8.0 Diagrama horizontal (Marcar todas las que corresponda)		
8.1 Losas con desnivel		<input type="checkbox"/>
8.2 Tipo de material de losa		
1) Concreto armado	<input type="checkbox"/>	2) madera <input type="checkbox"/>
		3) otros <input type="checkbox"/>
9.0 Configuración de elevación		
9.1 Presencia de tanque elevado de concreto armado		
9.2 N° de pisos construidos en solo una porción del área total construida		
1	<input type="checkbox"/>	2 <input type="checkbox"/>
3	<input type="checkbox"/>	4 <input type="checkbox"/>
otros		
10.0 Tipo de cubierta		
10.1 Buena estructura resistente		<input type="checkbox"/>
10.2 Tipo de material		
1) Concreto armado	<input type="checkbox"/>	2) teja y barro <input type="checkbox"/>
		3) eternit, calamina, material liviano <input type="checkbox"/>
11.0 Elementos no estructurales		
	Bien ligados a la pared	Mal ligados a la pared
11.1 Comisa y parapetos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.2 Tanques de agua pre-fabricados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.3 Balcones y volados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
11.4 Pequeños elementos	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Figura N° D.1 Formato de encuesta para viviendas -Página 1

12.0 Estado de conservación		
12.1 Estado de conservación general de la edificación	1) Bueno <input type="checkbox"/>	2) Malo <input type="checkbox"/>
		3) Muy malo <input type="checkbox"/>
12.2 Muros en buena condición, sin lesiones visibles		<input type="checkbox"/>
12.3 Edificio que no presentan lesiones pero en un estado mediocre de conservación		<input type="checkbox"/>
12.4 Muros que presentan pequeñas fisuras		<input type="checkbox"/>
12.5 Muros con lesiones de tamaño medio o lesiones producidas por sismos		<input type="checkbox"/>
12.6 Muros con fuerte deterioro en sus componentes		<input type="checkbox"/>
12.7 Pórticos		<input type="checkbox"/>
1) Buen estado de conservación <input type="checkbox"/>	2) Ligeramente dañados <input type="checkbox"/>	3) Mal estado de conservación <input type="checkbox"/>

13.0 Fotografía	14.0 Croquis
	

15.0 Observaciones adicionales

.....

.....

.....

Encuesta	Control
Fecha <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>	Fecha <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Día Mes Año	Día Mes Año
Nombre	Nombre
Firma	Firma

Digitación
Fecha <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>
Día Mes Año
Nombre
Firma

Figura N° D.2 Formato de encuesta para viviendas – Página 2

SECTOR	GRUPO	MZNA	N° VIVIENDAS	VACIO	MADERA	ALBAN.	NIV. DE VIVIENDA			
							1	2	3	
9	MIRADOR DE VILLA	D	17	0	11	6	3	3		
		E	14	0	9	5	3	2		
		I	22	0	19	3	2	1		
		J	21	0	13	8	4	2	2	
	11 DE OCTUBRE	A	26	0	12	14	7	7		
		B	26	0	4	22	13	8	1	
		C	27	1	12	14	6	6	2	
		D	0	0						
		E	24	0	8	16	9	5	2	
		F	24	0	7	17	10	7		
		G	13	0	3	10	2	3	5	
		H	13	0	5	8	4	4		
		I	8	0	4	4	0	3	1	
	COLLASUYO	A	30	0	6	24	16	7	1	
		B	27	0	7	20	8	10	2	
		C	14	0	6	8	5	2		
		D	14	0	5	9	4	4	1	
		E	14	0	5	9	2	7		
		F	17	0	5	12	5	7		
		G	15	0	10	5	4	1		
		H	20	0	12	8	3	5		
		I	20	0	13	7	3	4		
		J	8	0	1	7	4	2	1	
	SAN IGNACIO	A	36	0	7	29	15	14		
		B	18	0	7	11	9	2		
		C	16	0	7	9	5	4		
		D	14	0	9	5	3	2		
		E	10	0	8	2	1	1		
		F	8	0	2	6	3	3		
		G	8	0	2	6	4	2		
	3A	A	28	0	22	6	4	2		
		B	26	0	19	7	4	3		
		C	31	0	22	9	5	4		
		D	32	0	24	8	5	1	2	
		E	30	0	14	16	12	4		
		F	28	0	17	11	9	1	1	
		G	30	2	19	9	6	3		
		J	17	0	11	6	2	3	1	
		K	17	0	14	3	3			
		6	A	40	0	32	8	1	6	1
	B		14	0	10	4	1	2	1	
	C		34	0	20	14	6	8		
	D		15	0	9	6	4	2		
	E		26	0	12	14	10	2	2	
	F		15	0	12	3	2	1		
	G		4	0	2	2	2			
	H		8	0	4	4	4			
7	A	47	0	34	13	3	7	3		
	B	48	0	37	11	7	4			
	C	19	0	18	1	1				
10	200 MILLAS	J	28	0	17	11	8	3		
		K	29	0	14	15	11	4		
		L	26	0	18	8	4	3	1	
		M	27	0	7	20	8	11	1	
		Q	30	1	22	7	5	2		
		R	30	0	20	10	8	2		
		S	24	0	14	10	7	2	1	
		I	31	0	16	15	14	1		
			1258	4	699	555	314	209	32	

