

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



UNA INSTITUCIÓN ADVENTISTA

Estimación de Daño Sísmico en Viviendas de Albañilería Confinada Mediante Curvas de Fragilidad para Viviendas de 01 y 02 Pisos

Por:

Elías Felipe Tala Allca

Asesor:

Ing. David Díaz Garamendi

Lima, mayo de 2019

DECLARACIÓN JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

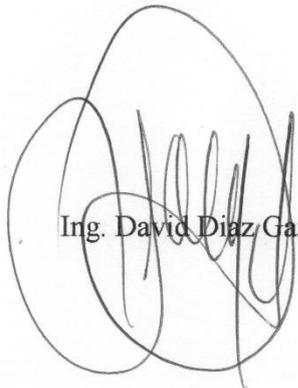
Yo Ing. David Diaz Garamendi, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: “Estimación de Daño Sísmico en Viviendas de Albañilería Confinada Mediante Curvas de Fragilidad para Viviendas de 01 y 02 Pisos” constituye la memoria que presenta el Bachiller Elías Felipe Tala Allca para aspirar al título de Profesional de Ingeniero Civil, cuya tesis ha sido realizada en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opiniones y declaraciones en este informe son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, firmo la presente constancia en Lima, a los 10 días, del mes de abril del año dos mil diecinueve.

A handwritten signature in black ink, consisting of several overlapping loops and vertical strokes, positioned above the printed name.

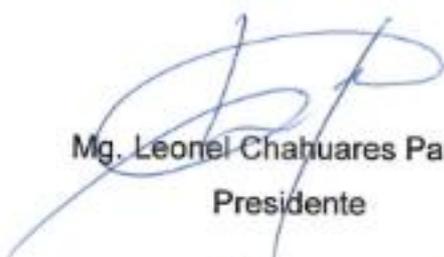
Ing. David Diaz Garamendi

Estimación de Daño Sísmico en Viviendas de Albañilería Confinada
Mediante Curvas de Fragilidad para Viviendas de 01 y 02 Pisos

TESIS

Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

JURADO CALIFICADOR



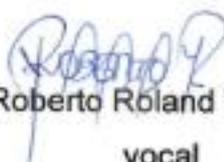
Mg. Leonel Chahuares Paucar
Presidente



Mag. Sergio Omar Valladares
Castillo
Secretario



Ing. Ferrer Canaza Rojas
vocal



Ing. Roberto Roland Yoctun Rios
vocal



Ing. David Díaz Garamendi
asesor

Lima, 07 de mayo de 2019

DEDICATORIA

Dedico este trabajo a mi madre SOFIA y mi padre FELIPE, por su inmensurable apoyo.

AGRADECIMIENTOS

Agradezco principalmente a Dios por la vida. Debo agradecer a mis padres Sofia y Felipe por su apoyo.

Quiero también agradecer al Mag. Holger Lovon Quispe por el apoyo y darme la iniciativa por la investigación.

También agradezco a mis amigos que de alguna u otra manera me apoyaron.

De igual manera agradezco a la A.H. Los Sauces por brindarme el permiso para recolectar datos.

Por último, agradezco al personal de la E.P. Ingeniería Civil que me formo durante 5 años y luego me dio la facilidad de hacer la tesis.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE TABLAS	x
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS USADOS	xiv
GLOSARIO	xvi
RESUMEN	xx
ABSTRACT	xxi
Capítulo I. El problema	22
1.1. Identificación del problema	22
1.2. Objetivos de la investigación	24
1.2.1. Objetivo general	24
1.2.2. Objetivo específico	24
1.3. Hipótesis	25
1.3.1. Hipótesis general.....	25
1.3.2. Hipótesis específica.....	25
1.4. Justificación.....	25
Capítulo II. Revisión de la literatura	27
2.1. Revisión de la literatura	27
2.1.1. Literatura nacional	27
2.1.2. Literatura internacional.....	29
2.2. Fundamentos de sismología	29
2.2.1. Estructura de la Tierra	31
2.2.2. Ondas sísmicas	31
2.2.3. Sismos	32
2.2.4. Placa tectónica	32
2.2.5. Cinturón de fuego del pacífico.....	33
2.3. Distribución de los sismos sobre la tierra.....	34
2.3.1. Sismicidad en el Perú.....	34
2.4. Bases teóricas de la vulnerabilidad sísmica	35
2.4.1. Riesgo sísmico	35
2.4.2. Peligro sísmico	36
2.4.3. Vulnerabilidad sísmica.....	37
2.5. Métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural	39
2.5.1. Clasificación de acuerdo a Corsanegro y Petrini (1990)	39
2.5.2. Clasificación de acuerdo a Dolce, Kappos, Zuccaro y Coburn (1994).....	41

2.5.3.	Clasificación de acuerdo a Calvi, Pinho, Magenes, Bommer y Crowley (2006)	42
2.5.4.	Métodos analíticos	43
2.5.5.	Incertidumbres y limitaciones de los métodos analíticos	44
2.5.6.	Métodos empíricos	44
2.5.7.	Incertidumbre y limitaciones de los métodos empíricos	45
2.6.	Explicación de métodos para determinar la vulnerabilidad sísmica	45
2.6.1.	Método empírico: ATC-14	45
2.6.2.	Método empírico: matriz de probabilidad daño	45
2.6.3.	Método empírico: Índice de la vulnerabilidad	46
2.6.4.	Método empírico: Curvas de vulnerabilidad continua	46
2.6.5.	Métodos analíticos: Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño (MPD)	47
2.6.6.	Métodos analíticos: Espectro de capacidad	49
2.6.7.	Métodos analíticos: Basado en el desplazamiento	50
2.7.	Metodología escogida para saber la vulnerabilidad sísmica	51
2.8.	Niveles de sismo de diseño y desempeño de la estructura	51
2.9.	Niveles de desempeño para muros de albañilería confinada	53
2.10.	Objetivos de desempeño para estructuras de albañilería confinada	54
2.11.	Albañilería confinada	56
2.11.1.	Propiedades mecánicas de la albañilería confinada	58
2.11.1.	Propiedades de los materiales	59
2.11.2.	Metrado de cargas	60
2.11.3.	Normatividad	61
2.11.4.	Modelos estructurales de la albañilería confinada	61
2.12.	Análisis de demanda sísmica determinística	64
2.12.1.	Construcción del espectro de respuesta	64
2.12.2.	Conversión del espectro de respuesta en formato (ADRS)	66
2.13.	Análisis estático no lineal – pushover	66
2.13.1.	Capacidad estructural	67
2.13.2.	Espectro de capacidad	70
2.14.	Curvas de fragilidad	75
2.14.1.	Conceptos básicos de estadística y probabilidades	75
2.14.2.	Desarrollo de las curvas de fragilidad	78
2.15.	Fragilidad estructural	79
Capítulo III.	Materiales y Métodos	81

3.1.	Generalidades del área de estudio	81
3.2.	Tipo de investigación	82
3.2.1.	El fin que se persigue.....	82
3.2.2.	Los tipos de datos analizados	82
3.2.3.	La metodología para demostrar la hipótesis.....	82
3.3.	Nivel de investigación	82
3.4.	Limitaciones de la investigación	83
3.4.1.	Delimitación espacial.....	83
3.4.2.	Delimitación temporal.....	83
3.4.3.	Delimitación estructural	83
3.4.4.	Caso de investigación	83
3.5.	Operacionalización de variables.....	83
3.6.	Materiales y Equipos	85
3.7.	Procedimiento de análisis.....	86
3.7.1.	Sensibilización de la población	87
3.7.2.	Caracterización general de las edificaciones	88
3.7.3.	Diseño de la muestra.....	88
3.7.4.	Caracterización específica de la muestra seleccionada.....	93
3.7.5.	Procesamiento de datos y recopilación de las propiedades de los materiales	93
3.7.6.	Análisis lineal estático	94
3.7.7.	Análisis no lineal estático	94
3.7.8.	Creación de curvas de capacidad sintéticas	96
3.7.9.	Conversión de curva de capacidad a curva de capacidad trilineal	98
3.7.10.	Conversión de curva de capacidad trilineal a espectro de capacidad trilineal	99
3.7.11.	Determinación de la demanda sísmica	99
3.7.12.	Matriz de probabilidad de daño	100
3.7.13.	Curvas de fragilidad	101
3.7.14.	Fragilidad estructural	102
Capítulo IV.	Resultados y Discusión	103
4.1.	Caracterización de las edificaciones	103
4.1.1.	Caracterización general de las viviendas	103
4.1.2.	Caracterización específica de las viviendas de albañilería confinada	110
4.2.	Demanda sísmica	118

4.2.1.	Espectro de desplazamiento	118
4.2.2.	Espectro de aceleración	118
4.3.	Curva de capacidad	119
4.3.1.	Curva de capacidad global.....	119
4.3.2.	Espectro de capacidad trilineal	122
4.4.	Curvas de fragilidad	124
4.4.1.	Curvas de fragilidad para viviendas de un piso	124
4.4.2.	Curvas de fragilidad para viviendas de dos pisos	128
Capítulo V.	Conclusiones y Recomendaciones	132
5.1.	Conclusiones.....	132
5.2.	Recomendaciones	134
Referencias	135
Anexos	142
Anexo I:	Microzonificación sísmica geotécnica de la cuenca del río Rímac (IGP, 2012)	142
Anexo II:	Ubicación del área de estudio	143
Anexo III:	Cartilla de sensibilización.....	144
Anexo IV:	Ficha de caracterización para todos los sistemas estructurales	146
Anexo V:	Ficha de caracterización para la muestra de albañilería confinada	147
Anexo VI:	Ficha de encuesta de la muestra 1 de un piso	149
Anexo VII:	Ficha de encuesta de la muestra 2 de un piso	151
Anexo VIII:	Ficha de encuesta de la muestra 3 de un piso	153
Anexo IX:	Ficha de encuesta de la muestra 4 de dos pisos	155
Anexo X:	Ficha de encuesta de la muestra 5 de dos pisos	157
Anexo XI:	Ficha de encuesta de la muestra 6 de dos pisos	159
Anexo XII:	Código fuente para curvas de fragilidad en MATLAB	161

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Formato de la matriz de probabilidad de daño descritos por Whitman y Hong (1973)	46
Tabla 2. Niveles de sismo de diseño para VISION 2000 y ATC-40.....	52
Tabla 3. Estado de daño y niveles de desempeño de acuerdo a VISION 2000.....	52
Tabla 4. Niveles de daño para elementos estructurales de acuerdo a ATC-40	53
Tabla 5. Niveles de desempeño para estructuras de albañilería confinada	55
Tabla 6. Niveles de desempeño para estructuras de albañilería confinada	55
Tabla 7. Deriva de muros de albañilería confinada para cada punto de control	56
Tabla 8. Propiedades del concreto	59
Tabla 9. Propiedades de la albañilería confinada.....	59
Tabla 10. Propiedades del acero	60
Tabla 11. Cargas vivas.....	60
Tabla 12. Cargas muertas.....	60
Tabla 13. Normatividad	61
Tabla 14. Caso de investigación	83
Tabla 15. Operacionalización de variables independientes	84
Tabla 16. Operacionalización de variable dependiente.....	85
Tabla 17. Sismos importantes ocurridos en la costa peruana	88
Tabla 18. Muestra representativa	91
Tabla 19. Información general de la muestra	93
Tabla 20. Límites de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de un piso en x-x.....	124
Tabla 21. Estados de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de un piso en y-y	125
Tabla 22. Límites de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de un piso en y-y.....	126
Tabla 23. Estados de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de un piso en y-y	126
Tabla 24. Límites de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de dos pisos en x-x ...	128
Tabla 25. Estados de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de dos pisos en y-y..	128
Tabla 26. Límites de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de dos pisos en x-x ...	130
Tabla 27. Estados de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de dos pisos en y-y..	130

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Población censada de Lima.....	23
Figura 2. (a) Cinturón circumpacífico (b) Placas tectónicas.....	24
Figura 3. Recorrido de las ondas de cuerpo y superficiales	32
Figura 4. Mapa de placas.....	33
Figura 5. Cinturón o anillo de fuego del pacífico.....	34
Figura 6. Mapa sísmico de Perú del periodo 1960 al 2016.....	35
Figura 7. Comparación del espectro de demanda por el método probabilístico y determinístico	37
Figura 8. Métodos de análisis de vulnerabilidad sísmica	41
Figura 9. Clasificación de las técnicas de valuación de la vulnerabilidad.....	41
Figura 10. Componentes de una evaluación de riesgo sísmico y métodos para evaluar la vulnerabilidad	43
Figura 11. Curvas de vulnerabilidad de para pórticos de concreto armado utilizando PSI y MSK.....	47
Figura 12. Componentes del cálculo de las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño con métodos analíticos	48
Figura 13. MEC para determinar el punto de capacidad por demanda	49
Figura 14. Módulos de HAZUS	50
Figura 15. Fundamentos del DDBD, simulación de la estructura en SDOF y rigidez efectiva K_e	51
Figura 16. Niveles de desempeño de la albañilería confinada.....	54
Figura 17. Puntos de control para definir la resistencia lateral de muros de albañilería confinada.....	56
Figura 18. Albañilería confinada	57
Figura 19. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión	58
Figura 20. Ensayo para determinar la resistencia a la tensión diagonal	58
Figura 21. Modelo de columna ancha.....	62
Figura 22. Desempeño de las rótulas en un modelo de columna ancha.....	62
Figura 23. Modelo de columna ancha.....	63
Figura 24. Modelo de la diagonal equivalente de compresión	63
Figura 25. Espectro de respuesta de demanda sísmica	65
Figura 26. Curva de capacidad de una estructura (ATC-40, 1996)	67
Figura 27. (a) Determinación de los parámetros del modelo en función de la respuesta registrada (b) Curva de capacidad analítica.....	68
Figura 28. Transformación de la curva de capacidad a espectro de capacidad	72

Figura 29. Sistema de múltiples GDL, representando por un sistema equivalente de masa única	73
Figura 30. Superposición del espectro de capacidad y el espectro de demanda	75
Figura 31. Función de densidad de probabilidad normal	77
Figura 32. (a) Función de distribución acumulada de una variable x (b) Histograma típico de una variable x	78
Figura 33. Ejemplo de curvas de fragilidad para un PGA desde 0 hasta 0.6	79
Figura 34. Lectura de los ED sobre las curvas de fragilidad	80
Figura 35. Población del A.H. Los Sauces	81
Figura 36. Distanciómetro y flexómetro usados en la caracterización de las edificaciones	85
Figura 37. Diagrama de flujo del procedimiento de análisis	86
Figura 38. Charla de sensibilización a la población del A.H. Los Sauces	87
Figura 39. Proceso de población a muestra	89
Figura 40. Ubicación de la muestra seleccionada	92
Figura 41. Modelado mediante columna ancha	95
Figura 42. Rótula del muro frontal de la muestra 1	95
Figura 43. Curva de capacidad global	96
Figura 44. (a) Distribución log normal (b) Inversa de la función de distribución acumulativa	98
Figura 45. Obtención del primer punto de la curva trilineal	98
Figura 46. Ejemplo de espectro de capacidad para 10 viviendas sintéticas	99
Figura 47. (a) Acelerograma (b) Espectro de desplazamiento (c) Espectro de aceleración	100
Figura 48. Diagrama de flujo para obtener la matriz de daño	101
Figura 49. Curvas de fragilidad para 10 viviendas sintéticas	102
Figura 50. Imagen de las edificaciones del A.H. Los Sauces	103
Figura 51. Distribución porcentual de los sistemas estructurales de edificaciones de Ñaña	104
Figura 52. Vivienda de cinco pisos	104
Figura 53. Distribución porcentual del número de pisos de edificaciones de albañilería confinada	105
Figura 54. Fotos de problemas de ubicación	105
Figura 55. Problemas de ubicación	106
Figura 56. Fotos con respecto a la estructura	106
Figura 57. Estructuración	107

Figura 58. Imágenes de factores degradantes	107
Figura 59. Factores degradantes	108
Figura 60. Fotos con respecto a materiales deficientes	108
Figura 61. Materiales deficientes	109
Figura 62. Fotos con respecto a la mano de obra	109
Figura 63. Mano de obra	110
Figura 64. Plano en planta de la muestra 1 de un piso	111
Figura 65. Foto de la vivienda de muestra 1 de un piso.....	111
Figura 66. Foto de la vivienda de muestra 2 de un piso.....	112
Figura 67. Plano en planta de la muestra 2 de un piso	112
Figura 68. Plano en planta de la muestra 3 de un piso	113
Figura 69. Foto de la vivienda muestra 3 de un piso.....	114
Figura 70. Foto de la vivienda de muestra 4 de dos pisos	114
Figura 71. Plano en planta de la muestra 4 de dos pisos	115
Figura 72. Foto de la vivienda de muestra 5 de dos pisos.....	116
Figura 73. Plano en planta de la muestra 5 de dos pisos	116
Figura 74. Foto de la vivienda de muestra 6 de dos pisos	117
Figura 75. Plano en planta de la muestra 6 de dos pisos	117
Figura 76. Espectro de desplazamientos de la demanda sísmica.....	118
Figura 77. Espectro de aceración de las demandas sísmicas	119
Figura 78. Curva de capacidad global para las viviendas de un piso, en x-x.....	120
Figura 79. Curva de capacidad global para las viviendas de un piso, en y-y.....	120
Figura 80. Curva de capacidad global para las viviendas de dos pisos, en x-x	121
Figura 81. Curva de capacidad global para las viviendas de dos pisos, en y-y	121
Figura 82. Espectro de capacidad trilineal para viviendas de un piso, en x-x	122
Figura 83. Espectro de capacidad trilineal para viviendas de un piso, en y-y	122
Figura 84. Espectro de capacidad trilineal para viviendas de dos pisos, en x-x	123
Figura 85. Espectro de capacidad trilineal para viviendas de dos pisos, en y-y	123
Figura 86. Curvas de fragilidad para viviendas de un piso, en x-x	124
Figura 87. Diagrama de daño asociado a un PGA para viviendas de un piso en x-x	125
Figura 88. Curvas de fragilidad para viviendas de un piso, en y-y	126
Figura 89. Diagrama de daño asociado a un PGA para viviendas de un piso en y-y	127
Figura 90. Curvas de fragilidad para viviendas de dos pisos, en x-x.....	128
Figura 91. Diagrama de daño asociado a un PGA para viviendas de dos pisos en x-x..	129
Figura 92. Curvas de fragilidad para viviendas de dos pisos, en y-y.....	130
Figura 93. Diagrama de daño asociado a un PGA para viviendas de dos pisos en y-y..	131

ABREVIATURAS Y SÍMBOLOS USADOS

A.H.	: Asentamiento Humano
ADRS	: Acceleration Displacement Response Spectrum
ATC	: Applied Technology Council
DDBD	: Direct displacement based design
DE	: Design Earthquake
E	: Módulo de elasticidad
e.g.	: Exempli gratia
ED	: Estado de daño
EE.UU.	: United States
ELDC	: Estado límite de daño controlado
ELO	: Estado límite operacional
ELR	: Estado límite de resistencia
ELS	: Estado límite de servicio
ELU	: Estado límite ultimo nominal
Et al.	: Et alii
f^b	: Resistencia a la compresión axial en unidades
f^c	: Resistencia a la compresión del concreto
f^m	: Resistencia a la compresión axial en pilas
FEMA	: Federal Emergency Management Agency
G	: Módulo de corte
g	: gravedad
GDL	: Grado de libertad
HAZUS	: Hazards U.S.
IGP	: Instituto geofísico del Perú
I_{max}	: Intensidad maxima
INEI	: Instituto Nacional de Estadísticas e Informática
K_e	: Rigidez efectiva
km	: Kilómetros
MDOF	: Multiple Degree of Freedom Systems
m_e	: Masa efectiva
ME	: Maximum earthquake
MEC	: Método de espectro de capacidad

ML	:	Magnitud Local
MM	:	Escala Mercalli modificada
MPD o DPM	:	Matriz de probabilidad de daños
MSK	:	Medvedev Sponheuer Kamik
Mw	:	Magnitud de Momento
PGA	:	Peak Ground Acceleration
PSI	:	Peak signal intensity
RDM	:	Residencial de Media Densidad
Sa	:	Acceleration spectra
Sd	:	Displacement spectra
DOF	:	Single Degree of Freedom Systems
SE	:	Earthquake service
U	:	Módulo de Poisson
V	:	Fuerza lateral o cortante basal
v'm	:	Resistencia al corte en muretes
Δd	:	Desplazamiento máximo

GLOSARIO

Acelerograma:

Un acelerograma es una representación temporal de la aceleración que experimenta el suelo en un determinado punto durante un terremoto.

Albañilería confinada:

Es una técnica de construcción que usa los muros como divisor de ambientes, además los muros están confinados por las columnas de confinamiento y vigas soleras.

Análisis estático lineal:

Es una técnica que permite conocer el comportamiento de una estructura en el rango elástico, con lo cual se calculan los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas.

Análisis estático no lineal:

Es una técnica que permite conocer el comportamiento de una estructura más allá del rango elástico, con lo cual se calcula la curva de capacidad de la estructura.

Análisis Pushover:

Es una metodología utilizada por el análisis estático no lineal, se basa en aplicar a una estructura un empuje incremental adaptativo, es decir una carga progresiva hasta que el elemento falle.

Cinturón Circumpacífico:

Es una zona de gran actividad sísmica, también es donde se ubican la mayor cantidad de zonas de subducción.

Columna ancha:

Es una técnica de representación de los muros de albañilería confinada, donde el elemento conserva las propiedades mecánicas y físicas del muro.

Columna de confinamiento:

Las columnas de confinamiento son usadas en sistema estructural de albañilería confinada, la función de estas es brindar estabilidad y resistencia a los muros de albañilería confinada.

Curva de capacidad:

Es aquella que plasma en un grafica la resistencia de un elemento ante una carga lateral. Esta curva de capacidad es generalmente construida en base al primer modo de vibración de la estructura.

Curva de capacidad global:

Es aquella que representa la resistencia ante una carga lateral de toda una estructura.

Curva de capacidad local

Es aquella que representa la resistencia de un elemento ante una carga lateral de un elemento en específico pudiendo ser viga, columna, placa, etc.

Curva de capacidad trilineal

La curva de capacidad es una unión de puntos consecutivos que representan la resistencia estructural en un determinado desplazamiento incremental. Con fines de análisis es difícil trabajar con todos los puntos de desarrollo de la curva de capacidad, por ello de la curva original se eligen tres puntos que la representen de una manera adecuada.

Curvas de fragilidad:

La curva de fragilidad es la representación gráfica de la función de distribución acumulada de la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño límite específico dada una respuesta estructural ante una acción sísmica.

Curva de capacidad sintética:

Con la finalidad de que las curvas de fragilidad tengan una base de datos amplia se crean curvas de capacidad sintéticas mediante la simulación de Montecarlo, estas curvas siguen la tendencia de la base de datos que se usa para crearlas.

Demanda sísmica o peligro sísmico:

Esta se puede obtener por medio de técnica probabilística o determinísticos. En general es la excitación que se usa para calcular el punto de desempeño de una estructura.

Deriva:

La deriva es la relación entre el desplazamiento lateral del entrepiso entre la altura del entrepiso.

Espectro de aceleración:

Es la representación de la excitación de un sismo durante un lapso de tiempo. Las unidades de este son la gravedad y segundos para la aceleración espectral (S_a) y tiempo (T), respectivamente.

Espectro de capacidad:

Es la representación de la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta. Las unidades de este son la gravedad y centímetros para aceleración espectral (S_a) y desplazamiento espectral (S_d), respectivamente.

Espectro de capacidad trilineal:

Es el espectro de capacidad real convertido a una curva con tres pendientes, esto con el fin de que los cálculos sean más sencillos.

Espectro de demanda:

Es la conversión del espectro de aceleración a un espectro que relacione la aceleración espectral (S_a) y desplazamiento espectral (S_d).

Espectro de desplazamiento:

Es la representación de la excitación de un sismo durante un lapso de tiempo. Las unidades de este son en metro y segundos para el desplazamiento espectral (S_a) y tiempo (T), respectivamente.

Estados de daño:

Los estados de daño representan como se daña una estructura frente a una excitación. Estos estados son determinados según los intereses del usuario.

Fragilidad estructural:

Es la probabilidad de ocurrencia de cada estado de daño para un PGA específico.

Histéresis:

Capacidad de deformación del muro de albañilería

Matriz de probabilidad de daño:

Expresa de forma discreta la posibilidad que tiene un sistema estructural específico de sufrir un daño debido a un sismo determinado.

Periodo de retorno:

Es una representación usada comúnmente para presentar un estimativo de la probabilidad de ocurrencia de un evento determinado en un periodo determinado.

Rebote elástico:

Es la liberación de energía de tensión por el movimiento abrupto de una falla con un terremoto resultante.

Rótula:

La rótula es usada para el análisis no lineal. Esta rótula relaciona el desplazamiento que tendrá un elemento frente a una fuerza, además contiene información de cuando el elemento pasara de un estado de daño a otro.

Simulación de Montecarlo:

La técnica de la simulación de Montecarlo se basa en simular la realidad a través del estudio de una muestra. Es de gran utilidad en los casos que no es viable obtener información sobre la realidad a analizar debido a la complejidad y/o costo.

Truncamiento:

Es usado en simulaciones de la realidad. Es decir, al crear a partir de una base de datos una población sintética que simule la realidad pueden crearse datos físicamente imposibles, es por ello que se truncan los datos para que esto no suceda.

Umbral o límites de daño:

Es el dato donde una estructura pasa de un daño a otro.

Vigas de amarre:

Es un elemento de construcción utilizado para que dos elementos estructurales estén unidos y trabajen conjuntamente frente a cargas laterales.

Vigas soleras

Es un elemento de confinamiento del muro de albañilería, su función es confinar el muro con la losa.