Figura N° D.3 Formato de conteo de tipología de viviendas por manzana

ANEXO E. LEVANTAMIENTO DE VIVIENDAS

<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>1</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>ENTRE AVENIDA MATEO PUMACAHUA (AUXILIAR) Y AVENIDA MODELO</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	1	NIVELES	2	REFERENCIA:	ENTRE AVENIDA MATEO PUMACAHUA (AUXILIAR) Y AVENIDA MODELO	OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>10</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>AVENIDA MODELO Y AVENIDA CENTRAL</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td>TORRETA EN UNA ESQUINA</td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	10	NIVELES	2	REFERENCIA:	AVENIDA MODELO Y AVENIDA CENTRAL	OBSERVACIONES:	TORRETA EN UNA ESQUINA	
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	1																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	ENTRE AVENIDA MATEO PUMACAHUA (AUXILIAR) Y AVENIDA MODELO																										
OBSERVACIONES:																											
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	10																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	AVENIDA MODELO Y AVENIDA CENTRAL																										
OBSERVACIONES:	TORRETA EN UNA ESQUINA																										
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>2</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>AVENIDA MODELO</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td>TERCER PISO EN CONSTRUCCION</td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	2	NIVELES	3	REFERENCIA:	AVENIDA MODELO	OBSERVACIONES:	TERCER PISO EN CONSTRUCCION		<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>11</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>AVENIDA CENTRAL</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td>AZOTEA CON CUBIERTA PROVISIONAL</td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	11	NIVELES	2	REFERENCIA:	AVENIDA CENTRAL	OBSERVACIONES:	AZOTEA CON CUBIERTA PROVISIONAL	
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	2																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA:	AVENIDA MODELO																										
OBSERVACIONES:	TERCER PISO EN CONSTRUCCION																										
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	11																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	AVENIDA CENTRAL																										
OBSERVACIONES:	AZOTEA CON CUBIERTA PROVISIONAL																										
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>3</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>ENTRE AVENIDA MODELO Y CALLE N/A</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	3	NIVELES	2	REFERENCIA:	ENTRE AVENIDA MODELO Y CALLE N/A	OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>12</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CALLE S/N</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	12	NIVELES	2	REFERENCIA:	CALLE S/N	OBSERVACIONES:		
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	3																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	ENTRE AVENIDA MODELO Y CALLE N/A																										
OBSERVACIONES:																											
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	12																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	CALLE S/N																										
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>4</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CALLE N/A</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td>AZOTEA CON MUROS SIN ARRIOSTRAR</td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	4	NIVELES	3	REFERENCIA:	CALLE N/A	OBSERVACIONES:	AZOTEA CON MUROS SIN ARRIOSTRAR		<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>13</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CALLE S/N</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td>CUBIERTA A DOS AGUAS</td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	13	NIVELES	2	REFERENCIA:	CALLE S/N	OBSERVACIONES:	CUBIERTA A DOS AGUAS	
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	4																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA:	CALLE N/A																										
OBSERVACIONES:	AZOTEA CON MUROS SIN ARRIOSTRAR																										
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	13																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	CALLE S/N																										
OBSERVACIONES:	CUBIERTA A DOS AGUAS																										
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>5</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CALLE N/A</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td>EL TERCER NIVEL EN CONSTRUCCION</td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	5	NIVELES	2	REFERENCIA:	CALLE N/A	OBSERVACIONES:	EL TERCER NIVEL EN CONSTRUCCION		<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>14</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CALLE S/N</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	14	NIVELES	2	REFERENCIA:	CALLE S/N	OBSERVACIONES:		
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	5																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	CALLE N/A																										
OBSERVACIONES:	EL TERCER NIVEL EN CONSTRUCCION																										
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	14																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	CALLE S/N																										
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>6</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>ENTRE AVENIDA MATEO PUMACAHUA Y CALLE N/A</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td>TERCER PISO CON MODULO DE MADERA Y MUROS SIN ARRIOSTRE</td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	6	NIVELES	2	REFERENCIA:	ENTRE AVENIDA MATEO PUMACAHUA Y CALLE N/A	OBSERVACIONES:	TERCER PISO CON MODULO DE MADERA Y MUROS SIN ARRIOSTRE		<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>15</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td></td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	15	NIVELES		REFERENCIA:		OBSERVACIONES:		
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	6																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	ENTRE AVENIDA MATEO PUMACAHUA Y CALLE N/A																										
OBSERVACIONES:	TERCER PISO CON MODULO DE MADERA Y MUROS SIN ARRIOSTRE																										
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	15																										
NIVELES																											
REFERENCIA:																											
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>7</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>AVENIDA MODELO</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	7	NIVELES	2	REFERENCIA:	AVENIDA MODELO	OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>16</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	16	NIVELES	3	REFERENCIA:		OBSERVACIONES:		
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	7																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:	AVENIDA MODELO																										
OBSERVACIONES:																											
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	16																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA:																											
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>8</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	8	NIVELES	2	REFERENCIA:		OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>17</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	17	NIVELES	3	REFERENCIA:		OBSERVACIONES:		
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	8																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:																											
OBSERVACIONES:																											
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	17																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA:																											
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>9</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	9	NIVELES	2	REFERENCIA:		OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>18</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td>CALLE PIRAMIDE DEL SOL</td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	18	NIVELES	3	REFERENCIA:	CALLE PIRAMIDE DEL SOL	OBSERVACIONES:		
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	9																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA:																											
OBSERVACIONES:																											
MANZANA																											
TIPO	ALBAÑILERIA																										
VIVENDA	18																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA:	CALLE PIRAMIDE DEL SOL																										
OBSERVACIONES:																											

Figura N° E.1 Levantamiento de información Sector N° 01- Villa El Salvador

MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	1	
NIVELES	2	
REFERENCIA: CRUCE AVENIDA EL SOL CON SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	2	
NIVELES	2	
REFERENCIA: CRUCE AVENIDA EL SOL CON SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	3	
NIVELES	3	
REFERENCIA: AVENIDA SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	4	
NIVELES	2	
REFERENCIA: UBICACIÓN EN EL PLANO		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	5	
NIVELES	3	
REFERENCIA: AVENIDA SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	6	
NIVELES	2	
REFERENCIA: AVENIDA SEPARADORA INDUSTRIAL		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERIA	
VIVENDA	7	
NIVELES	3	
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:		

Figura N° E.2 Levantamiento de información Sector N° 02- Villa El Salvador

MANZANA		
TIPO	APORTICADO	
VIVENDA	1	
NIVELES	4	
REFERENCIA: ENTRE Av. CENTRAL Y Av. BOLIVAR		
OBSERVACIONES: UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	2	
NIVELES	3	
REFERENCIA: Av. REVOLUCION		
OBSERVACIONES:		
MANZANA		
TIPO	ALBAÑILERÍA	
VIVENDA	3	
NIVELES	3	
OBSERVACIONES:		

Figura N° E.3 Levantamiento de información Sector N° 03- Villa El Salvador

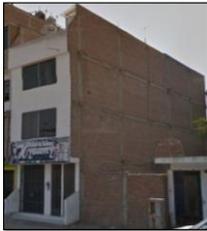
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>1</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>2</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: AV. 200 MILLAS</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	1	VIVIENDA	2	NIVELES	2	REFERENCIA: AV. 200 MILLAS		OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>7</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>2</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	7	VIVIENDA	2	NIVELES	3	REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS		OBSERVACIONES:		
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	1																										
VIVIENDA	2																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA: AV. 200 MILLAS																											
OBSERVACIONES:																											
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	7																										
VIVIENDA	2																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS																											
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>2</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>2</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>2</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CALLE S/N</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	2	VIVIENDA	2	NIVELES	2	REFERENCIA: CALLE S/N		OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>8</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>3</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CALLE S/N</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	8	VIVIENDA	3	NIVELES	3	REFERENCIA: CALLE S/N		OBSERVACIONES:		
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	2																										
VIVIENDA	2																										
NIVELES	2																										
REFERENCIA: CALLE S/N																											
OBSERVACIONES:																											
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	8																										
VIVIENDA	3																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA: CALLE S/N																											
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>3</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>3</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CALLE S/N</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	3	VIVIENDA	3	NIVELES	3	REFERENCIA: CALLE S/N		OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>9</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>3</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CALLE S/N</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	9	VIVIENDA	3	NIVELES	3	REFERENCIA: CALLE S/N		OBSERVACIONES:		
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	3																										
VIVIENDA	3																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA: CALLE S/N																											
OBSERVACIONES:																											
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	9																										
VIVIENDA	3																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA: CALLE S/N																											
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>4</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>4</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>4</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: AV. GUARDIA REPUBLICANA</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	4	VIVIENDA	4	NIVELES	4	REFERENCIA: AV. GUARDIA REPUBLICANA		OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>10</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>4</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>4</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CALLE S/N</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	10	VIVIENDA	4	NIVELES	4	REFERENCIA: CALLE S/N		OBSERVACIONES:		
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	4																										
VIVIENDA	4																										
NIVELES	4																										
REFERENCIA: AV. GUARDIA REPUBLICANA																											
OBSERVACIONES:																											
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	10																										
VIVIENDA	4																										
NIVELES	4																										
REFERENCIA: CALLE S/N																											
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>5</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>3</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	5	VIVIENDA	3	NIVELES	3	REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS		OBSERVACIONES:			<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>11</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>4</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>4</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CALLE S/N</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	11	VIVIENDA	4	NIVELES	4	REFERENCIA: CALLE S/N		OBSERVACIONES:		
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	5																										
VIVIENDA	3																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS																											
OBSERVACIONES:																											
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	11																										
VIVIENDA	4																										
NIVELES	4																										
REFERENCIA: CALLE S/N																											
OBSERVACIONES:																											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td>ALBAÑILERÍA</td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>6</td></tr> <tr><td>VIVIENDA</td><td>3</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS</td><td></td></tr> <tr><td>OBSERVACIONES:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA	ALBAÑILERÍA	TIPO	6	VIVIENDA	3	NIVELES	3	REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS		OBSERVACIONES:																
MANZANA	ALBAÑILERÍA																										
TIPO	6																										
VIVIENDA	3																										
NIVELES	3																										
REFERENCIA: CL. LAS PONCIANAS																											
OBSERVACIONES:																											