RESUMEN

En nuestro país ocurrió un fenómeno de inmigración en la década de 1950 desde el interior del país hacia Lima. Debido a esto se produjo un periodo de escases de viviendas. Al estar ubicada Lima en la costa peruana la ocurrencia de un sismo de gran intensidad es inevitable. Este es uno de los motivos por los que se realiza esta investigación, con el objetivo de estimar el daño sísmico en viviendas de albañilería confinada mediante curvas de fragilidad para viviendas de 01 y 02 pisos. Para llevar a cabo esta investigación, primero se ha definido la población de estudio de acuerdo a criterios de selección. El A.H. Los Sauces cumple con los criterios de selección. Luego se ha recurrido a un plan de sensibilización, con el fin de que los pobladores tengan conocimiento del trabajo que se realiza y así poder tener medidas precisas de las estructuras. Se caracteriza las edificaciones de Ñaña mediante una ficha de encuesta validada. Posteriormente mediante un muestreo aleatorio estratificado con afijación proporcional se obtuvo seis tipologías de viviendas de albañilería confinada: tres de un piso y tres de dos pisos. Se realizó un análisis estático no lineal basado en el desplazamiento a estas viviendas. El modelo se realizó mediante un software de cálculo comercial. Los muros se representaron mediante un modelo de columna ancha. A cada columna ancha se le asigna una rótula, a cada rótula se le asigna una curva de capacidad, en caso de muros con aberturas se aplica un factor de reducción de resistencia al corte. Luego se obtiene la curva de capacidad global, Mediante simulación Montecarlo se crean curvas de capacidad sintéticas. El desempeño se evalúa para diferentes niveles de demanda sísmica, para estos niveles se asociaron estados de daño estructurales. La demanda sísmica está compuesta por registros de movimiento del suelo con magnitudes de momento entre 5 y 9, en total son 232 sismo. Para cada nivel de demanda sísmica y curva de capacidad sintética, se obtiene la probabilidad acumulada de daño en función de la aceleración del suelo. Con esta probabilidad acumulada y los estados límites de daños estructurales, se obtienen las curvas de fragilidad. Mediante curvas de fragilidad se representa la probabilidad de que la respuesta de las estructuras exceda un determinado estado límite. Se concluye que las viviendas de un piso en su dirección más débil presentarían ante un sismo moderado una probabilidad del 28% de sufrir un colapso. Además, las viviendas de dos pisos en su dirección más débil presentarían ante un sismo moderado una probabilidad del 87% de sufrir un colapso. Por tanto, de producirse un terremoto con un PGA similar o mayor las pérdidas son eminentes.

Palabras clave: Columna ancha, estados de daño, curva de capacidad, espectro de demanda y curvas de fragilidad

ABSTRACT

In our country an immigration phenomenon occurred in the 1950s from the inland of the country to Lima. Due to this, there was a period of housing shortages. Since Lima is located on the Peruvian coast, the occurrence of an earthquake of great intensity is unavoidable. It is one of the reasons why this research is carried out in order to estimate the seismic damage in confined masonry dwellings by fragility curves for houses of 01 and 02 floors. To carry out this research, first it was defined the study population according to selection criteria. The human settlement of “Los Sauces” met the selection criteria. Then, an awareness plan has been used, so that the inhabitants have knowledge of the work that is being done, and that way be able to have accurate measures of the structures. The Ñaña buildings were characterized by a validated survey form. Afterwards, by means of a stratified random sampling with proportional affixation, six types of confined masonry dwellings were obtained: three with one floor and three with two floors. A nonlinear static analysis based on the displacement of these houses was conducted. The model was made using a commercial calculation software. The walls were represented by a wide column model. Each wide column is assigned a spindle; each spindle is assigned a capacity curve. In the case of walls with apertures, a factor of reduction of cut resistance is applied. Then, the global capacity curve is obtained. By means of Montecarlo simulation, synthetic capacity curves are created. The performance is evaluated for different levels of seismic demand, for these levels structural damage states were associated. The seismic demand is composed of records of soil movement with magnitudes of moment between 5 and 9, in total there were 232 earthquakes. For each level of seismic demand and synthetic capacity curve, the cumulative probability of damage is obtained as a function of soil acceleration. So, with this cumulative probability and the limit states of the structural damage, fragility curves are obtained. Through fragility curves it is represented the probability that the response of the structures exceeds a certain limit state. It is concluded that the houses of one floor, in its weakest direction, would present a 28% probability of collapse facing a moderate earthquake. In addition, houses of two floors, in their weakest direction, would present an 87% chance of collapse facing a moderate earthquake. Therefore, if an earthquake occurs with a similar or greater PGA, the losses will be significant.

Keywords: wide wall, states of damage, capacity curve, demand spectrum, fragility curves.

Capítulo I. El problema

1.1. Identificación del problema

Durante la década de 1950 comenzó un fenómeno de inmigración desde el interior del país hacia Lima. La población inmigrante se concentró en los alrededores de la ciudad de Lima, esto trajo como consecuencia un crecimiento poblacional desmesurado. Esta inmigración hacia Lima se corrobora con los censos realizados por el Instituto Nacional de Estadísticas e Informática (INEI, 2015).

Según el instituto nacional de Estadísticas se tienen los siguientes datos: en 1940 el Perú tenía 6'450,000 de habitantes, mayoritariamente distribuidos en las zonas rurales. Entre 1940 y 1981 su población se triplicó, y en 1990 sobrepasó los 22'000,00. Pero, además, esta población es ahora eminentemente urbana. De acuerdo a los resultados censales de 1981 más del 65% de su población habitaba áreas definidas como urbanas, a consecuencia principalmente de la migración rural-urbana. En los últimos años la tasa de crecimiento promedio anual de la población pasó de 2.7 a 2.0, en el periodo 1981-1993 y 1993-2007 respectivamente (INEI, 2015).

Asimismo, para el año 1940 los migrantes peruanos eran solo 439,662 personas (6.8% de la población nacional). El 50.4% de estos migrantes se dirigió a la capital, el 34.9% a otros lugares de la costa y el resto a otros lugares de la sierra y la selva. Hacia 1961 el Perú tenía 9'833,800 habitantes, la migración se había incrementado a 1'237,000 personas (13% de la población nacional). El 64.6% de estos migrantes se dirigió a la capital, el 20.7% a otros lugares de la costa y el resto a otros lugares de la sierra y selva. Hacia 1981 el Perú tenía 16'835,000 habitantes, la migración disminuyó a 1'111,110 (6.6% de la población nacional).

En 1940, de las 11,537 viviendas limeñas censadas, el 84% se hallaban alquiladas. Hacia 1961, de las 228,254 viviendas limeñas censadas, el 69.1% se hallaban alquiladas. Y para 1972, de las 792,185 viviendas limeñas censada, el 39.1%. Las reducciones en las tasas de alquiler y el aumento del número de viviendas se deben fundamentalmente a la formación de nuevas urbanizaciones asociativas que los sectores populares, especialmente migrantes, crean y organizan. Al mismo tiempo que las barriadas también aumentaron el número de viviendas. De 15,000 en la década de 1950, a 60,000 en la década de 1960, luego a 161,000 en la década de 1970. Hacia 1981 eran 243,411 viviendas, y en 1986 eran 256,577 viviendas (Matos, 1991). En la Figura 1 se muestra un resumen de la población censada en Lima.

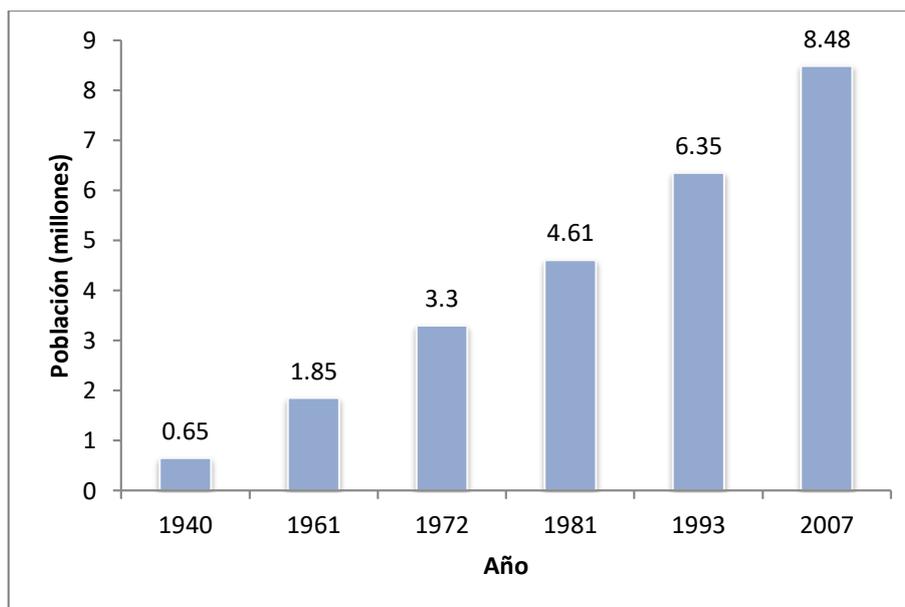


Figura 1. Población censada de Lima
(INEI 1940, 1961, 1972, 1981, 1993 Y 2007)

El crecimiento poblacional trajo consigo un déficit de vivienda, este déficit fue satisfecho mediante la construcción de viviendas de albañilería confinada por su fácil proceso constructivo, bajo costo y el uso de tabiques como muros portantes. Las viviendas que se construían eran en su mayoría de 1 a 2 pisos, en la actualidad aún se construyen viviendas de este tipo. El problema de estas viviendas radica en la informalidad que presentan durante su construcción por parte del propietario y del ente supervisor. Los propietarios prescinden de asesoramiento profesional debido a que no poseen la solvencia económica necesaria, por otro lado, el ente supervisor no regula los estándares mínimos de calidad en estas construcciones. Es así, que los propietarios contratan a persona técnico con experiencia empírica, comúnmente llamados maestros de obra. La calidad estructural de las viviendas que construyen los maestros no es de toda mala pues ellos cuentan con cierta preparación técnica. Sin embargo, existen ciertas deficiencias que podrían comprometen el buen comportamiento estructural de las edificaciones. Se ha verificado que las viviendas informales presentan ciertas deficiencias como inadecuada estructuración, estructuras débiles, falta de junta sísmica, confinamiento deficiente, etc. Estas deficiencias hacen que la vivienda se encuentre más susceptible a sufrir daños debido a sismos, pudiendo llegar al colapso.

Por otro lado, los sismos son recurrentes en la costa peruana porque está ubicado frente a la zona de subducción de la placa continental Sudamericana por encima de la placa Oceánica de Nazca. Esta zona se encuentra en el cinturón de fuego, llamado también Circumpacífico (Figura 2). El cinturón Circumpacífico es la zona en la que se tiene registrados los terremotos más intensos y la mayor cantidad de estos. En esta zona ocurre el 80% de los

sismos del mundo. Muchos de estos sismos han generado grandes pérdidas de vidas humanas y económicas. A nivel internacional uno de los terremotos más devastadores de los últimos años es el de Chile ocurrido el 27 de febrero de 2010, este fue de Magnitud de Momento (Mw) 8.8 tuvo como consecuencia 525 fallecidos, 500 mil viviendas sufrieron graves daños y cerca de 2 millones de damnificados. De igual manera, el Perú ha sido escenario de terremotos importantes a lo largo de su historia. Según el Instituto Geofísico del Perú (IGP) el terremoto de Pisco ocurrido el 15 de agosto de 2007 de 8.0 Mw, tuvo como consecuencia 595 muertos, 76 mil viviendas totalmente destruidas y 431 mil damnificados.

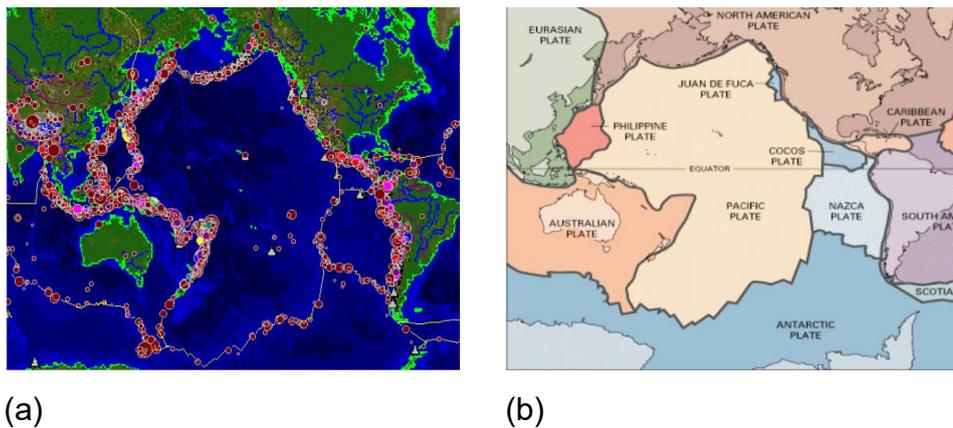


Figura 2. (a) Cinturón circumpacífico (b) Placas tectónicas
(Tarr, Villaseñor, Furlong, Rhea, y Benz, 2010)

Por lo expuesto, el Asentamiento Humano (A.H.) Los Sauces al estar ubicado en Lima tiene los mismos problemas: viviendas informales y zona de sismos intensos. Por esta razón se busca responder la pregunta ¿Cuál es el daño probable que pueden sufrir las viviendas de albañilería de 01 y 02 pisos ubicadas en el A.H. Los Sauces?

1.2. Objetivos de la investigación

1.2.1. Objetivo general

Se busca estimar el daño sísmico en viviendas de albañilería confinada mediante curvas de fragilidad para viviendas 01 y 02 pisos, utilizando la técnica de columna ancha y simulación Montecarlo.

1.2.2. Objetivo específico

- a. Caracterizar las edificaciones construidas en el A.H. Los Sauces.

- b. Calcular la demanda sísmica para estructuras de albañilería confinada en la zona de estudio.
- c. Determinar el desempeño estructural de las viviendas de albañilería confinada, utilizando la técnica de columna ancha.
- d. Elaborar las curvas de fragilidad de las viviendas de albañilería confinada, utilizando la simulación Montecarlo.

1.3. Hipótesis

1.3.1. Hipótesis general

La fragilidad estructural más alta se encuentra en las edificaciones autoconstruidas, al ser el A.H. Los Sauces una zona suburbana se espera que el nivel del estado de daño sísmico de las edificaciones existentes, se encuentre entre “medio” y “alto”.

1.3.2. Hipótesis específica

En el área estudiada, las viviendas de estructura de albañilería confinada podrían ser 7 de cada 10. Debido a que esta es una tendencia en la periferia de Lima, que es donde se ubica el A.H. Los Sauces.

Las viviendas de Lima son probables de sufrir un terremoto que podría oscilar entre 7 y 8 grados en la escala de Magnitud Local (ML), estos sismos son los más concurrentes en producir pérdidas económicas y humana.

Evaluando la estructura ante una serie de sismos recopilados se espera que los daños se extenúan hasta un nivel previo al colapso, de manera que post-sismo la vivienda tenga que ser demolida.

1.4. Justificación

La única manera de reducir los posibles daños debido a sismos es mediante la preparación e implementación de programas de contingencia y mitigación de riesgo sísmico. Estos programas carecen de sentido si no se elaboran en función de la cantidad de pérdidas esperadas. Problema que es resuelto a través de la elaboración de curvas de fragilidad que conducen a la estimación de pérdidas, como el planteado en este documento. Por otro lado, el estudio de la fragilidad estructural sísmica permite la creación de herramientas de gestión

como mapas de pérdidas económicas, humanas, etc. Estas herramientas permiten enfocar los esfuerzos de mitigación de riesgo en las zonas de mayor riesgo estructural sísmico.

Existen diversas herramientas para reducir la fragilidad estructural sísmica y sus consecuencias como la alerta sísmica temprana, simulacros, planes de mitigación de riesgo sísmico, etc. Perú no cuenta con casi ninguna de estas herramientas y tiene un alto índice de construcción informal y está en una zona sísmica. Bajo este panorama los planes de mitigación son la opción más viable en Perú, con este se puede saber los daños que causara un sismo. No se tiene una sólida base de datos de los daños que podrían ocurrir, debido a que no se tiene registros de los daños que podría ocasionar un sismo. Por esta razón se busca formar parte de una planificación pre-sismo y post-sismo. Mediante una planificación pre-sismo se lograría reducir la construcción informal y reforzar las viviendas ya construidas. Con una planificación post-sismo se sabría qué lugares fueron más dañados y requieren mayor apoyo.

Las investigaciones con un enfoque de mitigación de desastres son importantes, aun mayor lo son los de enfoque de mitigación de desastres sísmicos para el Perú. “Ya que en definitiva los terremotos de gran intensidad volverán a afectar las ciudades costeras” (Kuroiwa, 2002). Se sabe que en Lima existe un silencio sísmico de 272 años, al transcurrir el tiempo es más probable que la energía acumulada se libere en un gran sismo. Se estima que en Lima es probable que suceda un terremoto de intensidad similar al de 1746 en un periodo de retorno de 305 ± 40 años, que fue de 8.8 Mw (Villegas-Lanza, et al., 2017).

La investigación posee un aporte importante a la reducción de riesgo sísmico, se ha logrado un plan de sensibilización el cual consiste en realizar dos charlas en las cuales se busca que la población tenga una idea de porque es importante construir formalmente y se interesa por conocer el estado estructural de sus viviendas.

Además, esta investigación es relevante para los propietarios porque se establecerá que daños pueden sufrir las viviendas frente a un sismo. Con esta información podrán conocer si sus viviendas requieren de reforzamiento o no. Además, sienta las bases para que estudios futuros planteen programas de reforzamiento.

De no realizar la investigación se tendrán tres consecuencias: primero la población del A.H. Los Sauces no reducirá las construcciones informales, segundo se contará con menor información y por último los habitantes de las viviendas seguirán expuestos al riesgo sísmico.

Capítulo II. Revisión de la literatura

2.1. Revisión de la literatura

2.1.1. Literatura nacional

Acero, Colque y Oquendo (2017) en su tesis denominada “Elaboración de Curvas de Fragilidad y Consecuencia de Muros de Albañilería Confinada Construidos con Blocker II” busca contribuir con información para futuros estudios de vulnerabilidad sísmica en muros de albañilería confinada con ladrillos Blocker II; para ello, han elaborado curvas de fragilidad y curvas de consecuencia en muros de albañilería confinada de 13 cm de espesor según la librería del PACT del FEMA P- 58. Para llevar a cabo este estudio recopilaron información de 05 ensayos experimentales realizados en el laboratorio de la Universidad Nacional de Ingeniería (CISMID-UNI). Concluye que las curvas de fragilidad y curvas de consecuencia son una herramienta muy útil, ya que nos permiten estimar la probabilidad de daño que ocasionaría un sismo y pueden emplearse para determinar las pérdidas económicas, costos y tiempo de reposición.

Eyzaguirre, Acero, y Cotrado (2017) en su tesis denominada “Elaboración de Curvas de Fragilidad de Muros de Ductilidad Limitada de 10 cm de Espesor, Basados en Ensayos Experimentales, Período 2011-2015” busca contribuir con información para posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica en edificios de muros de ductilidad limitada (EMDL). Para llevar a cabo este estudio fue necesario recopilar información de 20 ensayos experimentales realizados en el laboratorio de estructuras del CISMID-UNI. Concluye que las curvas de fragilidad desarrollada en este proyecto son una herramienta muy útil para posteriores estudios de evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificios de muros de ductilidad limitada de 10 cm de espesor.

Oliva (2017) en su tesis denominada “Curvas de Capacidad y Fragilidad Estructural de Tipologías Comúnmente Usadas en el Salvador” busca definir los parámetros para establecer las curvas de capacidad y fragilidad de tipologías estructurales comúnmente usadas en El Salvador, a partir de la información recolectada en la ciudad de Santa Tecla. Para ello determino la tipología estructural, luego definió los valores medios que servirían para definir la curva de fragilidad. Concluye que los edificios de un nivel presentan un comportamiento aceptable a la vulnerabilidad, sin embargo, en los edificios de dos niveles se verifica una alta vulnerabilidad de los edificios de hormigón armado.

Lovon (2017) en su tesis denominada “Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada en Lima” busca contribuir en la reducción del riesgo sísmico. Con este fin desarrollo funciones de fragilidad y de vulnerabilidad para edificios informales de albañilería confinada de Lima. Debido a que la población de Lima es grande, trabajo con una muestra limitada. Los resultados indican que se espera alrededor de 4% y 51% de probabilidad de colapso para un PGA de 0.45g. A pesar que no se tiene registros de los daños que podría ocasionar un sismo, esta investigación busca desarrollar escenarios sísmicos a escala urbana.

Mosqueira y Tarque (2005) en su tesis denominada “Recomendaciones técnicas para mejorar la seguridad sísmica de viviendas de albañilería confinada de la costa peruana” contribuye a la reducción del riesgo sísmico. Para este fin, hicieron recolección insitu de proceso constructivo, fallas comunes, etc. Para tener una muestra diversa de la costa peruana se obtuvieron muestra de las ciudades de Chiclayo, Trujillo, Lima, Ica y Mollendo, las muestras sumaron 270 viviendas. El proceso de levantamiento de información estuvo acompañado de recomendaciones posibles sobre una buena construcción, así apoyando en la reducción de viviendas vulnerables. Con los datos obtenidos elaboraron una cartilla que plantea una metodología práctica para la construcción y mantenimiento de viviendas. Así mismo la investigación brinda datos para saber la situación de las viviendas construidas informalmente.

Silvia (2003), en su tesis denominada “Vulnerabilidad sísmica del distrito de La Molina” contribuye a la elaboración de un plan de mitigación de riesgo sísmica. La investigación fue realizada en base la necesidad de la Municipalidad de la Molina. El procedimiento lo divide en dos: primero un análisis preliminar de vulnerabilidad sísmica sin considerar las contribuciones del suelo y segundo un análisis de la respuesta sísmica en viviendas a partir de modelos elasto-plásticos considerando las condiciones del suelo. En la molina había 186 edificaciones esenciales, escogieron 19 edificaciones para analizarlas. Obtuvieron que para un sismo similar del año 1974, con 475 años de periodo de retorno, se debiera construir como máximo viviendas de tres pisos. La investigación menciona que para las viviendas en la zona con factor de amplificación sísmico de 4.

Flores (2014) en su tesis denominada “Diagnostico preliminar de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones en Lima” da a conocer el estado actual de la estructuras de autoconstrucción para ese entonces. Mediante fichas de encuesta llegó a saber que problemas presentan las construcciones. Los problemas con respecto a proceso constructivo son de eflorescencia en muros, corrosión de acero, grandes juntas de mortero y entre otros.

Con respecto a la ubicación son de suelo no consolidado, construcción en rellenos y quebradas. Con esta información y bajo los criterios de la Norma Técnica del Perú, calculo la vulnerabilidad haciendo uso de métodos empíricos. En síntesis, se dio a saber a la población e investigadores que la ciudad de lima tiene un grave problema de construcción informal, que podrían afectar adversamente su desempeño sísmico.

2.1.2. Literatura internacional

Roman y Astroza (2009), en su artículo denominado “Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de albañilería de bloques de hormigón construidas en el norte de Chile” realiza un análisis de daños de viviendas de albañilería basándose en el índice vulnerabilidad de densidad de muros por unidad de piso propuesto por Meli (1991). El procedimiento lo realizo para cada dirección de la planta de edificio, se identifica el nivel de daño probable de acuerdo a la densidad de muros por unidad de piso. Esta metodología es una herramienta de evaluación de bajo costo, sencilla y de resultados confiables. El investigador menciona que se debe evitar construir viviendas de más de 2 pisos sin asesoría profesional.

Lantada (2007), en su tesis denominada “Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona” realizo mapas de riesgo sísmico de la ciudad de Barcelona, así apoyando a la prevención de desastres. La metodología se basó en métodos avanzados de riesgo sísmico (curvas de fragilidad, matrices de daño y índices de vulnerabilidad). La aplicación fue para viviendas de mampostería y hormigón armado. Como conclusiones, obtuvo que para viviendas del mismo número de pisos, las viviendas de mampostería sufrían más daños que las edificaciones de hormigón armado. Así mismo que las edificaciones de niveles bajos sufren menos daños que las de gran altura.

2.2. Fundamentos de sismología

Entre los descubrimientos de la sismología se tiene la tectónica de placas. “La tectónica de placas esta estudia el movimiento de las placas de la tierra que es producida por fuerzas originadas en el interior” (Bolaños y Monroy, 2004). Para realizar un análisis de vulnerabilidad es importante recordar la tectónica de placas, ya que es una variable importante para el presente estudio. Se sabe que el en cinturón de fuego del pacífico (o anillo de fuego del pacífico), también conocido como cinturón Circumpacífico, suceden la mayor cantidad de sismo del mundo (Figura 2). Los sismos ocurridos en los últimos años dan a conocer el peligro sísmico al que están expuestos los países ubicados en el cinturón

Circumpacífico. Como ejemplo de terremotos se tiene el de 8.8 Mw del 27 de Febrero de 2010 en Chile (Vargas, et al., 2011) y el terremoto de 9.0 Mw del 11 de marzo de 2011 en Japón (The University of Tokio, 2011).

Según Santana (2012) “El Perú está ubicado dentro del cinturón de fuego, (...). La costa peruana esta próxima a la zona de subducción de la Placa Continental Sudamericana por encima de la Placa Oceánica de Nazca”. El contacto de estas dos placas acumula energía por fricción. La fricción entre placas genera acumulación de energía, lo cual produce que las rocas se deformen. El sismo ocurre en el momento que la roca deformada vuelve a su forma original, a esta acción se le denomina rebote elástico (Scholz, 1972). La ruptura comienza en puntos específicos, al finalizar se denota un plano de falla. Esta energía se propaga por el medio a través de ondas.

El sismo se puede cuantificar en función de diversos parámetros. Los parámetros más utilizados son tres: intensidad sísmica, magnitud sísmica y energía sísmica. Ya que varias de estas medidas son comúnmente usadas en sismología e ingeniería sísmica, las características distintivas de cada uno deberían ser entendidas. Kramer (1996) menciona. “La intensidad sísmica es la violencia con que se siente un sismo en la zona afectada. La magnitud es la medición cuantitativa de la energía liberada en un sismo. La energía es la suma de energía liberada en forma térmica”.

Es muy poco lo que se ha podido observar directamente de la estructura interna de la Tierra; los cañones más profundos muestran apenas unos cuantos cientos de metros de las rocas más superficiales, y las perforaciones más profundas llevadas a cabo hasta la fecha no han alcanzado a penetrar y muestrear más que unos cuantos kilómetros.

Sin embargo ha sido posible obtener bastantes datos acerca del interior de nuestro planeta a partir de estudios geofísicos. la sismología o seismología (del griego seísmos = sismo y logos= estudio) es una rama de la geofísica que se encarga del estudio de terremotos y la propagación de las ondas mecánicas (sísmicas) que se generan en el interior y la superficie de la Tierra. Estudia el fenómeno de los temblores que ocurren en nuestro planeta Tierra.

Las vibraciones de la tierra, conocidos como sismos y terremotos, pueden ser causadas por varios fenómenos. Los fenómenos más comunes son: la actividad volcánica, explosiones, desplazamiento de placas. Este último fenómeno de origen tectónico es el que provoca los sismos de mayor intensidad desde el punto de vista de la ingeniería.

2.2.1. Estructura de la Tierra

La estructura de la tierra está compuesta por capas, denominadas geósferas. Se explica las tres principales:

2.2.1.1. Corteza

El espesor de la corteza ronda desde 5 km a 70 km en el fondo oceánico y en las zonas montañosas, respectivamente. Esta capa es la más fina, irregular y menos densa. Se debe tener en cuenta que existen dos tipos de corteza: oceánica y continental. La primera se caracteriza por cubrir el 75% de la superficie del planeta, es más delgada y está ubicada debajo del océano. La segunda se caracteriza por no ser homogénea, tener un espesor mayor y ser menos denso.

2.2.1.2. Manto

El espesor del manto ronda los 2900 km de espesor. Esta capa es roca sólida y caliente, asimismo es la más gruesa de la Tierra. Se encuentra en estado sólido, aunque tiene cierta plasticidad. Su composición se basa en hierro, magnesio y silicio. El manto se subdivide en dos. Kramer (1996) menciona “el Manto superior en la que se producen terremotos y el Manto inferior, más denso debido a un cambio en la estructura de los silicatos”

2.2.1.3. Núcleo:

El radio del núcleo rodea los 3500 km. Esta capa está compuesta básicamente por hierro, níquel y azufre.

2.2.2. Ondas sísmicas

Las Ondas Sísmicas son las vibraciones emitidas tras un movimiento sísmico (terremoto). Se transmiten por todo el interior de la Tierra. La energía de un terremoto, explosión u otra fuente sísmica se mueve a través de la tierra como un frente de onda que se extiende en todas direcciones. Los dos tipos principales son las ondas internas o de cuerpo y las ondas superficiales (Figura 3).

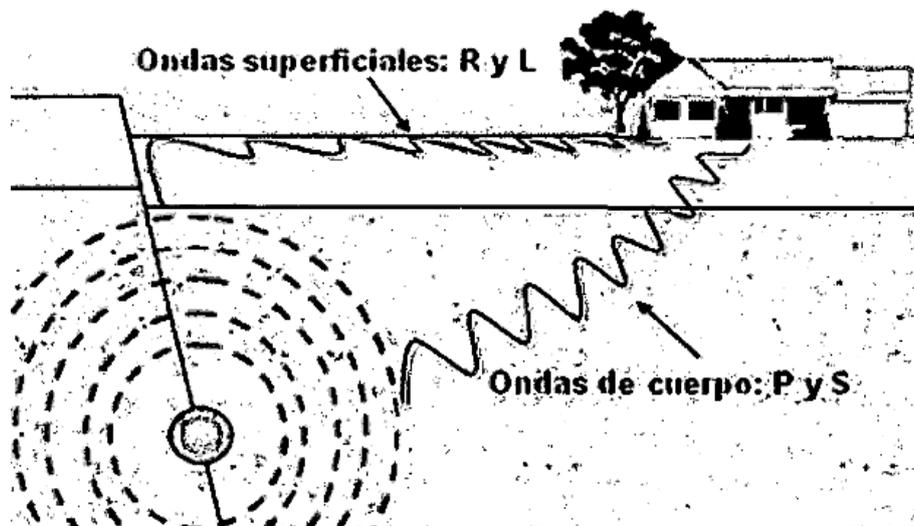


Figura 3. Recorrido de las ondas de cuerpo y superficiales
(Bolaños y Monroy, 2004)

2.2.3. Sismos

Hoy en día se puede explicar los sismos y la mayor parte de sus propiedades en términos de teoría físicas, es por ello que debe esperarse sismos a causa del constante reajuste geológico. de nuestro planeta. El origen de los sismos está vinculado con los fenómenos terrestres, que originan tremendas fuerzas que levantan montañas y profundizan las fosas marinas, dichos fenómenos están vinculados a la Tectónica de Placas.

Un sismo es un fenómeno que se produce por el rompimiento repentino en la cubierta rígida del planeta llamada Corteza Terrestre. Como consecuencia se producen vibraciones que se propagan en todas direcciones y que percibimos como una sacudida o un balanceo con duración e intensidad variables.

2.2.4. Placa tectónica

La capa superior de la tierra no es una capa compacta, más bien está dividida por bloques denominados placas tectónicas. Debido a la rotación del planeta y el calor que yace dentro, las placas están en constante movimiento. El movimiento es imperceptible para el humano. Sin embargo cuando se da el rebote elástico se da un gran movimiento que causa daños. Este rebote elástico se caracteriza por darse en el área en contacto de las placas.

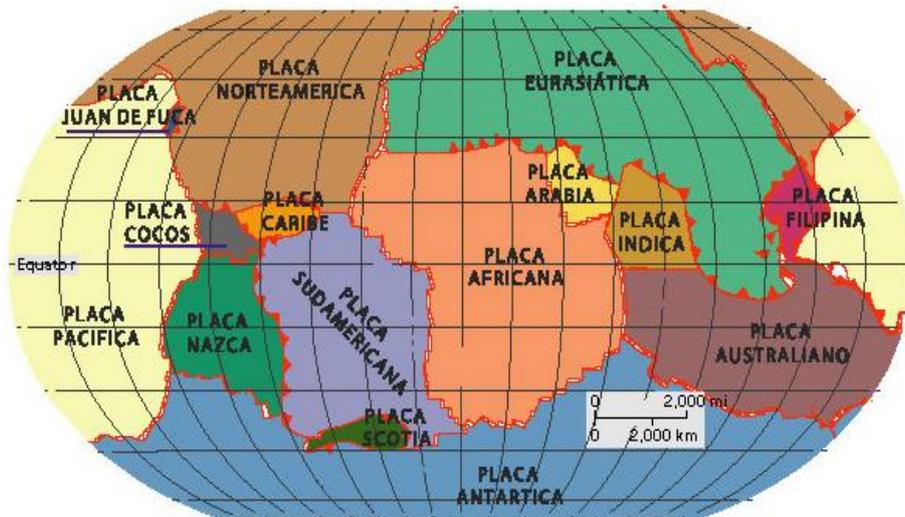


Figura 4. Mapa de placas
(Gómez, 2018)

Debido a la extensión de la placa se clasifican en principales y secundarias. Las placas principales tienen el nombre igual al continente que ocupan: Placa Norteamericana, la Placa Africana, la Placa Antártica o la Placa Sudamericana. Gómez (2018) menciona que “las placas secundarias son más pequeñas, pero no menos importantes en cuanto a su influencia sobre la estructura del planeta” (Figura 4).

Según Gómez (2018) “las placas conforman la litosfera, la capa superficial de la Tierra, incluye la corteza y la parte superior del manto, (...) las corrientes de las rocas más blandas que tienen debajo las impulsan como si se tratara de una cinta transportadora en mal estado”.

2.2.5. Cinturón de fuego del pacífico

El cinturón de Fuego del Pacífico o Anillo de Fuego del Pacífico, también conocido como cinturón Circumpacífico es la zona que suceden la mayor cantidad de sismos (Figura 5). Bolaños y Monroy (2004) mencionan que “está situado en las costas del océano Pacífico y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca”.

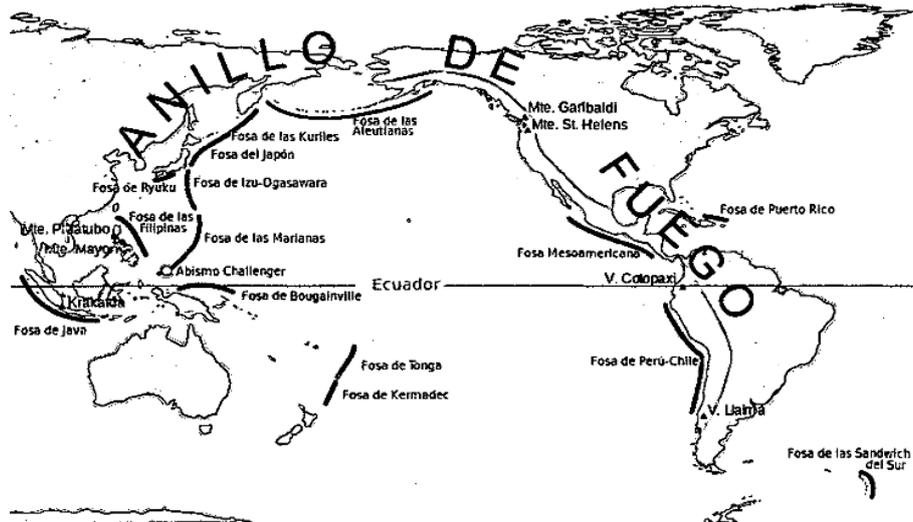


Figura 5. Cinturón o anillo de fuego del pacífico
(Bolaños y Monroy, 2004)

2.3. Distribución de los sismos sobre la tierra

La mayor cantidad de sismos suele tener como hipocentro las zonas de subducción. La mayor zona continua de subducción es conocida como Cinturón de Fuego del Pacífico, esta zona abarca las costas de: Sudamérica, Alaska en Norteamérica, Japón y el sur de Nueva Zelanda. La relación de terremotos de esta zona con respecto al mundo, es del 85%.

2.3.1. Sismicidad en el Perú

Tavera y Buforn (1998) afirman “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 de Nazca (oceánica) bajo la Placa Sudamericana (continental)”. Esta subducción genera sismos de magnitud importante.

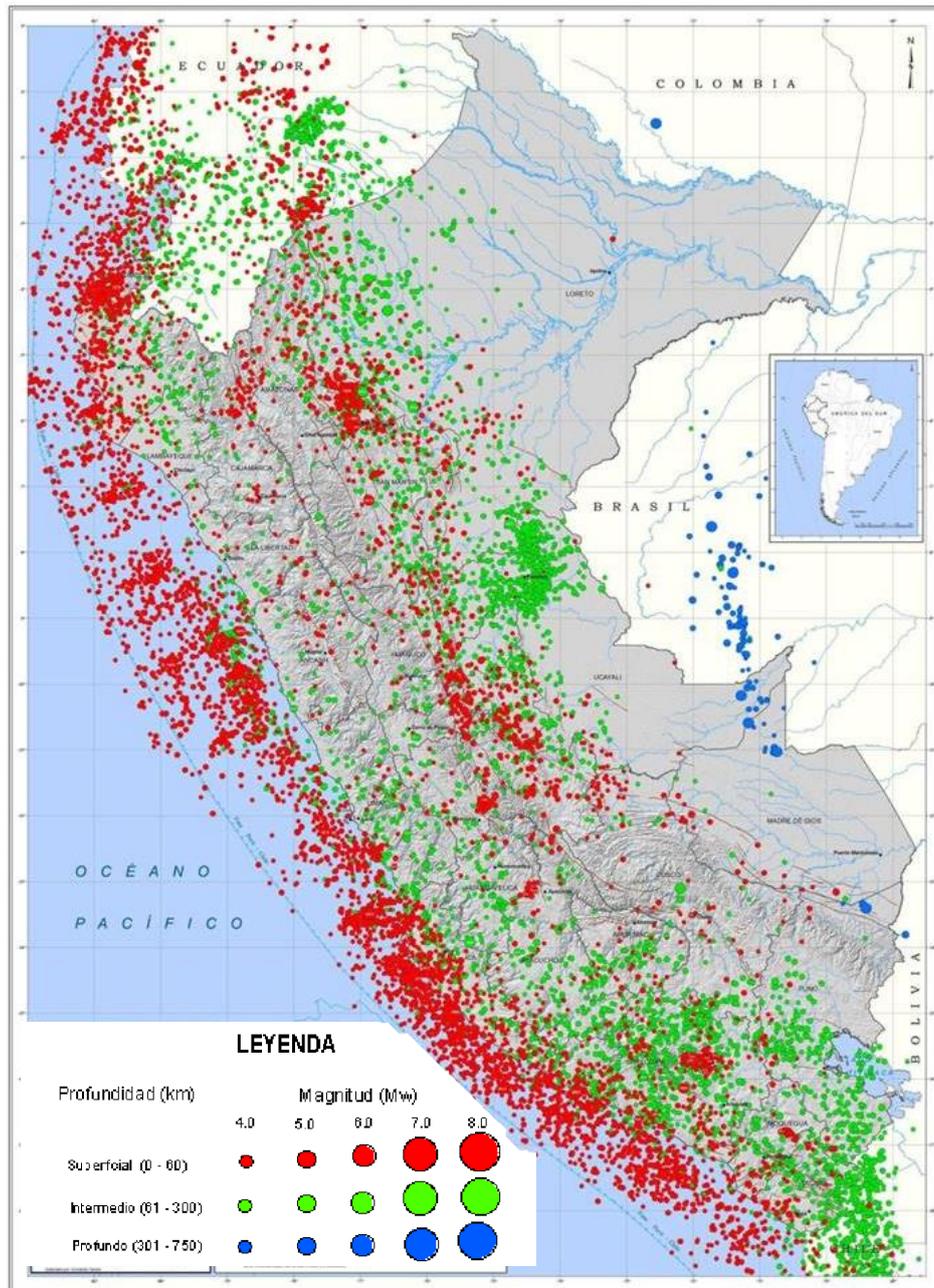


Figura 6. Mapa sísmico de Perú del periodo 1960 al 2016
(Instituto Geofísico del Perú, 2018)

En la Figura 6 se muestra el mapa sísmico del Perú publicado por el Instituto Geofísico del Perú para el periodo 1960 al 2011.

2.4. Bases teóricas de la vulnerabilidad sísmica

2.4.1. Riesgo sísmico

Landata (2007) menciona "Riesgo en el sentido estricto es el grado de pérdidas esperadas en un determinado elemento debidas a un fenómeno natural específico de una

magnitud particular y en un período de exposición determinado”. El riesgo sísmico suele expresarse en función de la peligrosidad y la vulnerabilidad del elemento expuesto, según se muestra en la Ecuación 1.

$$Riesgo = Peligro \times Vulnerabilidad \dots\dots\dots Ecuación 1$$

Ingeniería y sociedad UC (2013) menciona “los estudios de vulnerabilidad sísmica constituyen, conjuntamente con los estudios de amenaza o peligrosidad, uno de los factores determinantes del riesgo sísmico específico, el cual representa la probabilidad total de que una estructura sufra varios niveles de daño durante un periodo específico de tiempo”. Por otro lado en la Ecuación 2 se tiene en cuenta las pérdidas de vidas y alteraciones de la economía el riesgo sísmico (Landata, 2007).

$$Riesgo = Peligro \times Vulnerabilidad \times Costo \dots\dots\dots Ecuación 2$$

La finalidad de esta investigación no es estimar las pérdidas de vidas humanas, heridos y repercusiones económicas que generaría un movimiento sísmico, este trabajo se limita a estimar el nivel de riesgo sísmico considerando solo las propiedades intrínsecas de cada vivienda de albañilería confinada.

2.4.2. Peligro sísmico

El peligro sísmico, también llamado amenaza sísmica o demanda sísmica, de interés es el inducido por la naturaleza de las placas tectónicas. Existe dos formas de obtener la demanda sísmica: análisis determinístico y análisis probabilístico. El análisis determinístico selecciona el sismo más importante registrado en la localidad. Mientras que el análisis probabilístico recolecta todas las características en un periodo de tiempo de los sismos ocurridos en la localidad, para luego mediante métodos probabilísticos calcular la ocurrencia de un terremoto. Bolaños y Monroy (2004) mencionan “El análisis probabilístico es una mejor herramienta para un análisis de vulnerabilidad sísmica”. En la Figura 7 se observan los espectros determinísticos y el probabilístico. Los espectros determinísticos son de color verde, el cual viene de una recopilación de sismos importantes sucedidos en la localidad. Por otro lado, el espectro probabilístico es de color negro.

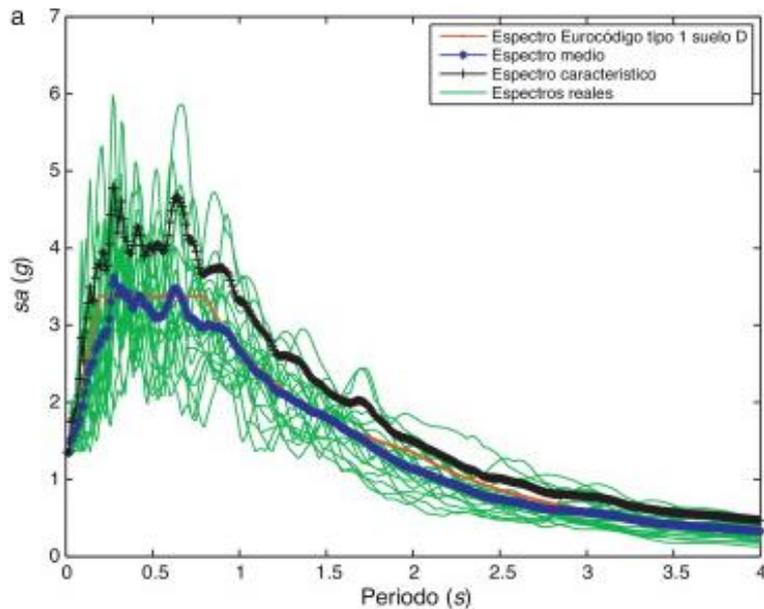


Figura 7. Comparación del espectro de demanda por el método probabilístico y determinístico
(Vargas, Pujades, Barbat y Hurtado, 2013)

Por otro lado Bommer, Salazar, y Samayoa (como se citó en Mosqueira y Tarque, 2005) mencionan que “el peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de movimiento sísmicos de cierta intensidad en una zona determinada durante un tiempo definido”.

El peligro según su origen, puede ser de dos clases: por un lado, de carácter natural; y, por otro de carácter tecnológico o generado por la acción del hombre. El sismo como fenómeno natural es la liberación súbita de energía mecánica generada por el movimiento de grandes columnas de rocas en el interior de la Tierra, entre su corteza y manto superior y, se propaga en forma de vibraciones, a través de las diferentes capas terrestres, incluyendo los núcleos externos o internos de la Tierra. INDECI (2006).

2.4.3. Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica puede ser medida de maneras empíricas o analíticas. Kuroiwa (2002) afirma “La vulnerabilidad sísmica es la probabilidad de daño que sufre una estructura debido a un evento sísmico de determinadas características. Las edificaciones realizadas por el hombre pueden sufrir daños y depende de las características de diseño, calidad de mano de obra y de la técnica de la construcción”.

Vizconde (2004) menciona “se denomina vulnerabilidad al grado de daño que sufre una estructura debido a un evento sísmico de determinadas características. Estas estructuras se pueden calificar en más vulnerables o menos vulnerables ante un evento sísmico”. Asimismo, Kuroiwa (2002) afirma “las edificaciones realizadas por el hombre pueden sufrir daños y depende de las características de diseño, calidad de mano de obra y de la técnica de la construcción”.

La vulnerabilidad de las edificaciones requiere identificar los factores de tipo social y físico - técnicos, sobre los cuales se debe actuar para reducir los efectos causados por la presencia de fenómenos naturales o antrópicos. Dentro de los factores determinantes en la vulnerabilidad de una región, se encuentran el establecimiento de asentamientos humanos en zonas con un alto grado de amenaza y a la falta de planeación del desarrollo urbano de distancias regiones y comunidades. La presencia de estos asentamientos no solo se debe a la falta de conocimiento de la población, sino también a que no hay más opciones ni recursos para elegir terrenos más seguros. (Llanos y Vidal, 2003)

Además, la vulnerabilidad sísmica se divide en dos componentes. El primero en función de los elementos estructurales, denominada vulnerabilidad estructural. La segunda en función de lo que conforma la estructura que no sea elemento estructural, denominada vulnerabilidad no estructural.

2.4.3.1. Vulnerabilidad estructural

La vulnerabilidad estructural también conocida como vulnerabilidad física, según Llanos y Vidal (2003) es el “grado de afectación que pueden sufrir los elementos estructurales de una edificación y está relacionada con la capacidad que tiene una estructura para soportar las solicitaciones a las que se ve sometida en el momento de un sismo”.

2.4.3.2. Vulnerabilidad no estructural

Llanos y Vidal (2003) mencionan “la vulnerabilidad no estructural está asociada a la susceptibilidad de los elementos o componentes no estructurales de sufrir daños debido a un sismo, lo que se ha llamado daño sísmico no estructural”. Estos elementos no estructurales son aquellos que no conforman el exoesqueleto resistente de la edificación, pueden ser: ventanas, muebles, tabiques, etc.

2.5. Métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica estructural

En las últimas décadas se han desarrollado varias metodologías para conocer la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, estas investigaciones en su mayoría son impulsadas por planificadores de emergencia y las compañías aseguradoras. Los diversos métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica se pueden dividir en dos categorías principales: analíticos o empíricos. Además existen análisis que hacen uso de métodos empíricos y analíticos, denominados híbridos.

2.5.1. Clasificación de acuerdo a Corsanegro y Petrini (1990)

La investigación clasifica el daño causado en base a dos métodos: tipológicas y mecánicas.

2.5.1.1. Tipológica

Basado en evaluar los elementos que tiene un desempeño al ser sometidos a una excitación: técnica de construcción, materiales, etc. Es decir, está basado en modelos relativamente sencillos, donde se requieren pocos datos de entrada. A diferencia del método tipológico, este permite analizar un gran número de casos, pudiendo analizar toda una población en periodo corto. Corsanegro y Petrini (1990) definen "la vulnerabilidad como la probabilidad de una estructura de sufrir un cierto nivel de daño para una intensidad sísmica definida. Esta probabilidad se obtiene de la opinión de expertos y los daños producidos en un post-terremoto". Los resultados que se obtengan debe ser asociado a una incertidumbre estadística. Ejemplo de este método son las funciones de vulnerabilidad y matrices de probabilidad de daños (MPD) (Whitman y Hong, 1973).

2.5.1.2. Mecánicas

El método mecánico se divide en dos de acuerdo a la manera de representar la estructura: modelos simples y detallados. Los de mayor interés son los modelos a detalle, los más conocidos son: el análisis lineal (estático y dinámico) y el análisis no lineal (estático y dinámico).

2.5.1.3. Técnicas indirectas

Herrera et al. (2014) menciona "primero determinan un índice de vulnerabilidad, para luego relacionar el daño con la intensidad sísmica, mediante estudios post-terremoto y estudios estadísticos. Es muy útil para evaluaciones sísmicas de edificios a gran escala".

Como ejemplo se tiene el método del índice de vulnerabilidad (IVM) (GNDT, 1993) y propuesto por Benedetti y Petrini (1984).

2.5.1.4. Técnicas convencionales

Se usa para analizar la vulnerabilidad relativa de distintas construcciones de un mismo material, ubicadas en una misma zona. Bozzo y Barbat (2000) mencionan “Existen básicamente dos grupos de métodos: los primeros califican empíricamente las diferentes características físicas de las estructuras; los segundos consideran los criterios utilizados en las normativas de proyecto sismorresistente, evaluando la relación demanda y capacidad de los edificios de manera simplificada”

2.5.1.5. Técnicas híbridas

Las técnicas híbridas es una combinación de las técnicas convencionales e indirectas, como podría ser la combinación de funciones de vulnerabilidad sobre la base de la vulnerabilidad observada y juicios de expertos. Grünthal (1998) menciona “regularmente, la vulnerabilidad se define en clases según la escala macro-sísmica EMS-98”. Este es el caso del modelo macro-sísmico y mecánico propuesto por Lagomarsino y Giovinazzi (2006), que combina las características de los métodos tipológicos y técnicas indirectas. Herrera et al. (2014) afirma “la vulnerabilidad de los edificios está definida mediante curvas de vulnerabilidad y capacidad por el método macro-sísmico y mecánico, respectivamente, y, posteriormente, mediante un cruce validado de ambas”.

Considerando las diferentes técnicas descritas anteriormente la definición y la naturaleza de los criterios de análisis (cualitativo y cuantitativo) condicionan naturalmente la formulación de las metodologías y su correspondiente nivel de evaluación, que puede variar de la evaluación rápida de los edificios basados en la observación visual a la elaboración de modelos numéricos más complejo de edificios individuales (Figura 8).

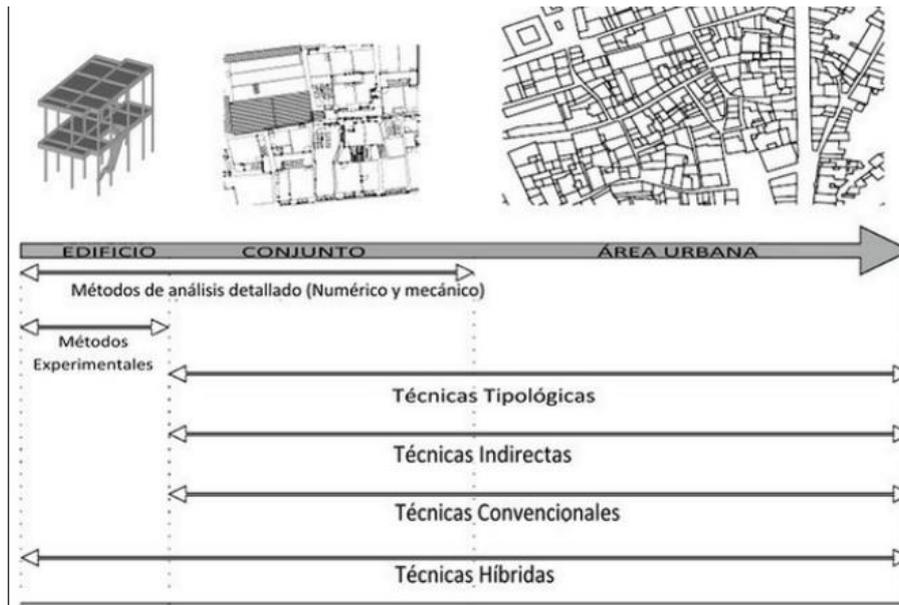


Figura 8. Métodos de análisis de vulnerabilidad sísmica
(Herrera, Vielm y Pujades, 2014)

2.5.2. Clasificación de acuerdo a Dolce, Kappos, Zuccaro y Coburn (1994)

Dolce et al. (1994) han propuesto “un criterio de clasificación que examina separadamente las etapas fundamentales que comprende un análisis de vulnerabilidad: los datos de entrada, el método empleado y los resultados obtenidos; incluso es posible obtener diferentes combinaciones de estas etapas” (Figura 9).



Figura 9. Clasificación de las técnicas de valuación de la vulnerabilidad
(Herrera, Vielm y Pujades, 2014)

2.5.2.1. Métodos estadísticos

Los métodos estadísticos están en la rama de vulnerabilidad observada. Su desarrollo se hace después de que haya sucedido un sismo en una ciudad. Estos métodos parten desde la opinión subjetiva de expertos. Este método es aceptable cuando se quiere evaluar grandes poblaciones, esto debido a la rapidez y sencillez del método.