Figura N° E.4 Levantamiento de información Sector N° 04- Villa El Salvador

TIPO	APORTICADO	
COLEGIO	1	
NIVELES	3	
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES: IE SANTIAGO ANTUNES DE MAYOLO		
TIPO	APORTICADO	
COLEGIO	2	
NIVELES	3	
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:		
TIPO	APORTICADO	
COLEGIO	3	
NIVELES	3	
REFERENCIA:		
OBSERVACIONES:		

Figura N° E.5 Levantamiento de información Sector N° 05- Villa El Salvador

<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>1</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>4</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	1	NIVELES	4	REFERENCIA:		 <p style="text-align: center;">Google</p>
MANZANA											
TIPO	ALBAÑILERIA										
VIVENDA	1										
NIVELES	4										
REFERENCIA:											
<p>OBSERVACIONES:</p>											
<table border="1"> <tr><td>MANZANA</td><td></td></tr> <tr><td>TIPO</td><td>ALBAÑILERIA</td></tr> <tr><td>VIVENDA</td><td>2</td></tr> <tr><td>NIVELES</td><td>3</td></tr> <tr><td>REFERENCIA:</td><td></td></tr> </table>	MANZANA		TIPO	ALBAÑILERIA	VIVENDA	2	NIVELES	3	REFERENCIA:		 <p style="text-align: center;">Google</p>
MANZANA											
TIPO	ALBAÑILERIA										
VIVENDA	2										
NIVELES	3										
REFERENCIA:											
<p>VACIONES: 2DO PISO SIN HAB</p>											

Figura N° E.6 Levantamiento de información Sector N° 06- Villa El Salvador

ANEXO F. PANEL FOTOGRÁFICO



Figura N° F.1 Punto de medición P4 en la vivienda N°02



Figura N° F.2 Punto de medición P5 en el terreno de la vivienda N°02

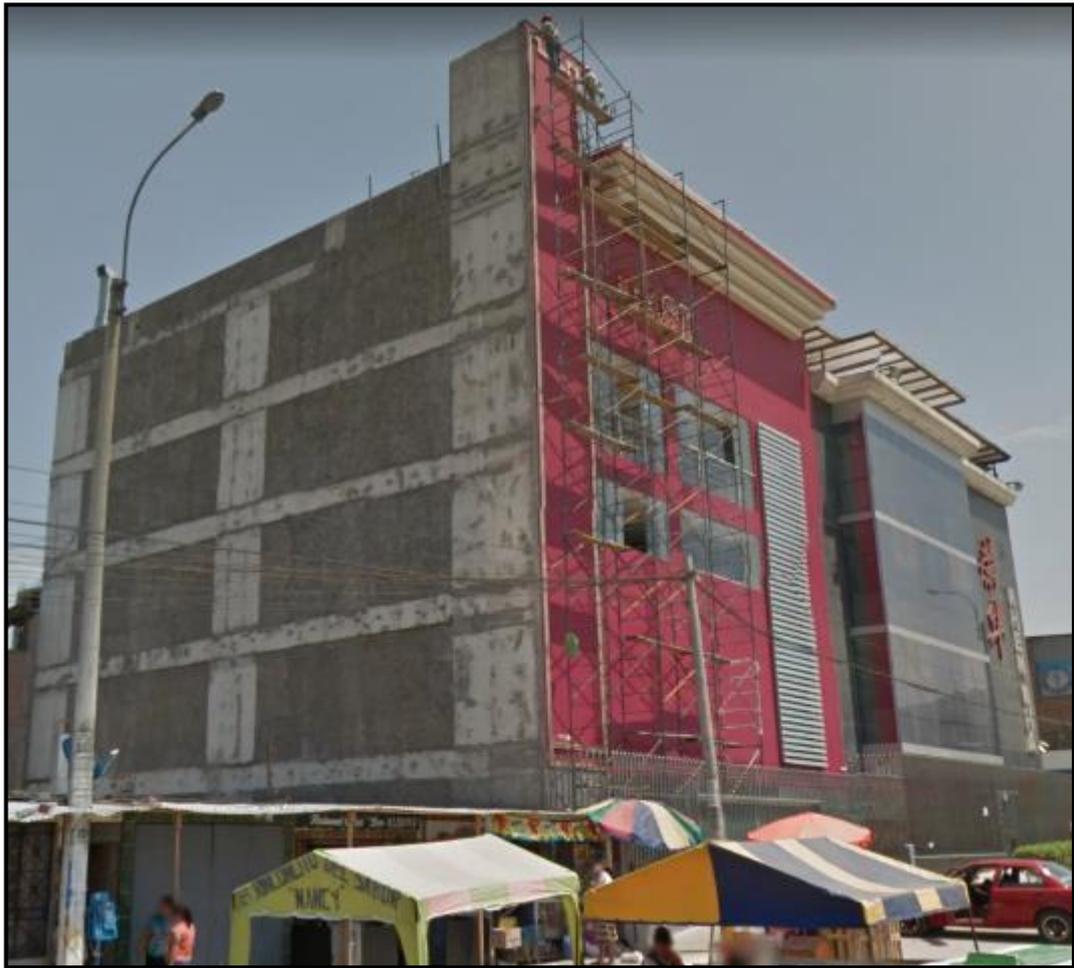


Figura N° F.3 Edificación de sistema estructural mixto en el distrito de Villa El Salvador

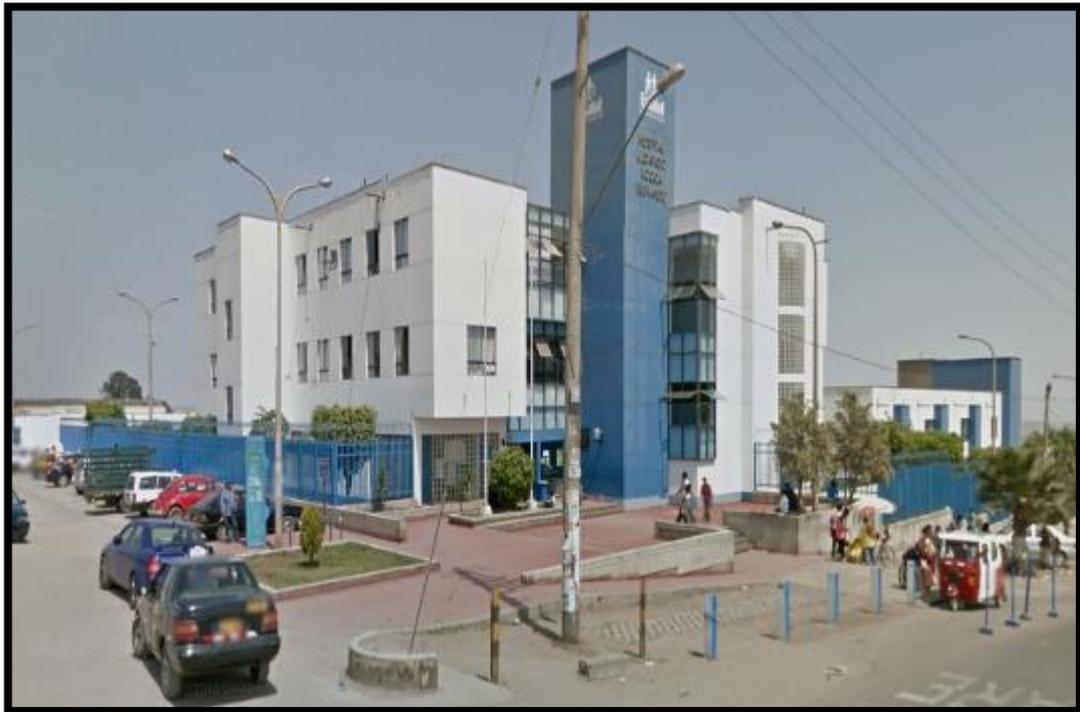


Figura N° F.4 Edificación de sistema estructural aporticado en el distrito de Villa El Salvador