2.5.2.2. Métodos mecánicos o analíticos

Los métodos analíticos están en la rama de la vulnerabilidad calculada, utilizan la técnica de la modelación en algún programa de cómputo. De acuerdo a que sistema estructural se esté evaluando su modelado es variado. Estos métodos hacen comprobaciones en laboratorio, para realizar la aceptación del modelado. Cuando se requiere un análisis detallado de una estructura este método es apropiado.

2.5.2.3. Métodos en base a juicio de expertos

Evalúan cualitativa y/o cuantitativamente los factores que gobiernan la respuesta sísmica de los edificios.

2.5.3. Clasificación de acuerdo a Calvi, Pinho, Magenes, Bommer y Crowley (2006)

Calvi et al. (2006) afirma “el objetivo de una evaluación de vulnerabilidad sísmica es obtener la probabilidad de que un determinado tipo de edificio sufra un determinado nivel de daño bajo un sismo de una determinada severidad”. Los métodos se dividen en dos importantes: empíricos y analíticos; de la combinación de estos dos se obtiene un tercero llamado método híbrido, tal como se muestra en la Figura 10, se resalta el método de interés.

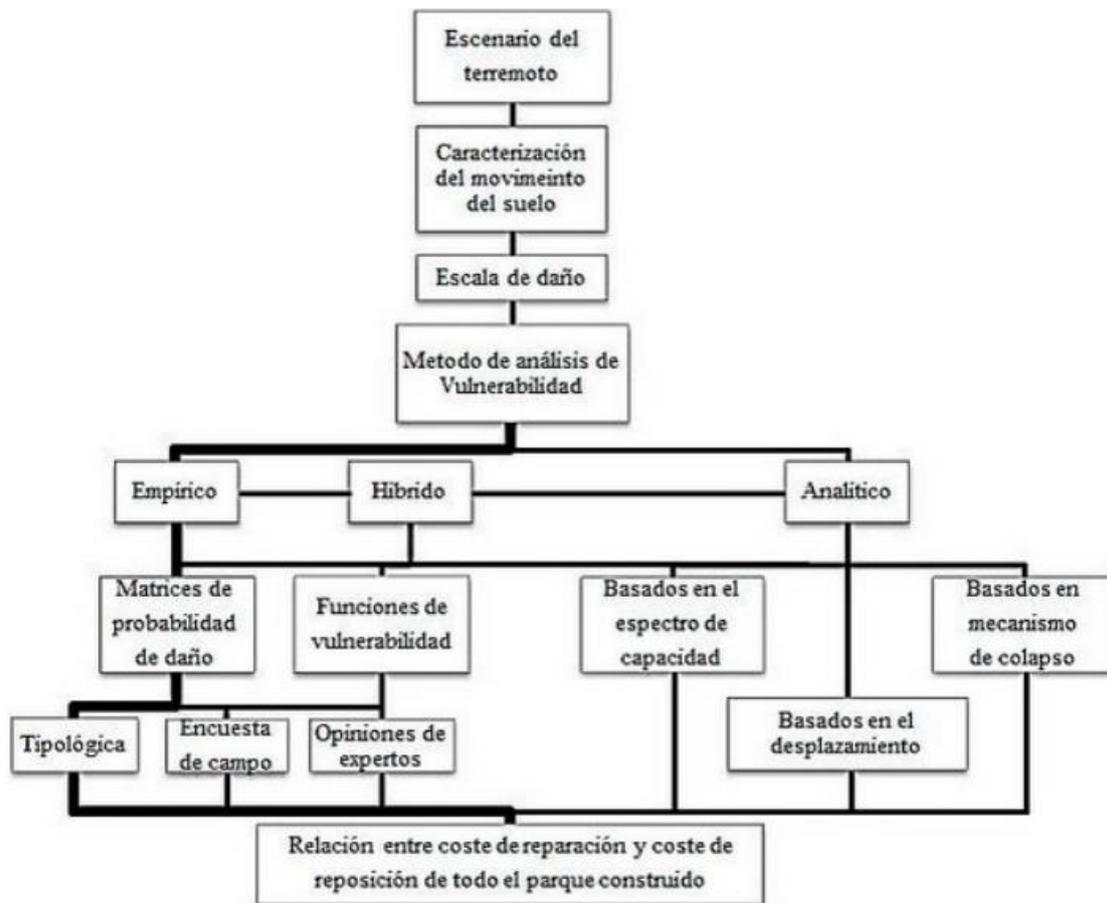


Figura 10. Componentes de una evaluación de riesgo sísmico y métodos para evaluar la vulnerabilidad

(Herrera, Vielma y Pujades, 2014)

Calvi et al. (2006) menciona “una metodología muy interesante desde el punto de vista práctico es realizar un análisis por un método simplificado y relativamente rápido. Luego, aquellas que no pasen este primer test realizar un nuevo análisis por el método más exacto y sofisticado”.

2.5.4. Métodos analíticos

El análisis de vulnerabilidad sísmica estructuras de edificaciones es similar al diseño de estructuras propuesto por las distintas normas de cada país. Cuando se quiere saber el daño que puede sufrir una edificación se realiza un análisis inelástico ya sea estático o dinámico, siendo este último el más exacto. En la actualidad cuando se hace una evaluación por una metodología analítica se hace uso de un software, en la cual se modela la estructura con sus propiedades mecánicas y físicas experimentales.

2.5.5. Incertidumbres y limitaciones de los métodos analíticos

Los problemas con relación a los métodos analíticos, es básicamente las dificultades intrínsecas de la modelación matemática de las edificaciones. Las dos incertidumbres más importantes es: el modelado de la edificación y la selección del terremoto.

Con respecto a la primera, las propiedades mecánicas de los elementos estructurales se toman de un ensayo en el laboratorio. Si este dato es diferente al real, los datos que se obtendrán serán erróneos. Sin embargo, con una cantidad de ensayos aceptable de acuerdo a la población de estudio esta incertidumbre puede despreciarse.

Con respecto a la segunda, esta incertidumbre esta en todos los métodos existente. Debido a que saber cuándo, dónde y con qué intensidad sucederá un terremoto es imposible en la actualidad. Sin embargo, existen métodos probabilistas que son los más aceptables para saber la demanda sísmica.

Además, existe el inconveniente de determinar el riesgo en función del costo de reparación y el costo de la construcción. Los métodos analíticos no tienen en cuenta este factor, solo tienen en cuenta el daño que sufrirán los elementos estructurales. Por otro lado, la exactitud que se ha tenido en comprobaciones realizadas por investigadores le da realce a esta metodología (Zuñiga et al., 2005; Riahi et al., 2009).

2.5.6. Métodos empíricos

Debido a las poblaciones que se ubican en una zona de vulnerabilidad sísmica alta, se ha desarrollado métodos que permitan un análisis sencillo y rápido de la vulnerabilidad. Estos no se han desarrollado para tener un dato preciso, sino más bien para tener una idea sobre la vulnerabilidad de una población mediante mapas de vulnerabilidad sísmica. La base de estos métodos es la opinión subjetiva del experto que realiza la investigación.

En la actualidad se respeta mucho la experiencia acumulada de investigadores, esto tiene un valor incalculable en el desarrollo de métodos empíricos. El procedimiento de este método es usualmente mediante fichas de encuestas, por tanto, es vital que el encuestador tenga una amplia experiencia para rellenar la encuesta.

2.5.7. Incertidumbre y limitaciones de los métodos empíricos.

La mayor limitación de los métodos empíricos es la poca precisión que tienen de la vulnerabilidad sísmica estructural. Además, se le suma el riesgo de que la opinión del experto sea errónea y la dificultad de catalogar la vivienda basándose principalmente en la observación.

La opinión subjetiva de los expertos, es difícil de calibrar o transmitir, a diferencia del método analítico este se puede calibrar y transmitir. Por lo cual, los métodos empíricos deben ser bastante simples, ya que si se requiere hacer más complejos para obtener resultados más precisos, solo se logrará tener más riesgo al obtener los datos. Otro problema es que no se puede extender la metodología a una población de viviendas en general, la población a evaluar debe guardar características similares, si se quiere aplicar en otra zona se debe realizar modificaciones de acuerdo a la realidad de la zona a estudiar.

2.6. Explicación de métodos para determinar la vulnerabilidad sísmica

2.6.1. Método empírico: ATC-14

Este método fue desarrollado por Applied Technology Council "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Building", en 1987. Basándose en la identificación de los puntos débiles del edificio con base en la observación de daños en edificios similares ocurridos en eventos sísmicos previos.

2.6.2. Método empírico: matriz de probabilidad daño

Esta metodología fue propuesta por Whitman y Hong (1973), mediante matrices de probabilidad daño se puede predecir el daño que sufrirá un edificio ante un terremoto. El concepto de una matriz de probabilidad de daño (DPM) sugiere que una tipología estructural tendrá la misma probabilidad de ser dañada ante un terremoto de una intensidad dada.

Tabla 1.

Formato de la matriz de probabilidad de daño descritos por Whitman y Hong (1973)

Estado daños	Daño estructural	No estructural Dañar	Relación de daño (%)	La intensidad de terremoto				
				V	VI	VII	VIII	IX
0	Ninguna	Ninguna	0-0,05	10.4	-	-	-	-
1	Ninguna	Menor	0,05-0,3	16.4	0.5	-	-	-
2	Ninguna	localizada	0,3-1,25	40.0	22.5	-	-	-
3	No se nota generalizada		01.25 a 03.05	20.0	30.0	2.7	-	-
4	Menor	Sustancial	3.5-4.5	13.2	47.1	92.3	58.8	14.7
5	Sustancial	Extenso	7,5-20	-	0.2	5.0	41.2	83.0
6	Mayor	casi el total de	20-65	-	-	-	-	2.3
7	edificio condenado		100	-	-	-	-	-
8	Colapso		100	-	-	-	-	-

Fuente: Whitman y Hong (1973)

El formato de la DPM sugerido por Whitman y Hong (1973) se presenta en la Tabla 1, donde ejemplo proporciones de edificios con un nivel dado de daños estructurales y no estructurales se proporcionan como una función de la intensidad (nótese que la relación de daños representa la relación del coste de la reparación a coste de reemplazo). Whitman y Hong (1973) compilaron DPM para diferentes tipologías estructurales de acuerdo con el daño sufrido en más de 1600 edificios tras el terremoto de 1971 en San Fernando.

2.6.3. Método empírico: Índice de la vulnerabilidad

En Italia el método "Índice de vulnerabilidad" es muy aceptado, fue desarrollado por (Benedetti y Petrini, 1984; GNDT, 1993) se ha utilizado ampliamente en Italia en las últimas décadas y se basa en una gran cantidad de datos de la encuesta daños; este método es 'indirecta' porque una relación entre la acción sísmica y la respuesta se establece a través de un 'índice de vulnerabilidad'. El método utiliza un formulario de encuesta de campo para recopilar información sobre los parámetros importantes del edificio que podría influir en su vulnerabilidad: por ejemplo, el plan y la configuración de altitud, tipo de cimentación, elementos estructurales y no estructurales, estado de conservación y el tipo y la calidad de materiales. Hay parámetros once en total, los cuales están cada uno identificado por tener uno de cuatro coeficientes de calificación,

2.6.4. Método empírico: Curvas de vulnerabilidad continua

Funciones de vulnerabilidad continuas basadas directamente en el daño de los edificios de los terremotos anteriores se introdujeron poco más tarde que DPM. Herrera,

Vielma y Pujades (2014) menciona “un obstáculo para su derivación es el hecho de que la intensidad macrosísmica no es una variable continua. Este problema se superó por Spence y Robbins (1992) mediante el uso de su escala sin parámetros de intensidad (PSI) para derivar funciones de vulnerabilidad en base a los daños observados de edificios utilizando la escala de daño MSK” (Figura 11). Ambos estudios posteriormente convirtieron la PSI a PGA utilizando funciones de correlación empírica, de tal manera que la entrada y la respuesta no se definieron usando el mismo parámetro.

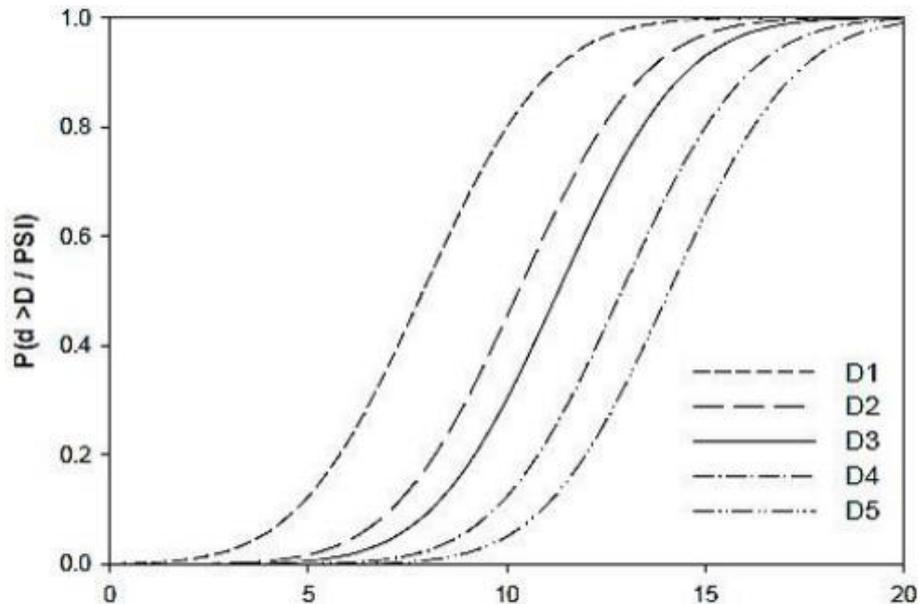


Figura 11. Curvas de vulnerabilidad de para pórticos de concreto armado utilizando PSI y MSK

(Herrera, Vielma y Pujades, 2014)

2.6.5. Métodos analíticos: Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño (MPD)

Aunque las curvas de fragilidad y las matrices de probabilidad de daño se han obtenido a partir de los daños observados después de los terremotos, en los últimos años se ha propuesto utilizar el análisis computacional y con ello optimizar algunos de los inconvenientes de los métodos empíricos. La Figura 12 resume las componentes básicas que se necesitan para obtener analíticamente las curvas de fragilidad o las matrices de probabilidad del daño.

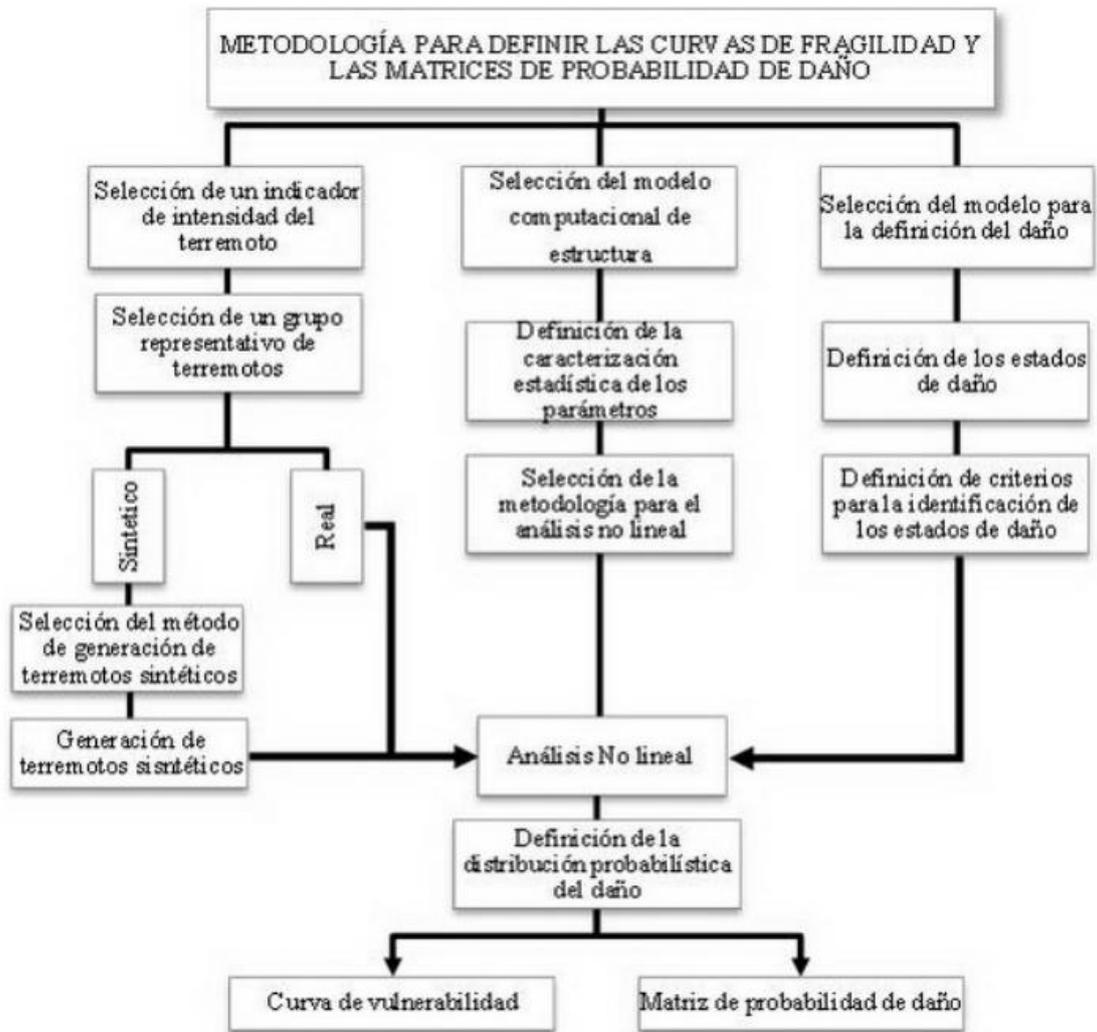


Figura 12. Componentes del cálculo de las curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño con métodos analíticos
(Lagomarsino y Giovinazzi, 2006)

Para la estimación de las curvas de fragilidad y matrices de daño (MPD) Singhal y Kiremidjian (1998) desarrollaron un enfoque sistemático, aplicando un análisis dinámico no lineal. La excitación se caracteriza por la aceleración espectral y por la intensidad de Mercalli modificada en el caso de las MPD. Se analizó tres tipos de estructuras de concreto mediante el índice de daño de Park y Ang (1985). Mediante la simulación por Montecarlo se calcularon las probabilidades asociadas a los diferentes estados de daño. Luego desarrollaron curvas analíticas de fragilidad para estructuras de concreto armado utilizando procedimientos de simulación por Montecarlo y actualizaron estas curvas de fragilidad utilizando la respuesta de edificios ante cargas sísmicas observadas en el terremoto de Northridge en 1994.

2.6.6. Métodos analíticos: Espectro de capacidad

Es una técnica de análisis sísmico con base en comportamiento desarrollado inicialmente por (Freeman, Nicoletti y Tyrell, 1975); luego fue adoptado y modificado como un procedimiento de análisis no lineal estático por el ATC-40 y FEMA 440(ATC, 1996, 2003) e implementando en la metodología HAZUS.

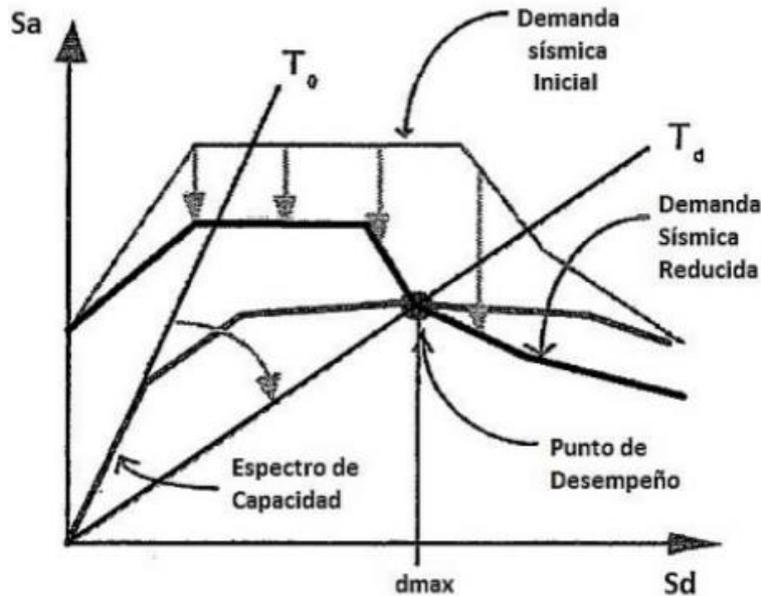


Figura 13. MEC para determinar el punto de capacidad por demanda
(Herrera, Vielma y Pujades, 2014)

Herrera et al. (2014) menciona “el MEC establece procedimientos simples para determinar el punto de capacidad por demanda (performance point) de una estructura cuando está sometida a movimientos sísmicos de diferente intensidad. Mediante un procedimiento gráfico se compara la capacidad para resistir fuerzas laterales con la demanda sísmica, representada por medio de un espectro de respuesta reducido”. El espectro de respuesta es la superposición de los espectros de demanda y capacidad, las unidades más usado es el formato ADRS (espectro de respuesta en aceleraciones - espectro de respuesta en desplazamientos), tal como se muestra en la Figura 13. La metodología HAZUS fue desarrollada para estimar las pérdidas potenciales debidas a terremotos (Safina, 2003; Vicente, Parodi, Lagomarsino, Varum y Mendes, 2011). Originalmente, incluye seis módulos diferentes como se muestra en la Figura 14 y se detalla a continuación:

- Estimación de la peligrosidad sísmica
- Realización de un inventario de edificios y su clasificación

- Evaluación de la vulnerabilidad, es decir, cálculo del daño físico directo para cada clase de edificio y para cada nivel de peligrosidad
- Daño físico por inundaciones
- Las pérdidas directas económicas/sociales
- Pérdidas económicas indirectas evaluadas a largo plazo.

La evaluación de la vulnerabilidad del módulo se realiza mediante el MEC del ATC-40; las curvas de fragilidad están representadas por funciones de distribución log-normal y se definen para cuatro estados límite de daños.



Figura 14. Módulos de HAZUS
(Herrera, Vielma y Pujades, 2014)

2.6.7. Métodos analíticos: Basado en el desplazamiento

Los primeros pasos hacia el desarrollo de un marco de evaluación de la vulnerabilidad totalmente basada en los desplazamientos que se pueden encontrar en Calvi et al. (2006). En este trabajo se propone una metodología integral que utiliza desplazamientos como el indicador fundamental del daño y una representación espectral de la demanda terremoto. Es conocido también como método directo de diseño basado en desplazamiento (Direct Displacement based Design DDBD). Este procedimiento utiliza los principios del método de diseño basado en el desplazamiento directo. Por ejemplo: Priestley, Calvi y Kowalski (2007), donde la respuesta de una estructura de múltiples grados de libertad se representa mediante un sistema de un grado de libertad equivalente a un oscilador con una masa efectiva (m_e). La curva fuerza-desplazamiento bilineal de la estructura se caracteriza en términos de rigidez efectiva o secante (K_e) para el desplazamiento máximo (Δ_d) (Figura 15).

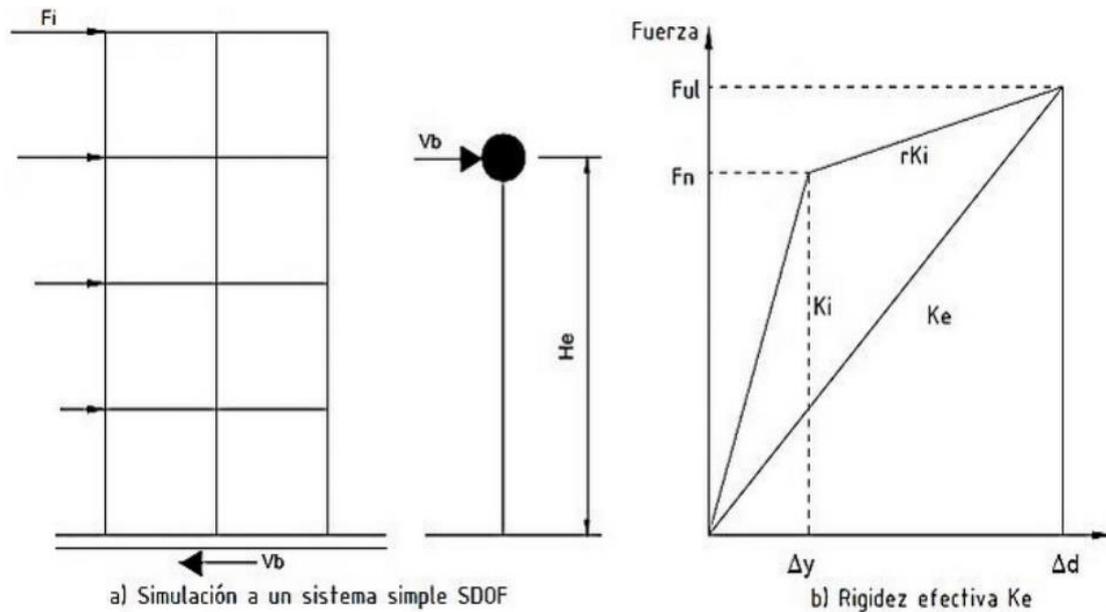


Figura 15. Fundamentos del DDBD, simulación de la estructura en SDOF y rigidez efectiva

K_e

(Herrera, Vielma y Pujades, 2014)

2.7. Metodología escogida para saber la vulnerabilidad sísmica.

El método seleccionado es curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño (MPD) aplicando un método de análisis estático no lineal. Uno de los países que realiza más investigación, que es EE.UU., no es común el sistema estructura conocido como albañilería confinada. Aunque en años recientes se está comenzando a realizar investigaciones para saber la vulnerabilidad sísmica de este tipo de estructuras.

2.8. Niveles de sismo de diseño y desempeño de la estructura

Existen dos principales códigos que plantan un nivel de sismo de diseño y desempeño de la estructura. Estos son VISION 2000 (SEAOC, 1995) y ATC-40 (ATC-40, 1996). Ambos representan los movimientos sísmicos de diseño en términos de un intervalo de recurrencia medio y una probabilidad de excedencia.

El proyecto Visión 2000, considera cuatro niveles de movimientos sísmicos (Tabla 2). El ATC-40 utiliza tres niveles de movimientos sísmicos para el diseño de estructuras: sismo de servicio (SE), sismo de diseño (DE) y sismo máximo (ME), estos corresponden al sismo ocasional, raro y muy raro de VISION 200 (Tabla 2).

Tabla 2.

Niveles de sismo de diseño para VISION 2000 y ATC-40

MOVIMIENTO SÍSMICO DE DISEÑO		INTERVALO DE RECURRENCIA	PROBABILIDAD DE EXCEDENCIA
VISION 2000	ATC-40		
Frecuente	-	43 años	50% en 30 años
Ocasional	Sismo de servicio	72 años	50% en 50 años
Raro	Sismo de diseño	475 años	10% en 50 años
Muy raro	Sismo máximo	950 años	10% en 100 años

Fuente: ATC-40 (1996) y SEAOC (1995)

Con respecto al desempeño de la estructura. Según (SEAOC, 1995) “denomina niveles de desempeño a una expresión del grado máximo de daño para una edificación dado para un nivel de sismo de diseño específico, (...). Se considera la condición del elemento estructural, elemento no estructural y contenido”. El proyecto VISION 2000 plantea cinco niveles de desempeño de la estructura, siendo el primero un estado donde la estructura permanece en reposo. Cada rango de nivel de desempeño de la estructura está asociado a un estado de daño. Los estados de daños están determinados según los intereses del usuario, buscando que sean sencillos de identificar (SEAOC, 1995). Ver la Tabla 3.

Tabla 3.

Estado de daño y niveles de desempeño de acuerdo a VISION 2000

ESTADO DE DAÑO	NIVEL DE DESEMPEÑO	DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS
Despreciable	Totalmente operacional	No existe daño. Sistema de servicios intacto.
Leve	Operacional	Presencia de agrietamientos.
Moderado	Seguridad	Daños moderados. Se podría abandonar el edificio temporalmente.
Severo	Pre-colapso	Daños severos en elementos estructurales. Se podría demoler el edificio.
Completo	Colapso	Daño parcial o total. Se debe demoler el edificio.

Fuente: SEAOC (1995)

Tabla 4.

Niveles de daño para elementos estructurales de acuerdo a ATC-40

NIVEL O ESTADO DE DAÑO	DESCRIPCIÓN DE LOS DAÑOS
Ocupación inmediata (SP-1)	Daños limitados
Daño controlado (SP-2)	Los ocupantes no están en peligro.
Seguridad de vida (SP-3)	La estructura no colapsa, pero es posible que requiera reparación.
Seguridad limita (SP-4)	La estructura requiere un reforzamiento para ser ocupada, pero es poco factible.
Estabilidad estructural (SP-5)	La estructura ha sufrido reducción de resistencia y rigidez, es próximo al colapso.
No considerado (SP-6)	No está contemplado.

Fuente: ATC-40 (1996)

Por otra parte, el ATC-40 denomina los niveles de desempeño mediante la combinación de los daños provocados en elementos estructurales (e.g. vigas, columnas, muros portantes, etc.) y no estructurales (e.g. parapetos, muros divisores, etc.), Siendo el tema de interés el daño en elementos estructurales, se define tres niveles o estados de daño discretos: ocupación inmediata, seguridad de vida y estabilidad estructural (Tabla 4).

2.9. Niveles de desempeño para muros de albañilería confinada

Los parámetros que brindan los proyectos ATC-40 y VISION 2000, fueron desarrollados y siguen siendo investigados por países como EE. UU, Japón y Europa. En estos países el sistema aporticado es el más utilizado para edificaciones de baja altura de uso vivienda, es por ello que los niveles de desempeño están orientados al sistema aporticado. Al ser distinto el caso de Perú debido que el sistema común es la albañilería confinada, los proyectos ATC-40 y VISION 2000 solo son usados como guías. Por tal motivo se explica a continuación los niveles de desempeño para estructuras de albañilería confinada, estos resultados fueron desarrollados principalmente por los países de México, Ecuador, Perú y Chile.

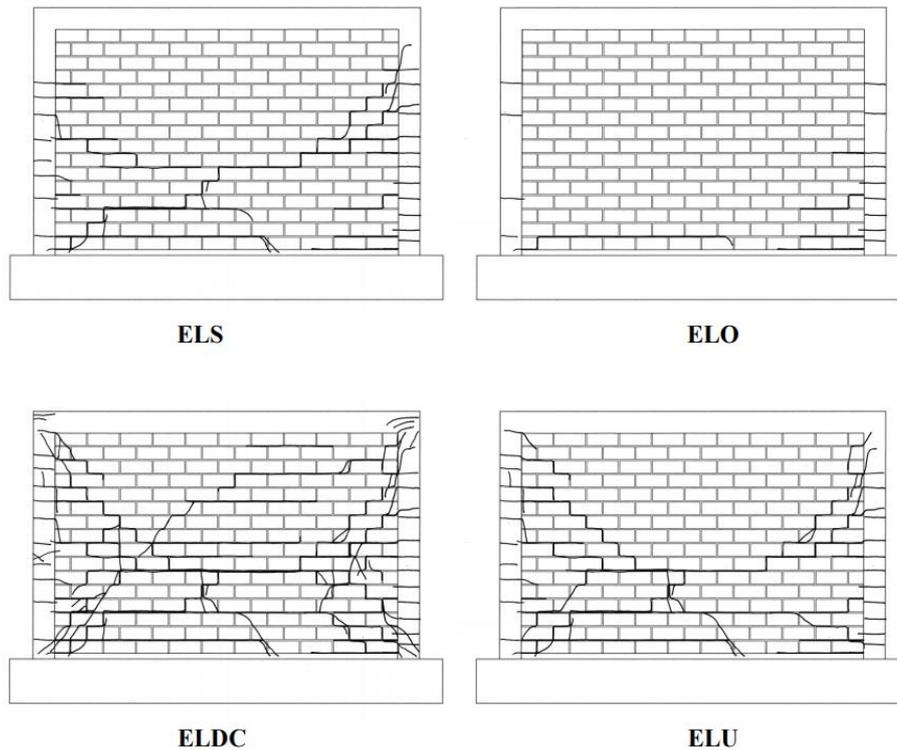


Figura 16. Niveles de desempeño de la albañilería confinada
(Astroza y Schmidt, 2004)

En los muros de albañilería confinada se reconocen cinco niveles de desempeño. Primero de servicio (ELS), se da al final del rango elástico y se presenta agrietamientos en el muro. Segundo de operacional (ELO), se da cuando se presenta el agrietamiento diagonal. Tercero de daño controlado (ELDC), se da cuando se presenta el agrietamiento sigue un patrón razonable. Cuarto de resistencia (ELR), se da cuando el muro alcanza su punto máximo de capacidad. Finalmente de último nominal (ELU), se da cuando se está próximo al colapso y el muro ha sufrido una degradación de resistencia del 20% (Astroza y Schmidt, 2004). Ver la Figura 16.

2.10. Objetivos de desempeño para estructuras de albañilería confinada

Santana Tapia (2012) menciona. “Uno de los objetivos para el análisis de vulnerabilidad sísmica es establecer el nivel de daño en los elementos estructurales de una edificación en función de sus demandas, (...). Es razonable establecer el grado de daño en función del desplazamiento”. Para estructuras de albañilería confinada se tiene como base dos investigaciones: la de Astroza y Schmidt (2004) y de Ruiz-García y Miranda (2003) mostradas en la Tabla 5 y Tabla 6 respectivamente.

Tabla 5.
Niveles de desempeño para estructuras de albañilería confinada

Niveles de desempeño	Distorsión (%)
Estado límite de servicio (ELS)	0.05
Estado limite operacional (ELO)	0.10
Estado límite de daño controlado (ELDC)	0.17
Estado límite de resistencia (ELR)	0.22
Estado limite ultimo (ELU)	0.44

Fuente: Astroza y Schmidt (2004)

Sin embargo Astroza y Schmidt (2004) (como se citó en Lovon, 2017) menciona “la mayoría de los autores propone definir una curva de capacidad mediante 3 puntos de control”. El numero 1 corresponde al agrietamiento del panel cuando llega a su estado limite elástico (derivas de estado operacional). El numero 2 corresponde a la resistencia máxima al corte y el número 3 corresponde a la resistencia lateral última nominal (Figura 17) (Tabla 7).

Tabla 6.
Niveles de desempeño para estructuras de albañilería confinada

Estado de daño	Derivada (%)	Nivel de daño
Grietas horizontales y verticales por flexión próximas a las columnas de confinamiento.	0.04	Ligero (I)
Fisura inicial por tracción diagonal de la albañilería confinada.	0.13	Moderado (II y III)
Fisuras diagonales en los muros de albañilería, asimilando una “X”.	0.20	Fuerte (IV)
Fisuras inclinadas primarias en las columnas de confinamiento.	0.23	Fuerte (IV)

Agrietamiento horizontal en las columnas de confinamiento con presencia de aplastamiento del concreto.	0.32	Fuerte (V)
Caída del recubrimiento y acumulación de grietas diagonales en las columnas de confinamiento	0.42	Grave (V)
Próximo al colapso, con daño irreparable en las columnas de confinamiento y deformación en el refuerzo longitudinal (plegamiento).	0.5	Grave (no se clasifica)

Fuente: Ruiz-García y Miranda (2003)

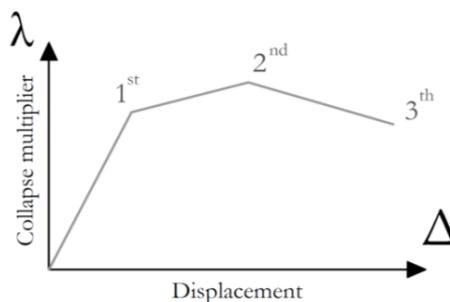


Figura 17. Puntos de control para definir la resistencia lateral de muros de albañilería confinada (Lovon, 2017)

Tabla 7.

Deriva de muros de albañilería confinada para cada punto de control

Punto de control	Distorsión (%)
1	0.14
2	0.62
3	0.86

Fuente: Lovon (2017)

2.11. Albañilería confinada

Para entender la definición ideal de albañilería confinada se requiere saber previamente que la albañilería confinada está compuesta por: unidad de albañilería, mortero, acero y concreto (Abanto, 2005). La unidad de albañilería que puede ser ladrillo o bloque, la diferencia radica en que el ladrillo es aquella unidad cuya dimensión y peso permite que sea

manipulada con una sola mano, y bloque aquella unidad que por sus dimensiones y peso requiere de las dos manos para su manipulación (Norma E070, RNE).

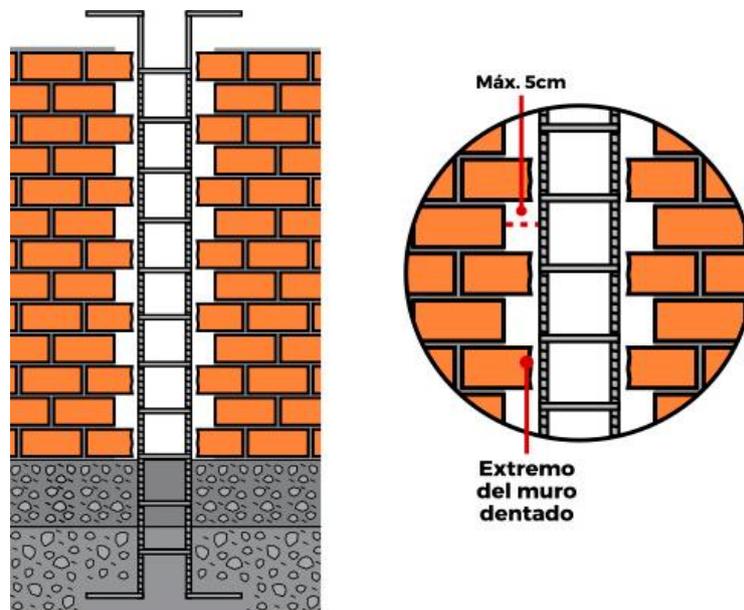


Figura 18. Albañilería confinada
(Abanto, 2005)

Las unidades de albañilería son básicamente hechas de arcilla, arena, cal y de concreto. La unidad predilecta para la construcción de viviendas unifamiliares en el Perú es el ladrillo de arcilla elaborados artesanalmente (a mano) cuyas dimensiones son 12.5cm x 21cm x 9cm (Abanto, 2005). Sin embargo, cabe mencionar que debido a su elaboración artesanal estas dimensiones pueden variar. El mortero es un adhesivo que se utiliza para pegar las unidades de albañilería entre sí, durante el asentado y está compuesto por cemento, cal hidratada, arena y agua. De esta manera la albañilería está compuesto en su forma tradicional por unidades de albañilería unidas entre sí por un mortero formando un conjunto monolítico llamado muro. (Abanto, 2005), ver Figura 18.

Según San Bartolomé (2007) "la albañilería confinada se caracteriza por estar constituida por un muro de albañilería simple enmarcado por una cadena de concreto, vaciada con posterioridad a la construcción del muro. Generalmente, se emplea una conexión dentada entre la albañilería y las columnas, pero en nuestro medio se utiliza con frecuencia una conexión a ras".

2.11.1. Propiedades mecánicas de la albañilería confinada

Existen diversas propiedades mecánicas de la albañilería, las dos principales son: resistencia a la compresión de la pila y a la tensión del murete. La primera propiedad es usada para representar la carga por gravedad inferida de los elementos superiores a este, el ensayo consiste en construir en aplicar una carga en la parte superior (Figura 19).

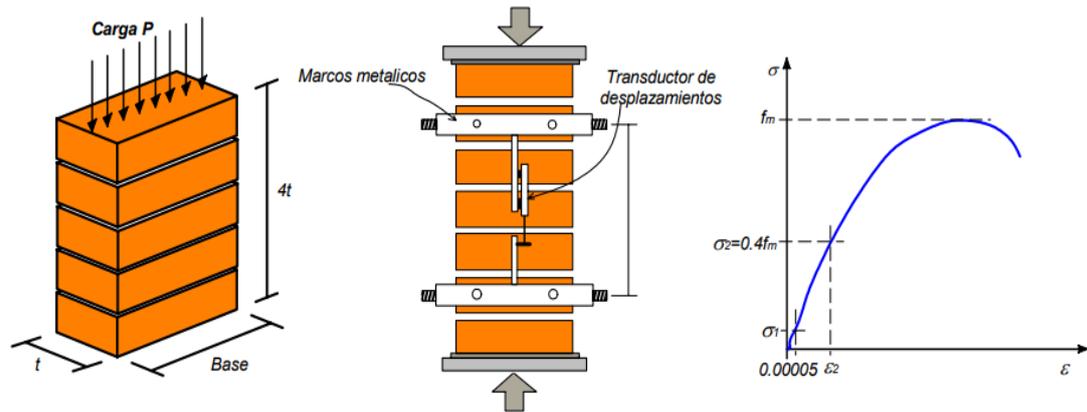


Figura 19. Ensayo para determinar la resistencia a la compresión

(Zuñiga, 2005)

La segunda propiedad es usada para representada el efecto de sismo, asentamientos diferenciales, etc., el ensayo consiste en aplica la carga en el sentido de una de las diagonales del muro de albañilería (Figura 20).

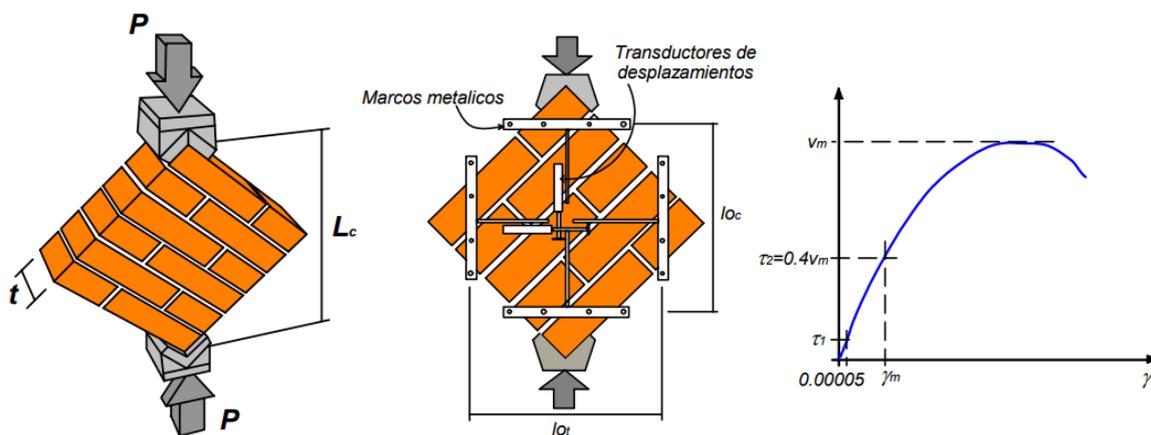


Figura 20. Ensayo para determinar la resistencia a la tensión diagonal

(Zuñiga, 2005)

2.11.1. Propiedades de los materiales

2.11.1.1. Concreto

Las propiedades del concreto se sacaron de la Norma Técnica Peruana E-0.60, San Bartolomé (2007) y Lovon (2017) (Tabla 8). Sin embargo, la resistencia a la compresión del concreto tenía que ser menor debido que se trata de un caso de viviendas informales. Por tal motivo se utilizó la resistencia a la compresión del concreto de otra investigación realizada en la misma ciudad de Lima (Garay y Quispe, 2016).

Tabla 8.

Propiedades del concreto

PROPIEDAD	DATO
Peso unitario	2.4 ton/m ³
Resistencia a la compresión (f'c)	137.5 kg/cm ²
Módulo de elasticidad	217370.65 kg/cm ²
Módulo de poisson	0.16
Deformación unitario máxima	0.003

Para la presente investigación se usó el promedio de todos los ensayos de compresión de probetas de concreto realizados en la investigación de Garay y Quispe (2016).

2.11.1.2. Albañilería confinada

Las propiedades de la albañilería confinada de obtuvo de la Norma Técnica Peruana E-0.60, San Bartolomé (2007) y Lovon (2017) (Tabla 9). Sin embargo, la resistencia al corte en muretes debe ser menor a la normada por tratarse de un caso de viviendas informales. Por tal motivo se obtuvo de otra investigación que la resistencia al corte es 4.79 kg/cm² con una desviación de 0.47 (Lovon, 2017).

Tabla 9.

Propiedades de la albañilería confinada

PROPIEDAD	DATO
Peso unitario	1.80 ton/m ³
Resistencia a la compresión axial en pilas (f'm)	55.00 kg/cm ²

Resistencia a la compresión axial en unidades (f'b)	145.00 kg/cm ²
Resistencia al corte en muretes (v'm)	4.79 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (E)	17500.00 kg/cm ²
Módulo de corte (G)	7000.00 kg/cm ²
Módulo de Poisson (U)	0.25

2.11.1.3. Acero

Se consideró que las propiedades del acero son iguales para construcciones formales e informales, ver Tabla 10.

Tabla 10.

Propiedades del acero

PROPIEDAD	DATO
Peso unitario	7850.00 kg/m ³
Módulo de elasticidad (E)	2000000.00 kg/cm ²

2.11.2. Metrado de cargas

En la Tabla 11 y Tabla 12 se muestra el metrado de cargas vivas y muertas, respectivamente. Estos datos se extrajeron de la Norma Técnica Peruana E-0.60, San Bartolomé (2007) y Lovon (2017).

Tabla 11.

Cargas vivas

DESCRIPCIÓN	DATO
Carga viva de entepiso	200.00 kg/m ²
Carga video de azotea	200.00 kg/m ²

Tabla 12.

Cargas muertas

DESCRIPCIÓN	DATO
Carga muerta de losa (e=0.20m)	300 kg/m ²
Carga de acabados	100.00 kg/m ²

2.11.3. Normatividad

Las viviendas informales por lo general no siguen ninguna normativa establecida. Sin embargo, las propiedades de los materiales que se usan si pasan un control de calidad normado. Es por ello que esta investigación hace los cálculos en función de algunas propiedades de los materiales especificados en las normas, ver Tabla 13.

Tabla 13.

Normatividad

DESCRIPCIÓN	DATO
Cargas	E. 0.20
Diseño sismorresistente	E. 0.30
Concreto armado	E. 0.60
Albañilería	E. 0.70

2.11.4. Modelos estructurales de la albañilería confinada

El comportamiento de la albañilería confiando es compleja, esto debido a la geometría y los materiales que la componen. En la actualidad el método más exacto es el de elementos finitos, ya que este puede representar en fragmentos los esfuerzo en cada deriva del muro de albañilería. Sin embargo, por la complejidad no es viable. Por otra parte, existen método de modelado más sencillos que calculan de una manera aceptable el comportamiento de la albañilería confinada: columna ancha y diagonal equivalente. El más habitual es el modelado de columna ancha.

2.11.4.1. Columna ancha

A partir de este modelo, las estructuras de mampostería se idealizan a través de marcos, ya sean planos o tridimensionales. Los muros de albañilería confinada pueden ser representados por medio de una columna ancha (Figura 21). Esta columna ancha conserva las propiedades mecánicas, físicas de los muros y están ubicados en los centroides.

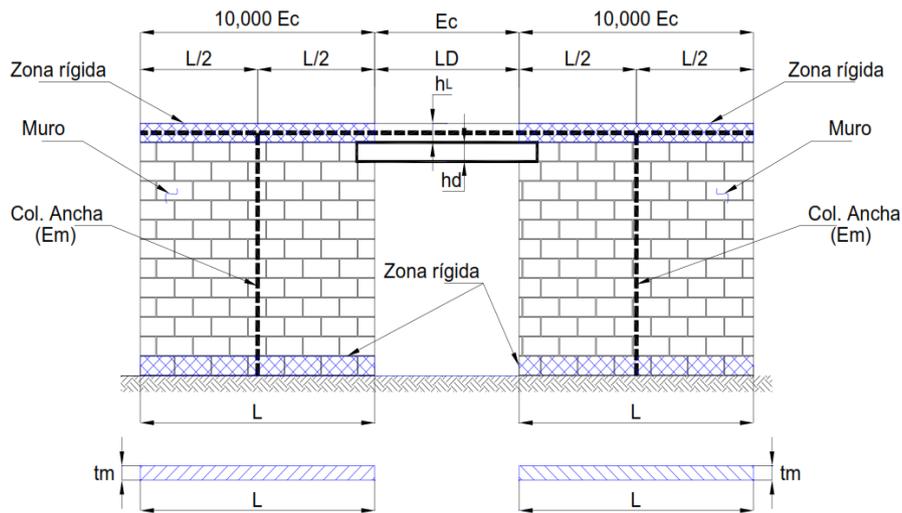


Figura 21. Modelo de columna ancha
(Martines, Cruz, Pérez y Pérez, 2008)

Las vigas soleras son modeladas con rigidez infinita tanto a flexión y corte. Las vigas de amarre son modeladas de acuerdo a la realidad. Durante la aplicación de una fuerza, la rigidez a flexión se mantiene constante y las propiedades a corte se modifican según el daño que se produce (Flores y Alcocer, 2009). Para conocer la capacidad del edificio después de límite lineal elástico, es necesario insertar rotulas al muro (Figura 22). Estas rotulas establecen los umbrales de daño en función del desplazamiento experimentado. Las rotulas se ubican en la base del muro. En la Figura 23 se muestra como es el modelado de columna ancha y la asignación de rotulas para edificaciones de albañilería confinada.

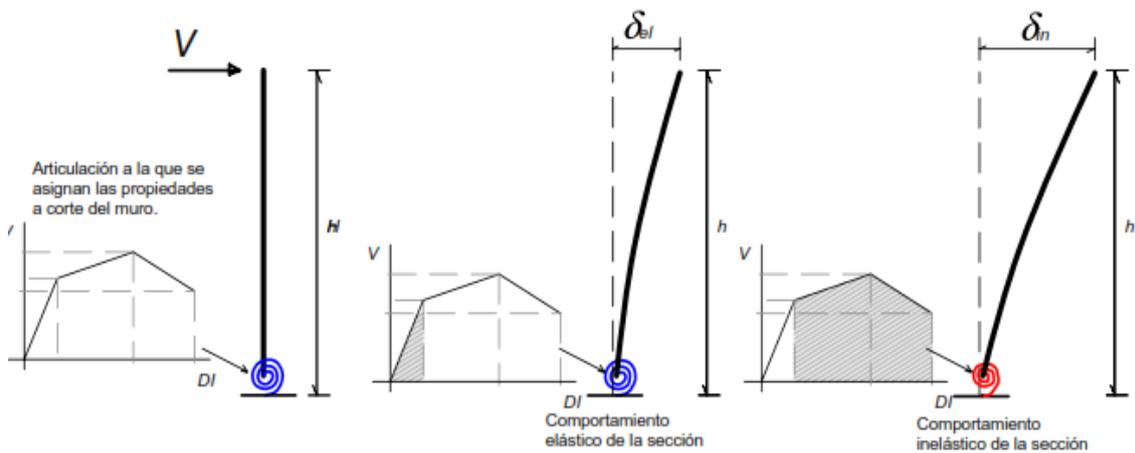


Figura 22. Desempeño de las rótulas en un modelo de columna ancha
(Martines, Cruz, Pérez y Pérez, 2008)

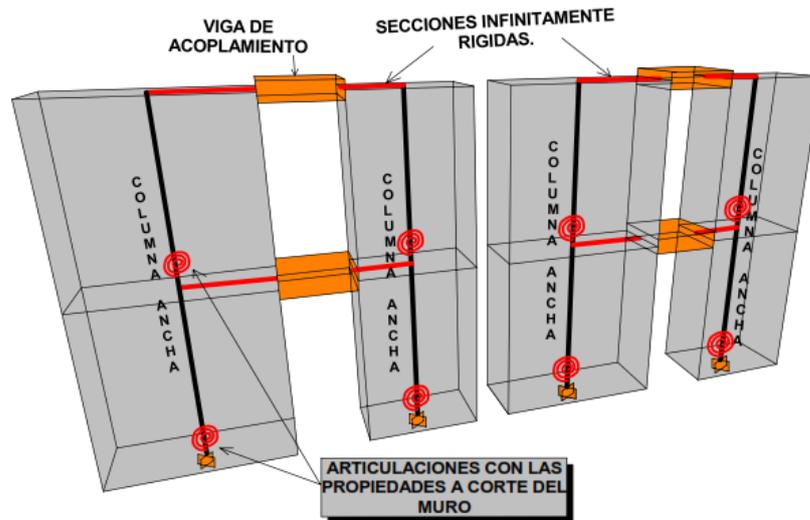


Figura 23. Modelo de columna ancha
(Alcocer, Meli, Sánchez y Flores, 1994)

2.11.4.2. Diagonal equivalente de compresión

Zuñiga (2005) afirma “el efecto de la concentración de esfuerzos en una zona diagonal de los muros producto de la aplicación de cargas laterales, da lugar a la formación de un puntal de compresión”. En base a este conocimiento los muros de mampostería se pueden modelar a través de un diagonal equivalente de compresión (Figura 24). El muro se sustituye por una serie de diagonales. Las propiedades de los diagonales conservan una rigidez equivalente del marco de concreto que confina al muro y de la rigidez a corte del panel de mampostería.

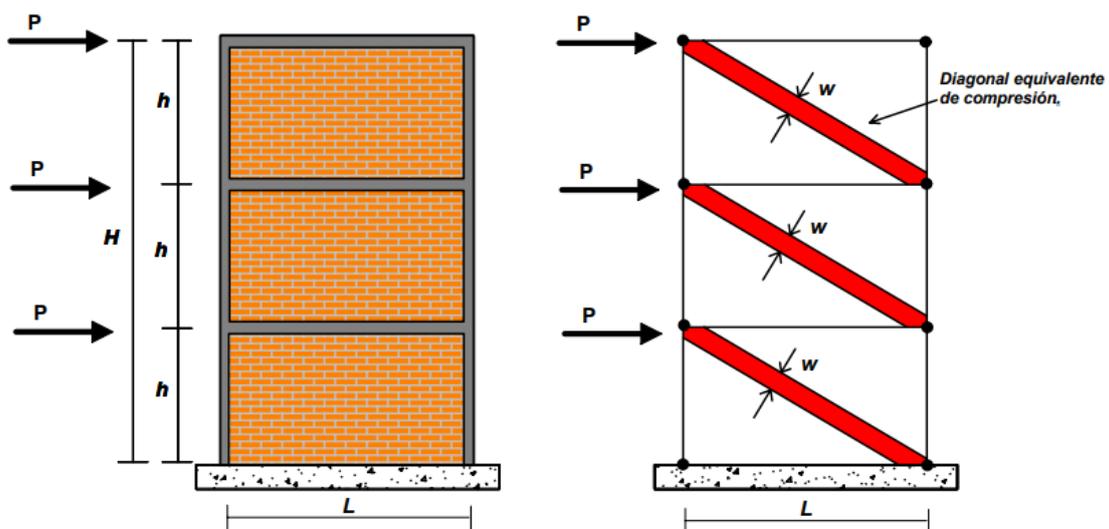


Figura 24. Modelo de la diagonal equivalente de compresión
(Zuñiga, 2005)

2.12. Análisis de demanda sísmica determinística

El análisis de demanda sísmica determinística está en base a sismo que hayan ocurrido en la zona. Este registro del movimiento sísmico sirve para obtener espectros de respuesta de la estructura, y conocer si se presentan niveles de movimiento que pueden generar daños a la misma. Aguilar (2010) menciona que “existen cinco maneras para estimar y generar movimientos sísmicos de diseño”.

- Usar registros de movimientos sísmicos obtenidos en el lugar, para el nivel sísmico de diseño deseado. b. Método teórico basado en el modelo de falla
- Método semi-empírico basado en el modelo de falla
- Usar espectros de respuesta estándar
- Usar registros de movimientos sísmicos alternativos

2.12.1. Construcción del espectro de respuesta

Para construir el espectro de respuesta de aceleraciones absolutas a una sollicitación sísmica expresada por, se usa la integral de Duhamel, la misma que es evaluado para una familia de sistemas de 1GDL en función de su frecuencia, y amortiguamiento común, para obtener la respuesta máxima S , según se muestra en la Figura 25 y Ecuación 3.

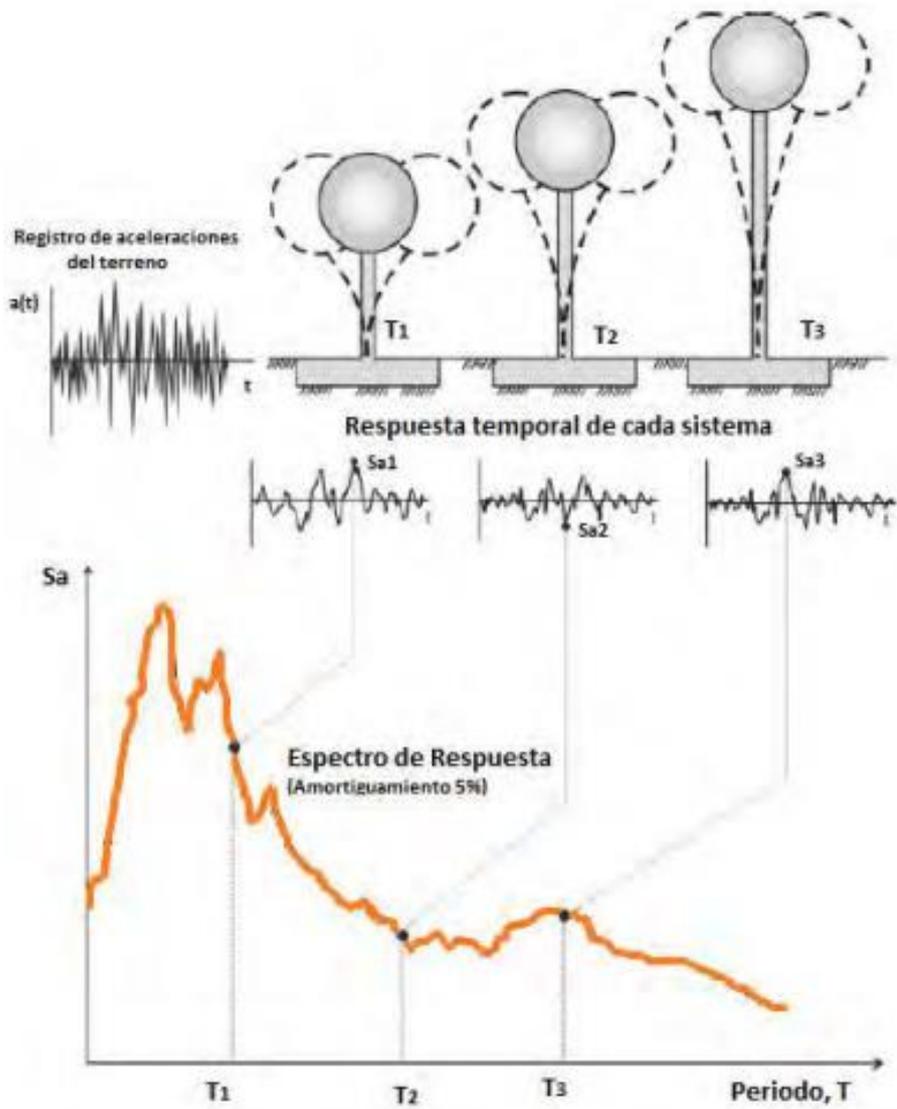


Figura 25. Espectro de respuesta de demanda sísmica
(Santana Tapia, 2012)

$$\ddot{X}(t) = \omega \int_0^t e^{-\omega \times \varepsilon \times (t-\tau)} \times \ddot{X}_g(\tau) \times \text{sen} \omega(t-\tau) d\tau \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 3}$$

Donde:

$\ddot{X}(t)$ =Tiempo de desplazamiento

ω =Frecuencia angular amortiguada

t =Tiempo

ε =Amortiguamiento común

$\ddot{X}_g(\tau)$ =Fuerza externa en el momento τ - función que simula el impulso externo

2.12.2. Conversión del espectro de respuesta en formato (ADRS)

La conversión a Acceleration Displacement Response Spectrum (ADRS) es más comprensible y útil para comparar con el espectro de capacidad. Para la conversión al formato (S_a versus S_d), según se muestra en la Ecuación 4.

$$S_{di} = \left(\frac{T_i^2}{4\pi^2} \right) \times S_{ai} \quad \dots\dots\dots Ecuación 4$$

Donde:

S_{di} = Aceleración espectral

T_i = Periodo natural

S_{ai} = Desplazamiento espectral

2.13. Análisis estático no lineal – pushover

El análisis estático no lineal por el método “pushover”, es usado para conocer el comportamiento de una estructura más allá del rango elástico. Este procedimiento se basa en aplicar un empuje lateral incremental hasta que la estructura llegue al colapso. Para esto es necesario que cada elemento tenga rotulas, están rotulas relaciona la fuerza y desplazamiento que puede soportar el elemento estructural. En un primer caso la estructura está en reposo, teniendo solo esfuerzo por gravedad. Luego se aplica fuerzas laterales hasta que un elemento de un entrepiso llega a la deriva máxima del rango elástico. Llegado a este límite comienza el análisis no lineal estático bajo la metodología pushover con lo cual los elementos que están en rango inelásticos siguen soportando fuerzas laterales pero su rigidez se va reduciendo a medida que incrementa la fuerza aplicada. Este proceso continúa hasta que toda la estructura llegue al colapso o se llegue a un límite previamente establecido. Al finaliza el cálculo se tiene como resultado una curva de capacidad global y local. La curva relaciona la fuerza lateral (V) con el desplazamiento (D). Esta metodología es muy aceptada para conocer el comportamiento más allá del rango elástico. Este análisis estático no lineal - pushover se basa en dos principales cosas: el nivel de detalle en el modelado de la estructura y el sismo con el cual se aplicará las fuerzas laterales.

2.13.1. Capacidad estructural

La capacidad estructural está en función de la resistencia de la estructura y deformación máxima que puedan resistir los elementos. Los análisis que se usan comúnmente calculan en base al límite elástico. Sin embargo, para conocer la capacidad de una estructura se requiere saber el comportamiento en el límite inelástico, este tipo de cálculo se denomina análisis no lineal. Comúnmente la curva de capacidad esta en relación a la resistencia ante una carga lateral versus su desplazamiento característico. Santana (2012) menciona “la curva de capacidad se construye generalmente para representar la respuesta del primer modo de la estructura, basado en la hipótesis según la cual el modo fundamental de vibración corresponde a la respuesta predominante. Esto es generalmente valido para estructuras con periodos propios menores que un segundo”. En el caso de estructuras más flexibles, se debe tener en cuenta la influencia de los modos más altos de vibración.

Para el análisis estático no lineal de muros de albañilería confinada se tiene que tener en cuenta que la capacidad estructural está en función de las curvas de capacidad locales que corresponde a como se desarrolla teóricamente el desplazamiento de los muros al ser sometidas a una fuerza lateral en su eje longitudinal. Con este fin se aplica la formula empírica propuesta en la investigación de Riahi, Elwood y Alcocer (2009). En la investigación de Riahi et al. (2009) se plantean tres puntos de control, donde el muro pasa de un estado de daño a otro, ver Figura 27. Los datos necesarios para las ecuaciones, que se exponen más adelante, se sacan del modelado estático lineal.

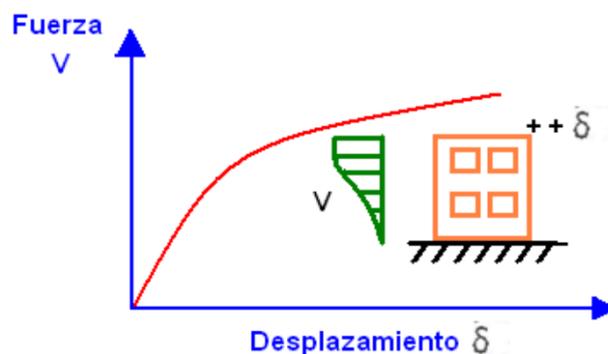


Figura 26. Curva de capacidad de una estructura
(ATC-40, 1996)

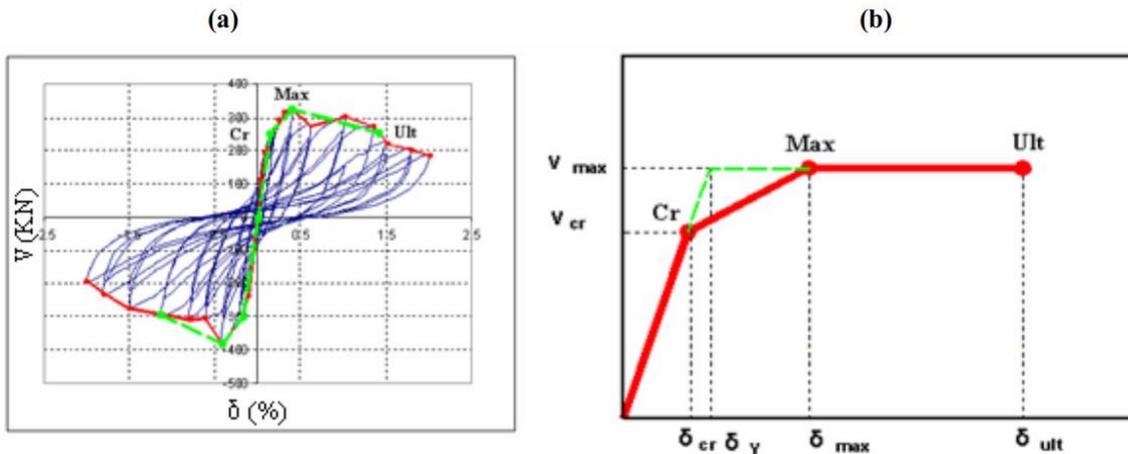


Figura 27. (a) Determinación de los parámetros del modelo en función de la respuesta registrada (b) Curva de capacidad analítica
(Riahi et al., 2009)

2.13.1.1. Primer punto

El primer punto pertenece al estado donde el muro de albañilería con las columnas de confinamiento funciona como un solo elemento monolítico, este primer estado para muros sin aberturas se calcula mediante la Ecuación 23. Tener en cuenta que el V_{cr} está en función de dos ecuaciones, el menor valor de estos es el resulta que se adopta.

$$V_{cr} = \begin{cases} 0.424 \times v_m + 0.374 \times \sigma_v \\ v_m \end{cases} \dots\dots\dots \text{Ecuación 5}$$

Donde:

V_{cr} = Cortante critica

V_m =Resistencia al corte del muro de albañilería

σ_v =Carga gravitacional en el muro, 100%CM y 25%CV

Se sabe que en el sistema de albañilería confina la falla por corte es la que predomina. Al suceder esta falla en el rango lineal del muro, su rigidez se ve reducida hasta un 40% (Riahi et al., 2009). Este punto es donde el elemento pasa de un estado lineal a uno no lineal. En la Ecuación 24 se verifica el cálculo para un muro. De la Ecuación 24, el valor menor es el resultado. Este cálculo se realiza para cada muro en x-x y y-y. Sin embargo, para los muros con aberturas se realiza una reducción de fuerza resistente del muro, ver Ecuación 25 y

Ecuación 26. En la Ecuación 27 se observan la primera y segunda línea de ecuación propuestas por Riahi et al. (2009) y Lovon (2017), respectivamente.

$$\beta = \frac{L_w \times B_w}{L \times B} \dots\dots\dots \text{Ecuación 6}$$

$$\text{Si } \beta = 0 \dots\dots\dots \text{Ecuación 7}$$

$$V_{cr} = V'_{cr}$$

$$\text{Si } \beta \neq 0 \dots\dots\dots \text{Ecuación 8}$$

$$V_{cr} = \begin{cases} V'_{cr} \times (-2.2 \times \beta + 1) \\ V'_{cr} \times (0.45) \end{cases}$$

Donde:

β =Relación de abertura con respecto al muro

L_w =Longitud de la abertura en el muro

B_w =Altura de la abertura en el muro

L =Longitud de muro

B =Altura de muro

2.13.1.2. Segundo punto

El segundo se da cuando después que el muro comienza a tener agrietamientos, y estos se extienden hasta las columnas de confinamiento. Es aquí donde las columnas de confinamiento comienzan a ser solicitadas. Es por esa razón que en la Ecuación 28 se incorpora las propiedades de la columna de confinamiento.

$$V_{m\acute{a}x} = 0.21 \times v_m + 0.363 \times \sigma_v + 0.0141 \times \sqrt{p_{vc} \times f_{yvc} \times f'_c} \geq V_{cr} \dots\dots\dots \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$V_{m\acute{a}x}$ =Resistencia máxima al corte

p_{vc} =Cuantía de la columna de confinamiento

f_{yvc} =Resistencia ala fluencia del acero longitudinal de la columna de confinamiento

f'_c =Resistencia a la compresión del concreto de la columna de confinamiento

Al igual que V_{cr} , esto se realiza para cada muro en x-x y y-y.

2.13.1.3. Tercer punto

El tercer punto es cuando se da el pandeo en las columnas de confinamiento y la trituración de la albañilería confinada. Este punto sucede cuando se reduce el 20% de la resistencia con el respeto a segundo punto ($V_{m\acute{a}x}$) (Riahi et al., 2009 y Lovon, 2017), ver Ecuación 30. En la Ecuación 31 se calcula el V_{ul} para el primer muro en x-x de la muestra 1.

$$V_{ul} = 0.8 \times V_{ult} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 10}$$

Donde:

V_{ult} = Resistencia última al corte

2.13.2. Espectro de capacidad

Con la obtención de la curva de capacidad se puede obtener el espectro de capacidad, la cual asocia la aceleración espectral (S_a) y desplazamiento espectral (S_d).

El proceso general para convertir la Curva de Capacidad a Espectro de Capacidad es, primero para el modo fundamental calcular el factor de participación modal PF_1 (Ecuación 5) y el coeficiente de masa efectiva (Ecuación 6). Segundo, para cada punto sobre la curva de capacidad (V), calcular el asociado punto (S_a , S_d), usando la Ecuación 7, 8 y 9.

$$PF_1 = \frac{\sum_{i=1}^N \left(\frac{W_i}{g} \right) \times \phi_{i1}}{\sum_{i=1}^N \left(\frac{W_i}{g} \right) \times \phi_{i1}^2} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 11}$$

$$\alpha_1 = \frac{\left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{W_i}{g} \right) \times \phi_{i1}^2 \right]^2}{\left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{W_i}{g} \right) \right] \times \left[\sum_{i=1}^N \left(\frac{W_i}{g} \right) \times \phi_{i1}^2 \right]} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 12}$$

$$S_{ai} = \frac{V_i}{\alpha_1 \times W} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 13}$$

$$S_{di} = \frac{\Delta_{techo,i}}{PF_{R1}} = \frac{\Delta_{techo,i}}{PF_1 \times \phi_{techo,1}} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 14}$$

$$S_{di} = \left(\frac{T_i^2}{4\pi^2} \right) \times S_{ai} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 15}$$

Donde:

PF_1 = Factor de participación modal para el primer modo natural

α_1 = Coeficiente de masa efectiva para el primer modo natural

S_{ai} = Aceleración espectral

S_{di} = Desplazamiento espectral

T_i = Periodo modal de vibración

PF_{R1} = Factor de participación modal para el primer modo natural en el techo

W_i = Peso asignado al nivel i

ϕ_{i1} = Amplitud del modo 1 en el nivel i

N = Nivel N, el nivel que es el más alto en la parte principal de la estructura

V_i = Cortante basal.

W = Peso muerto del edificio más 25% carga viva.

$\Delta_{techo,i}$ = Desplazamiento del techo.

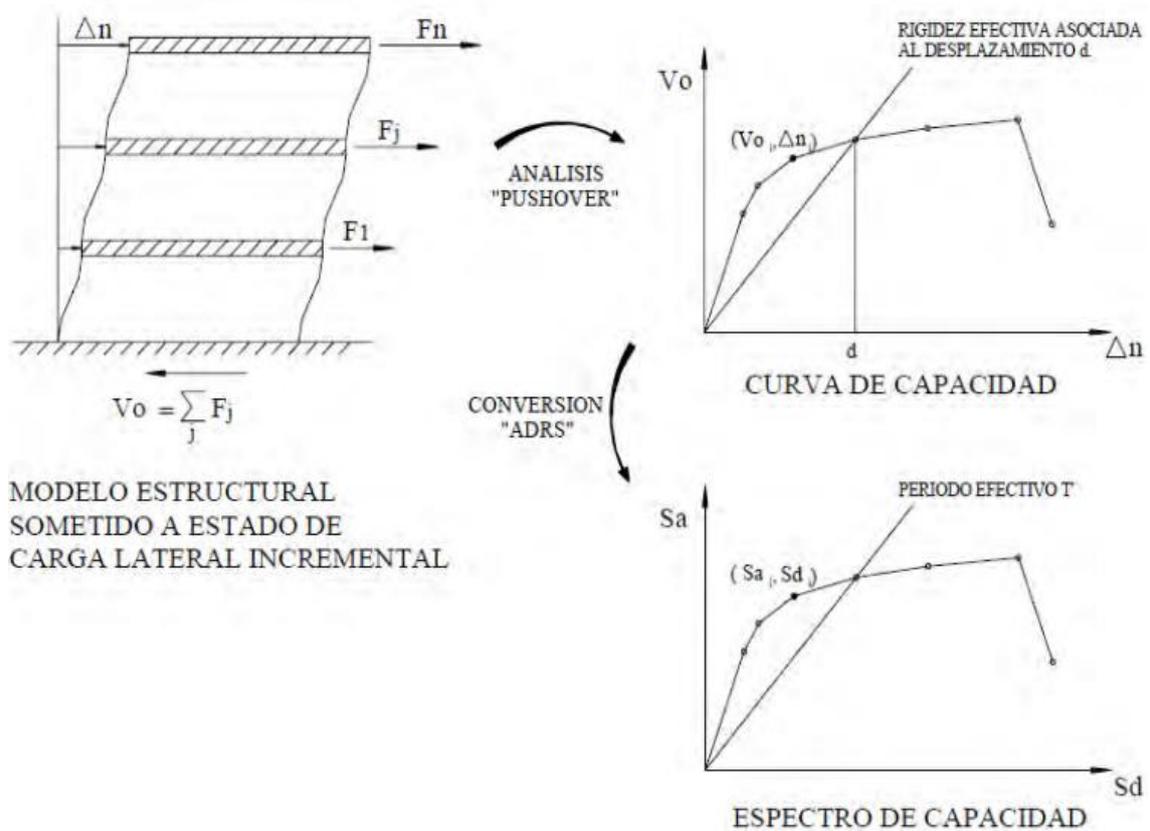


Figura 28. Transformación de la curva de capacidad a espectro de capacidad
(Astroza y Schmidt, 2004)

En la Figura 28 se observa de manera visual como se realiza el análisis Pushover y la transformación de la curva de capacidad a espectro de capacidad. En un inicio se tiene la estructura tridimensional a la cual se le somete a un estado de carga lateral incremental. Durante este proceso se va desarrollando la curva de capacidad que relaciona la fuerza lateral con el desplazamiento del edificio. Luego se convierte la curva de capacidad a un espectro de capacidad con el fin de realizar el análisis de vulnerabilidad sísmica.

2.13.2.1. Factor de participación modal y coeficiente de Masa efectiva

Santana (2012) menciona “el método Pushover transforma un sistema de múltiples grados de libertad a un sistema equivalente de un grado de libertad, haciendo uso de las propiedades dinámicas del modo fundamental de vibración que nos permita calcular el Factor de Participación Modal y el Coeficiente de Masa Efectiva” (Ecuación 10 y Ecuación 11). Cada modo de un sistema de múltiples GDL puede ser representado por un sistema equivalente de un GDL con masas (M^*) y rigideces (K^*) efectivas. M^* y K^* están en función de las formas de

modo (Figura 29), ver Ecuación 12 y Ecuación 13. Esta representación se usa para obtener el espectro de capacidad de un edificio de varios pisos. Santana (2012) afirma “para cada forma de modo de vibración, con el periodo, la forma de modo, la distribución de masas, y la obtención del espectro de respuesta y del espectro de capacidad por el procedimiento descrito, se puede calcular la máxima respuesta de la estructura frente a terremotos”.

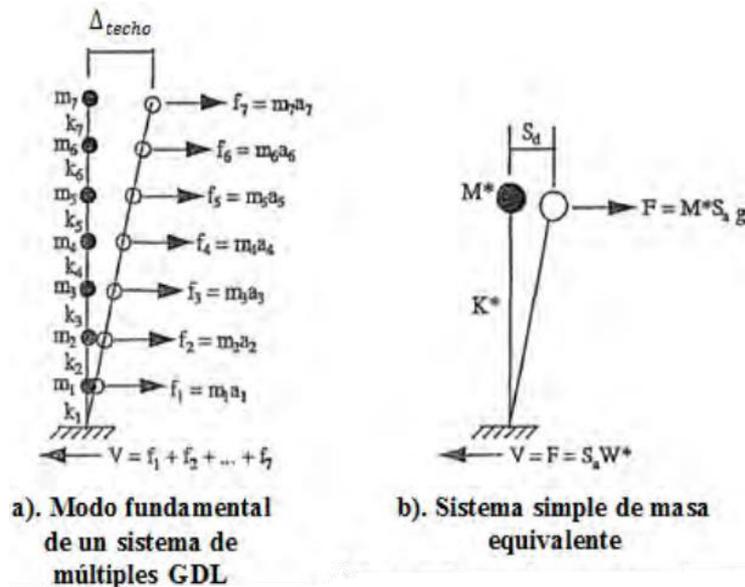


Figura 29. Sistema de múltiples GDL, representando por un sistema equivalente de masa única
(Astroza y Schmidt, 2004)

$$\Delta_{techo} = PF_{R1} \times S_d \quad \dots\dots\dots Ecuación 16$$

$$V = (\alpha_1 \times W) \times S_d \quad \dots\dots\dots Ecuación 17$$

$$W = (m_1 + m_2 + \dots + m_7) \times g \quad \dots\dots\dots Ecuación 18$$

$$W^* = \alpha_1 \times W \quad \dots\dots\dots Ecuación 19$$

Donde:

Δ_{techo} = Desplazamiento del techo

PF_{R1} = Factor de participación modal para el primer modo natural en el techo

S_d = Desplazamiento espectral

V = Cortante basal

α_1 = Coeficiente de masa efectiva para el primer modo natural

W = Peso muerto del edificio más 25% carga viva.

m_i = Masa del piso i

g = Gravedad

W^* = Peso muerto del edificio equivalente en un sistema simple

2.13.2.2. Valor estándar de participación modal y masa efectiva

Tanto la participación modal y masa efectiva pueden ser calculada en función de la masa y la amplitud, estos en el sistema de múltiples GDL, ver Ecuación 14 y Ecuación 15. Sin embargo, existen ecuaciones sencillas en función del número de pisos propuestas por (Santana, 2012).

$$\alpha_1 = 0.9814 \times N^{-0.1068} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 20}$$

$$PF_{R1} = N^{0.14} \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 21}$$

Donde:

N = Número de pisos

α_1 = Coeficiente de masa efectiva para el primer modo natural

PF_{R1} = Factor de participación modal para el primer modo natural en el techo

El fin de transformar la curva de capacidad a un espectro de capacidad es el de compararlo con el espectro de demanda sísmica. La intersección de ambas curvas viene a ser el punto de desempeño (PD), también conocido como "performance point". Este punto representa la máxima distorsión que tendrá una estructura ante el sismo de demanda. En la Figura 30 se observa la superposición de espectro de capacidad y demanda, en el eje de las abscisas se tiene el desplazamiento espectral y en el eje de las ordenadas la aceleración espectral en función de la gravedad (g).

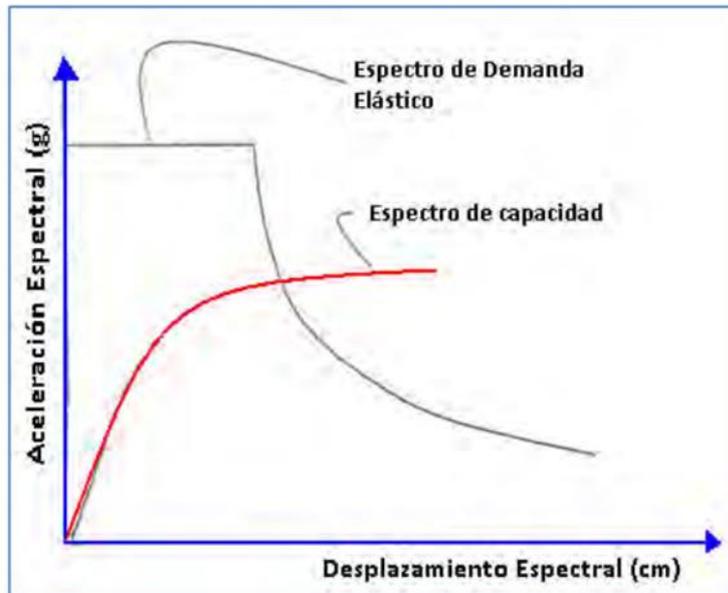


Figura 30. Superposición del espectro de capacidad y el espectro de demanda
(Burgos, 2007)

2.14. Curvas de fragilidad

La fragilidad de un edificio esta relaciona con su vulnerabilidad sísmica y se cuantifica mediante curvas de fragilidad. Las curvas de fragilidad son la representación gráfica de la función de distribución acumulada de la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño limite especifico dada una respuesta estructural ante una acción sísmica. Para generar las curvas de fragilidad es necesario tener una base de datos amplia. Es aceptable que si la base de datos es pequeña, esta se pueda ampliar mediante métodos probabilísticos (Oliva, 2017). Para esto es necesario conocer conceptos básicos de estadística, probabilidad y la simulación Montecarlo.

2.14.1. Conceptos básicos de estadística y probabilidades

“La estadística tiene que ver con la determinación de algunas medidas de incertidumbre a partir de experimentos realizados en objetos reales, la probabilidad estudia modelos matemáticos ideales que pueden aplicarse al estudio de la aleatoriedad” (Velásquez, 2004).

Cuando se estudia un sistema estructural, es necesario tomar en cuenta que los parámetros estructurales involucrados son de naturaleza aleatoria, por lo tanto, deberán ser descritos estocásticamente. Considerando además que, los parámetros sísmicos son aleatorios y la muestra a manejar es elevada, los métodos convencionales de probabilidad no resultan aplicables. Para el manejo de esta cantidad de datos aleatorios se hace uso de

la simulación Montecarlo. Velásquez (2004) menciona “El método de Montecarlo es una herramienta general que salva esa dificultad y puede aplicarse a casos más complejos. Consiste en la generación de estadísticas artificiales de las respuestas por medio de modelos probabilistas de los parámetros”.

2.14.1.1. Distribuciones de probabilidades

Las distribuciones normales y log normales son aplicadas a menudo en aplicaciones de fragilidad, vulnerabilidad y riesgo. Esto se debe a que los datos se pueden plasmar en gráficas, con lo cual hace posible un mejor entendimiento de los datos.

Si una cantidad X se distribuye normalmente con el valor medio μ y una desviación estándar σ , puede asumir cualquier valor escalar en $-\infty < X < \infty$. Se debe tener en cuenta que cuanto mayor sea σ , más incierto es X. La función de densidad de probabilidad normal o Gaussiana se expresa en la Ecuación 16 (Figura 31), y como se muestra en la Ecuación 17 a veces se expresa en la forma normalizada con la letra griega en minúscula ϕ (Porter,2017).

$$f_x(x) = \frac{1}{\sigma \times \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}} \dots\dots\dots \text{Ecuación 22}$$

$$f_x(x) = \phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 23}$$

Donde:

$f_x(x)$ = Función de densidad de probabilidad

σ = Desviación típica

x = Abscisas

μ = media

ϕ = Función de densidad normalizada

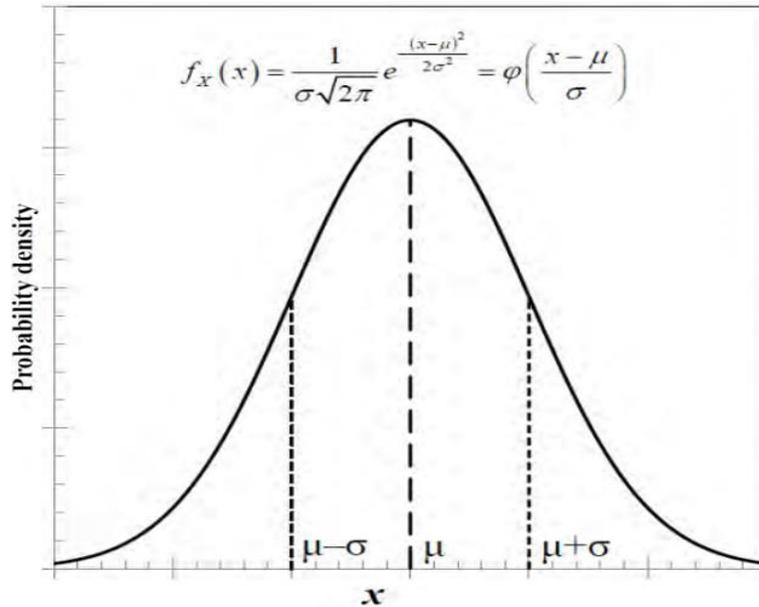


Figura 31. Función de densidad de probabilidad normal
(Porter, 2017)

La función de distribución acumulada normal estándar se puede calcular mediante la Ecuación 18 y su expresión gráfica se observa en la Figura 32 (a).

$$P[X \leq x] = F_x(X) = \int_{-\infty}^x \frac{1}{\sigma \times \sqrt{2\pi}} \times e^{-\frac{(z-\mu)^2}{2\sigma^2}} dz = \Phi\left(\frac{x-\mu}{\sigma}\right) \dots\dots\dots \text{Ecuación 24}$$

Donde:

$P[X \leq x]$ = Probabilidad de que X sea menor o igual a x

$F_x(X)$ = Función de distribución acumulada

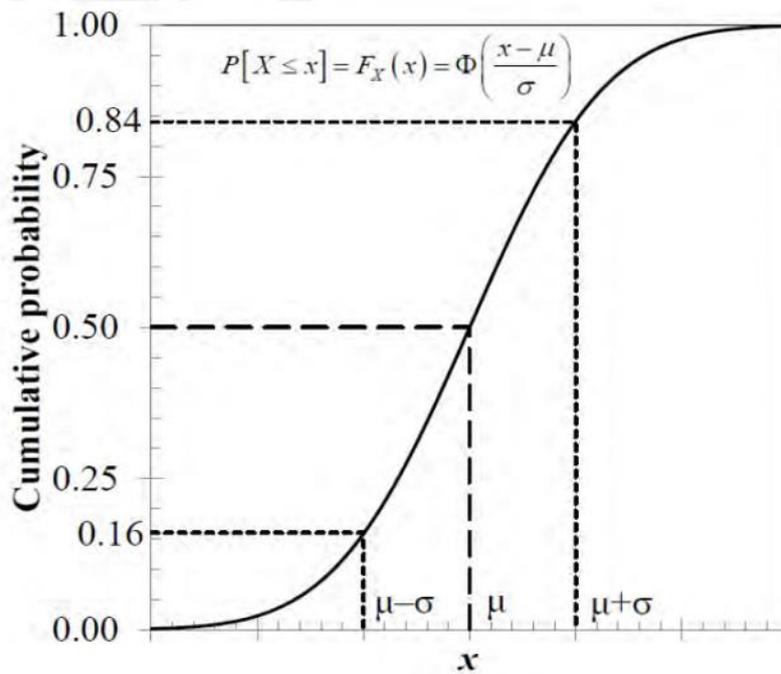
σ = Desviación típica

x = Abscisas

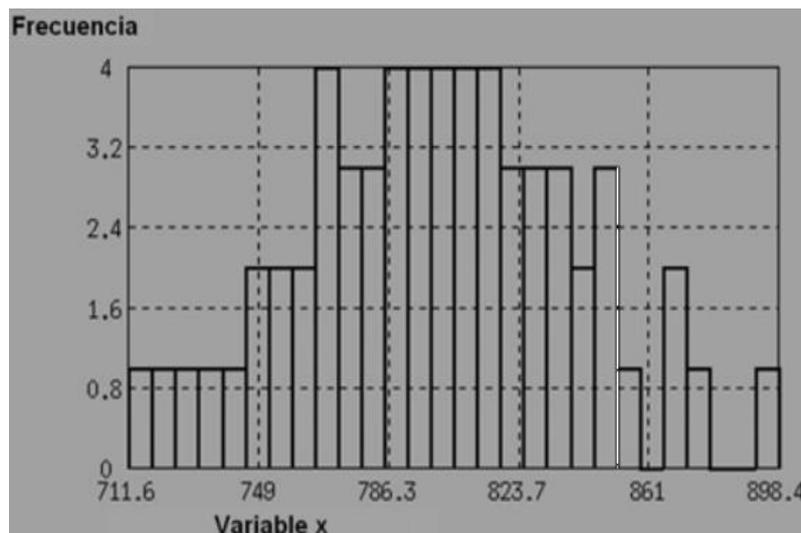
μ = media

z = Variable de integración

Φ = Función de distribución acumulativa normal estándar



(a)



(b)

Figura 32. (a) Función de distribución acumulada de una variable x (b) Histograma típico de una variable x

(Porter,2017)

2.14.2. Desarrollo de las curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad se obtienen mediante el ajuste normal polinómico que se realiza a los puntos que relacionan la probabilidad de daño para una intensidad sísmica. Las curvas de fragilidad relacionan en el eje de las ordenadas la probabilidad de sobrepasar un estado de daño con el eje de las abscisas la demanda sísmica que puede estar representada

por la aceleración pico efectiva (PGA) o la velocidad pico efectiva (PGV), el desplazamiento espectral (Sd) o la aceleración espectral (Sa). Busso y Jorge (2015) mencionan “la obtención de las curvas de fragilidad relaciona el Parámetro indicador de la Intensidad Sísmica (PIS) con la probabilidad de excedencia (FD) de un estado de daño (EDi)” (Ecuación 19).

$$FD = P[ED \geq ED_i / PIS = PIS_i] \quad \dots\dots\dots Ecuación 25$$

Donde:

FD=Probabilidad de excedencia

ED=Estado de daño

PIS=Parámetro indicador de la intensidad sísmica

La Figura 33 muestra un ejemplo de curvas de fragilidad para un tipo de estructura. La intensidad sísmica se ha definido por la aceleración máxima del suelo. Se observa que para una aceleración de 0,30g (“g” es la aceleración de la gravedad), la probabilidad de que esta edificación presente un daño completo será de 37%. También se observa que el 35% de edificios de este tipo sufrirían daño severo, el 20 % daño moderado y solo el 8% daño leve, ante la misma intensidad sísmica de 0,30g.

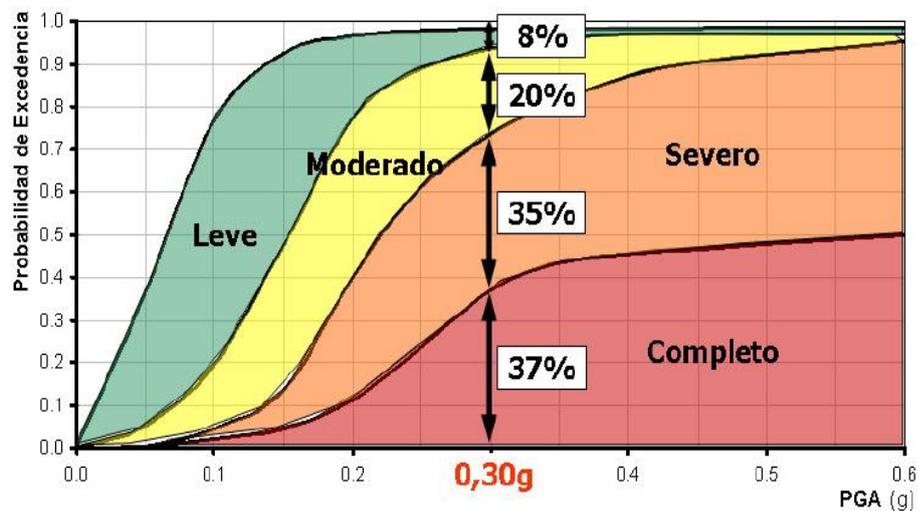


Figura 33. Ejemplo de curvas de fragilidad para un PGA desde 0 hasta 0.6 (Velásquez y Blondet 2005)

2.15. Fragilidad estructural

A partir de las curvas de fragilidad es posible obtener la probabilidad de ocurrencia de cada estado de daño y construir matrices de probabilidad de daño o también denominado

fragilidad estructural. Dada un PGA, se puede saber la probabilidad de daño que tendrá la vivienda de sufrir cada umbral de daño. Así, por ejemplo, la probabilidad de que se dé el estado de daño moderado para un PGA, vendrá dada por la diferencia entre la probabilidad el umbral de daño moderado menos la probabilidad del umbral de daño severo. Para evaluar cada caso se usa la Ecuación 20.

$$P(ED_i/Sd) = P_c(ED_i/PGA) - P_c(ED_{i+1}/PGA) \quad \dots\dots\dots Ecuación 26$$

Donde:

$P(ED_i/Sd)$ = Probabilidad de que ocurra el estado de daño ED_i cuando la estructura tiene el PGA.

$P_c(ED_i/PGA)$ = Probabilidad de excedencia de ED_i para un PGA , es decir, las curvas de fragilidad correspondiente al ED.

La Figura 34 muestra el procedimiento de lectura de los estados de daño sobre las curvas de fragilidad.

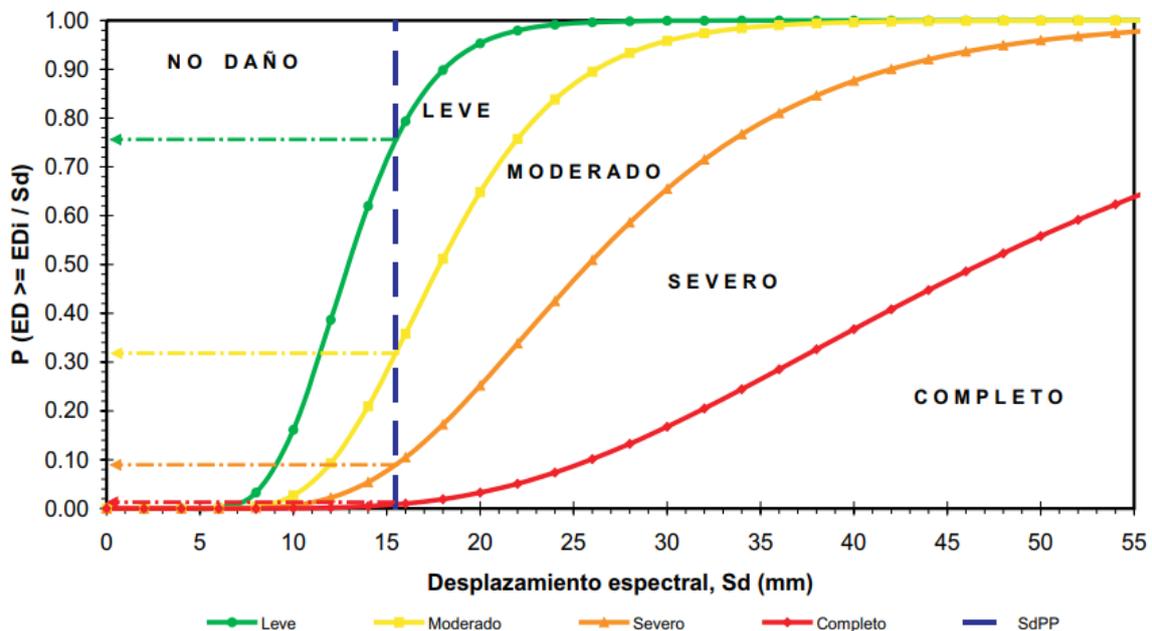


Figura 34. Lectura de los ED sobre las curvas de fragilidad

Capítulo III. Materiales y Métodos

3.1. Generalidades del área de estudio

El departamento de Lima se subdivide en dos gobiernos: Lima Metropolitana y Lima (departamento), dentro de Lima (departamento) está ubicado el distrito de Lurigancho, en Lurigancho se ubica Ñaña y en este se ubica la población de A.H. Los Sauces. Esta población del A.H. Los Sauces está ubicada geográficamente a $11^{\circ} 59' 8.13''$ latitud Sur y $76^{\circ} 50' 26''$ latitud Oeste a una altura de 510 m.s.n.m. Con referencia a Lima Metropolitana el A.H. Los Sauces esta hacia las afueras, a 19.5 km en dirección este por medio de la Carretera Central. La topografía del lugar presenta dos características principales: montañoso y ondulado. El terreno montañoso se presenta por el Norte y Oeste a diferencia del Sur y Oeste que se presenta un terreno ondulado, esto sucede producto de la red fluvial Rímac. Además, según la Municipalidad de Lurigancho – Chosica el uso del suelo es zona Residencial de Media Densidad (RDM).



Figura 35. Población del A.H. Los Sauces
(Google Earth, 2018)

Además, la población del A.H. Los Sauces tiene como limitación por el Norte, Oeste, Sur y Este a la Alameda de Ñaña, Universidad Peruana Unión, cerro Cuncacucho y río Rímac, respectivamente (Figura 35).

3.2. Tipo de investigación

Se ha clasificado el tipo de investigación de acuerdo a:

3.2.1. El fin que se persigue.

Es una investigación aplicada, ya que se busca conocer la realidad problemática de la vulnerabilidad sísmica.

3.2.2. Los tipos de datos analizados

Es una investigación cuantitativa, ya que se busca conocer la realidad de las viviendas del A.H. Los Sauces a través de la recolección y un análisis de datos confiable. Con estos cálculos se realizará la evaluación y discusión del desempeño de las estructuras.

3.2.3. La metodología para demostrar la hipótesis

Es una investigación analítica ya que no solo se identifica los niveles de sismo, sino que mediante el uso de programas de software de cálculo comercial se analizan las viviendas y se observa el daño probable de las viviendas. Se observa mediante curvas de fragilidad, la relación causa – efecto.

3.3. Nivel de investigación

El nivel de la presente investigación es correlacional, ya que la presente investigación no solo se limite a conocer las características de las viviendas del A.H. Los Sauces. Más bien se extiende a predecir el comportamiento que pueden llegar a tener las viviendas con sus características actuales frente a un sismo.

3.4. Limitaciones de la investigación

3.4.1. Delimitación espacial

Según el diseño de la muestra el presente trabajo de investigación se delimita a viviendas de albañilería confinada ubicadas en el A.H. Los Sauces.

3.4.2. Delimitación temporal

Los resultados de la fragilidad estructural de la presente investigación solo responden a la caracterización realizada el mes de marzo de 2018. Esto se debe que al transcurrir el tiempo las viviendas pueden aumentar de pisos, por tanto, la fragilidad estructural cambia.

3.4.3. Delimitación estructural

De acuerdo al reporte técnico de microzonificación sísmica geotecnia de la cuenca del río Rímac, Ñaña está ubicado sobre suelo GM-GW con presencia de arenas, con una capacidad portante de 1.0 a 1.6 kg/cm² (Instituto Geofísico y Ministerio del Ambiente, 2012) (Anexo I). Las viviendas de albañilería confinada distribuyen la carga a lo largo de los muros, por tal motivo la capacidad portante de entre 1.0 a 1.6 kg/cm² es adecuada. Con esta información se opta por centrar la investigación en la superestructura, ya que esta es más propensa a sufrir daños frente a un sismo.

3.4.4. Caso de investigación

El caso de investigación está compuesto por una muestra de seis viviendas: tres de uno y tres de dos pisos construidas con el sistema estructural de albañilería confinada (Tabla 14).

Tabla 14.
Caso de investigación

Número de pisos	Muestra
1	1, 2 y 3
2	4, 5 y 6

3.5. Operacionalización de variables

En Tabla 15 y Tabla 16 se explican las variables

Tabla 15.

Operacionalización de variables independientes

Variable Independiente	Definición conceptual	Dimensiones
Sistema estructural	Tipo de sistema estructural sismorresistentes	<ul style="list-style-type: none"> • Albañilería confinada (global) • Aporticado (global)
Estructuración	Distribución de elementos estructurales sismorresistentes	<ul style="list-style-type: none"> • Muros de albañilería (global) • Columnas de confinamiento (global) • Vigas de amarre (global) • Vigas solera (global)
Histéresis	Capacidad de deformación del muro de albañilería	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza lateral (tn) • Desplazamiento (cm)
Curva de capacidad	Resistencia ante una carga lateral de toda una estructura	<ul style="list-style-type: none"> • Fuerza cortante (tn) • Desplazamiento (cm)
Espectro de capacidad	Representación de la reacción de una estructura ante la vibración del suelo que la soporta	<ul style="list-style-type: none"> • Pseudoaceleración (g) • Pseudodesplazamiento (cm)
Espectro de demanda	Es la representación de la excitación de un sismo.	<ul style="list-style-type: none"> • Pseudoaceleración (g) • Pseudodesplazamiento (cm)
Matriz de probabilidad de daño	Expresión discreta de la posibilidad de que la vivienda sufra un daño debido a un sismo determinado	<ul style="list-style-type: none"> • PGA (g) • Probabilidad de excedencia (%)

Tabla 16.

Operacionalización de variable dependiente

Variable dependiente	Definición conceptual	Dimensiones
Curvas de fragilidad	Estas representan la probabilidad de que la respuesta de una estructura exceda un determinado estado límite, en función de la pseudo-aceleración.	<ul style="list-style-type: none"> • PGA (g) • Probabilidad de excedencia (%)

3.6. Materiales y Equipos

- Cartilla de sensibilización: Usada para dar a conocer a la población la investigación que se realizara (Anexo III).
- Distanciometro: Para tener una medida rápida y precisa de las dimensiones de la estructura de las viviendas (Figura 36).
- Flexómetro: Para medir en lugares donde no se pueda usar el distancio-metro (Figura 36).
- Equipo de seguridad: Para la seguridad y que la población nos identifique.
- Microsoft Excel V. y Word 2010: Para realizar cálculos y redactar.
- Encuestas: Para realizar la caracterización del A.H. Los Sauces.
- AutoCAD V.2015: En su versión de estudiante otorgado por Autodesk, se utilizará para poder realizar los planos de las viviendas analizadas.
- Programa de cálculo computacional comercial: Se utilizará para en análisis estático lineal y no lineal.
- MATLAB R2016a: Para hacer el código de fuente para curvas de fragilidad.



Figura 36. Distanciometro y flexómetro usados en la caracterización de las edificaciones

3.7. Procedimiento de análisis

De manera general en la Figura 37 se muestra el diagrama de flujo del procedimiento de análisis.

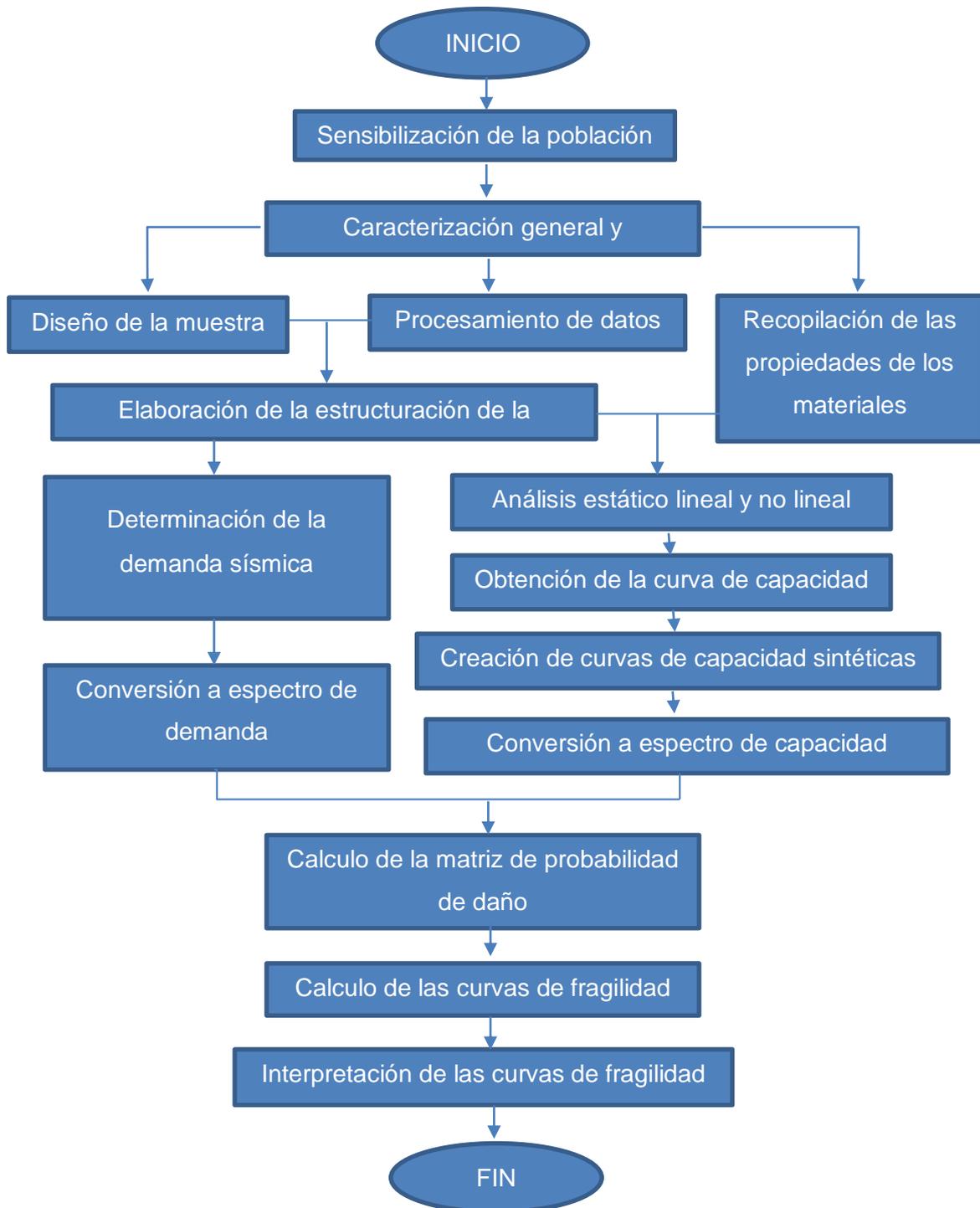


Figura 37. Diagrama de flujo del procedimiento de análisis

3.7.1. Sensibilización de la población

El proceso de sensibilización consiste en realizar dos charlas (Figura 38), en las que se explica los procesos constructivos erróneos, el paso de tuberías inadecuado, etc. Con la intención de que la población pueda comprender de una manera clara lo que puede causar la autoconstrucción, se usa una cartilla de sensibilización (Anexo III). La finalidad de la sensibilización es poder acceder a las viviendas para obtener datos precisos.



Figura 38. Charla de sensibilización a la población del A.H. Los Sauces

La cartilla de sensibilización está en dos caras de hoja A4. En la primera hoja contiene información de los sismos más importantes ocurridos en diferentes lugares de la costa (Tabla 17). Asimismo, contiene información sobre las zonas de riesgo sísmico. Según este mapa de riesgos sísmico y tsunami, la población del A.H. Los Sauces de Ñaña está ubicado en una zona denominada “Zona más vulnerables de Lima”, siendo esta la zona con peligro más crítico. De esta manera se introduce a que la población conozca que existen estudios que clasificación a esta zona como peligrosa.

Además, se incluye una gráfica que relaciona la magnitud en la escala de Richter con la energía que libera. En esa grafica se observa que la energía liberada es logarítmica con relación a la magnitud, a partir de la magnitud cinco es donde comienza a incrementar exponencialmente. Con este dato se busca que la población conozca que las magnitudes menores a cinco suceden muy a menudo y en muchos casos son imperceptibles. No obstante, las magnitudes superiores a 5, son más intensas con cada punto que sube. En la segunda hoja de la cartilla de sensibilización se expone casos que deterioran o expones a que la vivienda tenga un desempeño bajo frente a un sismo.

Tabla 17.
Sismos importantes ocurridos en la costa peruana

Lugar	Año	Intensidad (Mw)	Consecuencia
Moyobamba	2005	7.5	Murieron 10 personas. Colapsaron 660 viviendas.
Lima	1974	8.1	Murieron 78 personas. Pérdidas materiales en 2700 millones de soles.
Pisco	2007	8.0	Murieron 595 personas. Colapsaron 76 000 viviendas.
Acari	2013	7.1	Heridas 48 personas. Damnificados 1763
Arequipa	2001	7.6	Murieron 595 personas. Colapsaron 76 000 viviendas
Chile-Iquique	2014	7.6	Murieron 5 personas. Daños no reparables en 1 376 viviendas

3.7.2. Caracterización general de las edificaciones

Con el fin de conocer la distribución de los sistemas estructurales existentes del A.H Los Sauces de Ñaña, se aplica una primera encuesta, según los lineamientos de Alarcón (2003) (Anexo IV). Esta ficha está compuesta por información que sirve para verificar si la zona cumple con los criterios de selección, de ser así se acepta la zona de estudio y se procede con la investigación. La información que se debe llenar es:

Debido a que la presente investigación en esta etapa solo busca realizar una caracterización global sencilla, solo se levantaran algunos datos de la encuesta: tipo de uso de edificación, número de personas, tipo de material de la edificación y conservación de la estructura.

3.7.3. Diseño de la muestra

Con los datos de las viviendas existentes en el área de estudio se procede a realizar el diseño de la muestra. El diseño de la muestra consiste en reducir los casos a estudiar y que los resultados se puedan extender a toda la población con un cierto nivel de confianza y error de muestra.

Debido a que estudiar toda una población es inviable, es necesario hacer uso de métodos estadísticos. Mediante un procedimiento estadístico se puede reducir la población a una población de estudio y finalmente a una muestra (Figura 39). Esta muestra es mucho menor a la población, por cual el trabajo de análisis se vuelve más sencillo. Si el procedimiento de obtención de la muestra es adecuado y esta es representativa, los cálculos realizados se pueden generalizar a la totalidad de la población

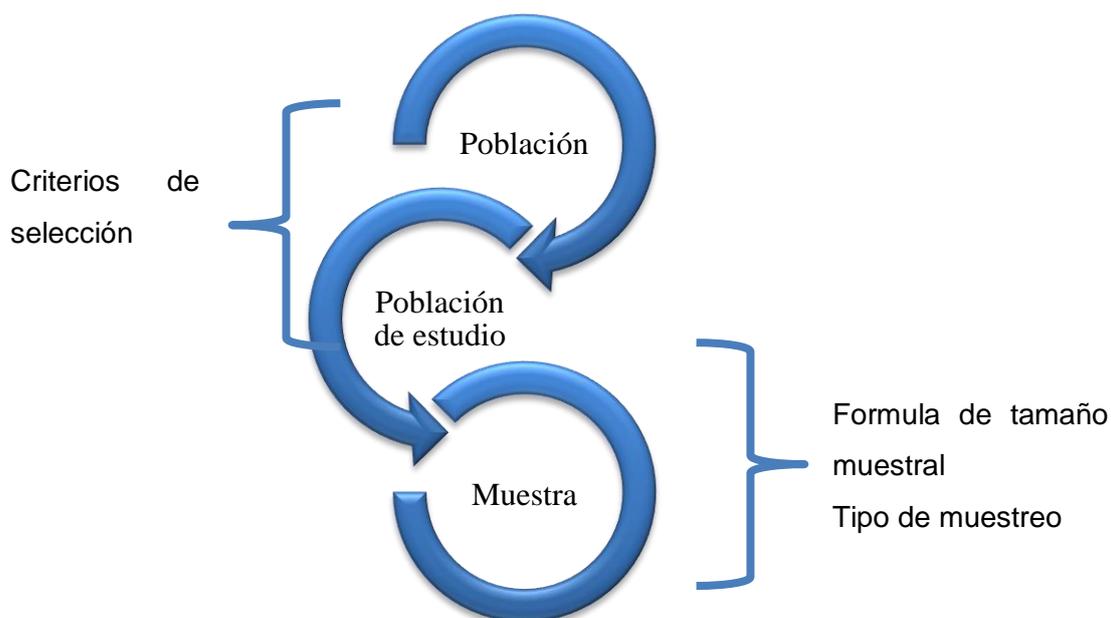


Figura 39. Proceso de población a muestra
(Arriola, 2012)

3.7.3.1. Población

La población a evaluar son las viviendas de albañilería confinada ubicadas en Ñaña, distrito de Lurigancho-Chosica.

3.7.3.2. Población de estudio

La población de estudio o zona de estudio es un caso definido, limitado y accesible, que formará el referente para la elección de la muestra, y que cumple con una serie de criterios predeterminados, llamados criterios de selección. Estos criterios de selección para la presente investigación son:

- Acceso a las viviendas.

- Gran porcentaje de edificaciones de albañilería confinada.
- Edificaciones de losa aligerada o concreto armado.

Siguiendo estos criterios de selección es conveniente analizar la población denominada A.H. Los Sauces de Ñaña. En la Figura 35 se muestra la ubicación de la población de estudio sacada de Google Earth y en el Anexo II se muestra el plano catastral de la población de estudio.

3.7.3.3. Cálculo de la muestra

La tendencia de los investigadores es querer aplicar una fórmula que les indique cuanto será el tamaño de la muestra. Esta fórmula está en función al tipo de población, si es finita o infinita y de si se conoce la cantidad de población. En la presente investigación la población es finita y se conoce la cantidad de la población, es por ello que se evalúa la muestra con la Ecuación 27.

Según Fisher citado por Pineda et al, el tamaño de la muestra debe definirse partiendo de dos criterios: de los recursos disponibles y de los requerimientos que tenga el análisis de la investigación. Por tanto, la muestra puede variar de acuerdo a la dificultad de análisis. Es decir, si se realiza un análisis simplificado y sencillo a una población, se puede tomar una gran muestra. Sin embargo, si se realiza una análisis complejo y exacto a una población, se puede tomar una muestra menor.

$$n = \frac{Z^2 \times p \times q \times N}{e^2 \times (N - 1) + Z^2 \times p \times q} \dots\dots\dots \text{Ecuación 27}$$

Donde:

Z= Nivel de confianza, valor establecido por el investigador, para la presente investigación se decide usar un valor del 80%. Este valor se tiene que tabular, por lo cual se obtendría que $z = 1.28$

N= Población-censo

P= Probabilidad a favor, el valor será 0.50

q= Probabilidad en contra, el valor será 0.50

e= Margen de error de la muestra, valor establecido por el investigador, para la presente investigación se decide usar un valor del 25%

n=Tamaño de la muestra

Teniendo en cuenta lo anterior se procede a utilizar la Ecuación 27 para la obtención de una muestra finita, los datos que se muestran son lo que se recolectaron con anterioridad:

Tabla 18.
Muestra representativa

Datos		Resultados
N	=	57 viviendas
p	=	50%
q	=	50%
Z	=	1.28
e	=	25%

Reemplazando los valores de Tabla 18 en la Ecuación 21 se obtiene 6 viviendas de muestra, ver Ecuación 22.

$$n = \frac{1.28^2 \times 0.5 \times 0.5 \times 57}{0.25^2 \times (57 - 1) + 1.28^2 \times 0.5 \times 0.5} \dots\dots\dots Ecuación 28$$

$n = 6 \text{ viviendas}$

Donde:

n=Tamaño de la muestra

3.7.3.4. Procedimiento de muestreo

El procedimiento de muestreo es aleatorio estratificado con afijación proporcional. Este tipo de muestreo se aplica en las siguientes circunstancias:

- Cuando es conveniente dividir a la población en grupos o estratos para mejorar la eficiencia del muestreo o bien obtener resultados desagregados por dominios de estudio.
- Su principal objetivo es mejorar la precisión de las estimaciones reduciendo los errores de muestreo. Minimiza la varianza de los estimadores mediante la creación de estratos lo más homogéneos posible entre sus elementos y lo más heterogéneo entre estratos.

Por estas razones se decide estratificar la muestra de acuerdo al número de pisos. Ya que el factor de número de pisos tiene gran influencia en el resultado de la vivienda.

3.7.3.5. *Distribución de la muestra*

La muestra está conformada por seis edificaciones: tres viviendas de un piso y tres viviendas de dos pisos (Figura 40).

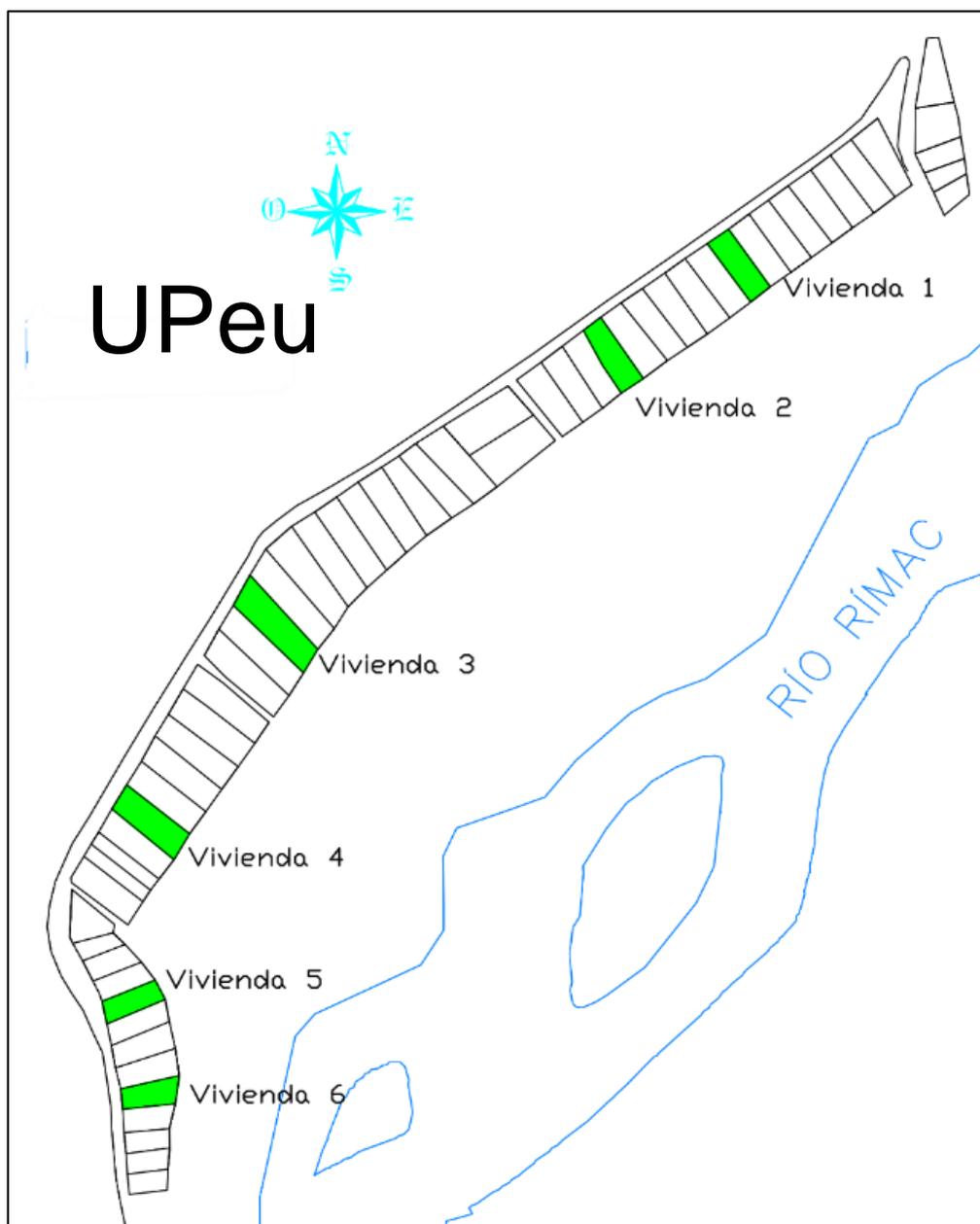


Figura 40. Ubicación de la muestra seleccionada

3.7.4. Caracterización específica de la muestra seleccionada

Luego de aplicar la primera encuesta que su fin era realizar la aceptación de la zona y la obtención de la muestra. Se aplica una segunda encuesta, ver Anexo V, con el objetivo de hacer un levantamiento detallado de las estructuras de albañilería confinada en el área de estudio, según los lineamientos de Mosqueira y Tarque (2005).

Este levantamiento detallado solo se realizará a las viviendas seleccionada según el diseño de la muestra. Esta ficha está compuesta por información general de la edificación, datos que servirán para el modelamiento de la vivienda y problemáticas que tiene la estructura:

3.7.5. Procesamiento de datos y recopilación de las propiedades de los materiales

Después de culminado el proceso de realizar la caracterización específica de la muestra seleccionada, se procede a realizar el plano de los elementos estructurales. Esto con la finalidad de realizar el análisis lineal estático. Las seis viviendas seleccionadas son de albañilería confinada. En los siguientes puntos se dará datos de las viviendas.

3.7.5.1. Información general

En la Tabla 19 se muestra los datos generales de toda la muestra escogida. A pesar que la altura de entrepiso que se recogió en campo varía entre 2.54-2.65, se decidió uniformizar la altura a 2.6 para todas las viviendas.

Tabla 19.

Información general de la muestra

Dato	Descripción
Uso	: Multifamiliar / Unifamiliar
N° de pisos	: 1 a 2 pisos
Sistema de techado	: Losa aligerada en una dirección
Altura de piso	: 2.60 m

3.7.5.2. Elementos estructurales

Las viviendas caracterizadas tienen los siguientes elementos estructurales:

- Muro de albañilería
- Columna
- Columnas de confinamiento
- Viga chata
- Viga peraltada
- Viga de amarre
- Losa aligerada

Las dimensiones de los elementos estructurales, como su distribución en la estructura de las muestras se detallan en el Anexo VI, VII, VIII, IX, X y XI para la muestra 1, 2, 3, 4, 5, 6, respectivamente. Las muestras del 1 al 3 y del 4 a 6, son de uno y dos pisos, respectivamente.

3.7.6. Análisis lineal estático

El modelamiento se realizó en un software de cálculo comercial, para esto se usó los datos de la caracterización específica de viviendas de albañilería confinada. La finalidad del modelado es obtener la carga que soporta cada muro portante. La carga es una derivada del peso propio del muro, carga viva, carga muerta y carga de acabados. Se modelaron solo los elementos que soportan las fuerzas de gravedad y sísmicas: muros portantes, columnas de pórticos y de confinamiento, vigas de amarre y solera, losa aligerada y placas si existieran.

3.7.7. Análisis no lineal estático

Una vez obtenida la curva de capacidad para cada muro, nivel y dirección se realiza el modelamiento tridimensional en un programa de cálculo computacional comercial. El modelamiento en el programa es un análisis no lineal estático basado en el desplazamiento. Primero, los muros se representan mediante un modelo de columna ancha. Cada columna ancha tiene asignado una rotula a una distancia de 0.05% desde la longitud inicial de la base. A esta rotula se le asigna las propiedades del muro obtenida del análisis lineal estático, denominado curva de capacidad. En las viviendas construidas informalmente existen muros parcialmente confinados. Estos muros resisten un porcentaje de la fuerza sísmica (cortante basal). Sin embargo, la capacidad de resistencia es menor, por tal motivo es que se debe reducir su curva de capacidad. Este factor de reducción está propuesto por la investigación realizada por Riahi et al. (2009) y otra investigación realizada por Lovon (2017). La decisión de que factor usar es de acuerdo a las propiedades físicas de muro: área del muro, área de la abertura, cuantos extremos están confinados, carga que soporta el muro. Segundo, las vigas de confinamiento son configuradas para que tenga una rigidez infinita, a diferencia de

las vigas de amarre que se les asigna rótulos predeterminados por el programa. Por último, se aplica un desplazamiento inicial para que mediante iteraciones el programa haga fallar la estructura. Con esto se obtiene la curva de capacidad de la estructura. Este diagrama se tiene para cada dirección de la vivienda.

3.7.7.1. Columna ancha

Se modelo la estructura baja la metodología de columna ancha (Figura 41). Para simular la rigidez infinita a flexión y corte de las vigas de confinamiento se asignó un brazo rígido en toda la extensión.

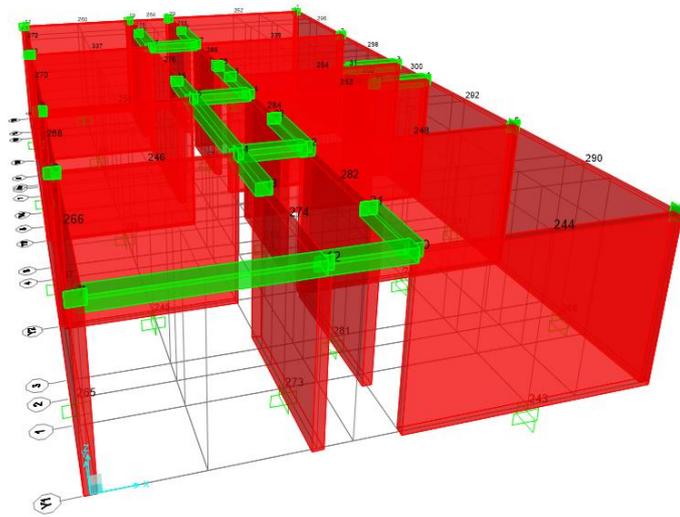


Figura 41. Modelado mediante columna ancha

3.7.7.2. Configuración de la rótula

Debido a que la fuerza que se aplica en el muro puede ser positiva o negativa, la rótula se debe configurar para ambos casos, ver Figura 42.



Figura 42. Rótula del muro frontal de la muestra 1

3.7.7.3. Punto de desplazamiento

La metodología está basada en accionar una fuerza horizontal sobre la estructura y calcular su resistencia. Luego reducir la rigidez y volver aplicar otra fuerza. Esta aplicación de carga produce un desplazamiento local en los muros de albañilería confinada. Para que la estructura no soporte resistencia luego de su falla se define un desplazamiento limite en la cual la estructura deberá dejar de ser sometida a un bucle de carga y reducción de rigidez.

3.7.7.4. Curva de capacidad global

La curva de capacidad relaciona la fuerza cortante con el desplazamiento (Figura 43).

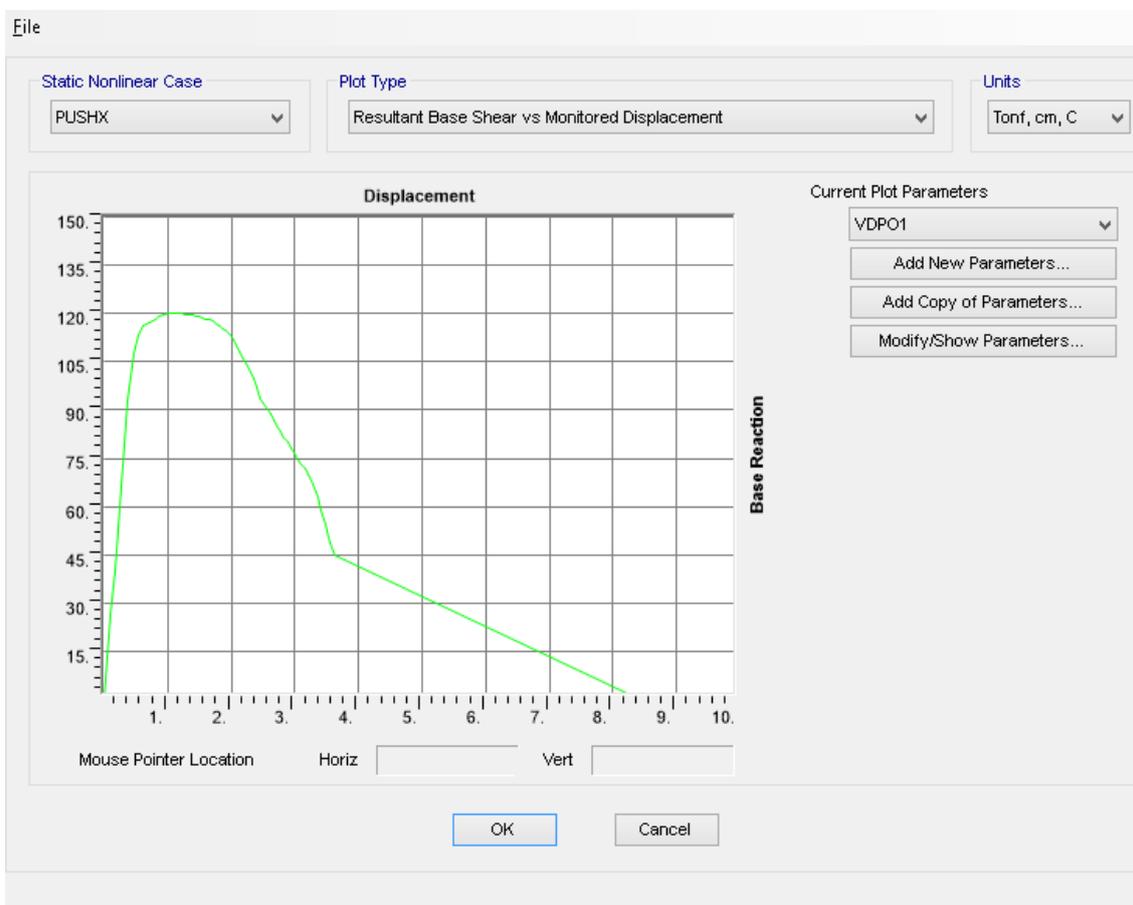


Figura 43. Curva de capacidad global

3.7.8. Creación de curvas de capacidad sintéticas

La creación de curvas de capacidad sintéticas se hace bajo una metodología probabilística, denominada simulación de Montecarlo. En base a los resultados de las 3

curvas de capacidad de la vivienda se obtiene la distribución de probabilidad que le corresponde su media y su distribución estándar. Esta distribución debe ser truncada para que no calcule datos físicamente imposibles. Este truncamiento se realiza mediante la Ecuación 32.

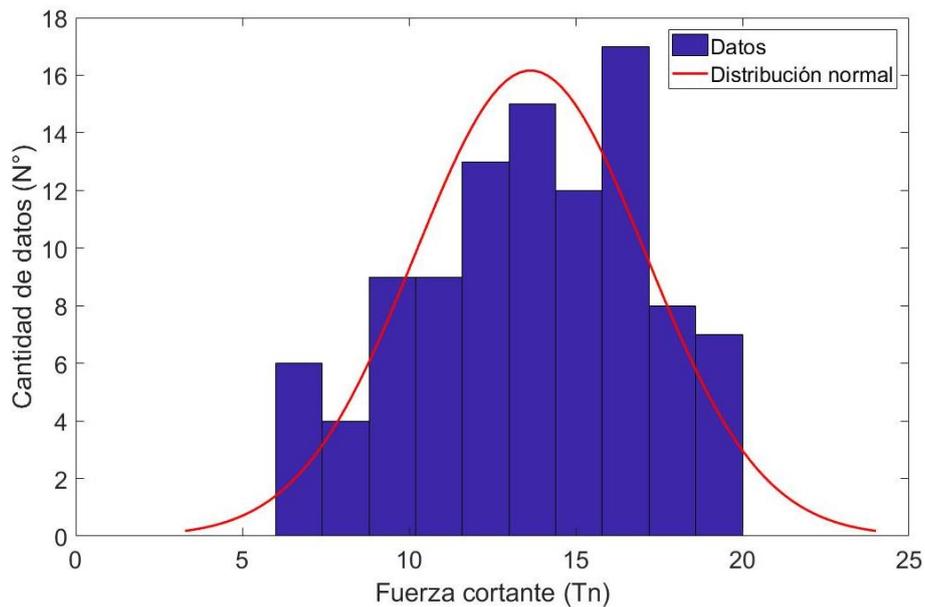
$$x = \langle \mu - 2\sigma, \mu + 2\sigma \rangle \quad \dots\dots\dots \text{Ecuación 29}$$

Donde:

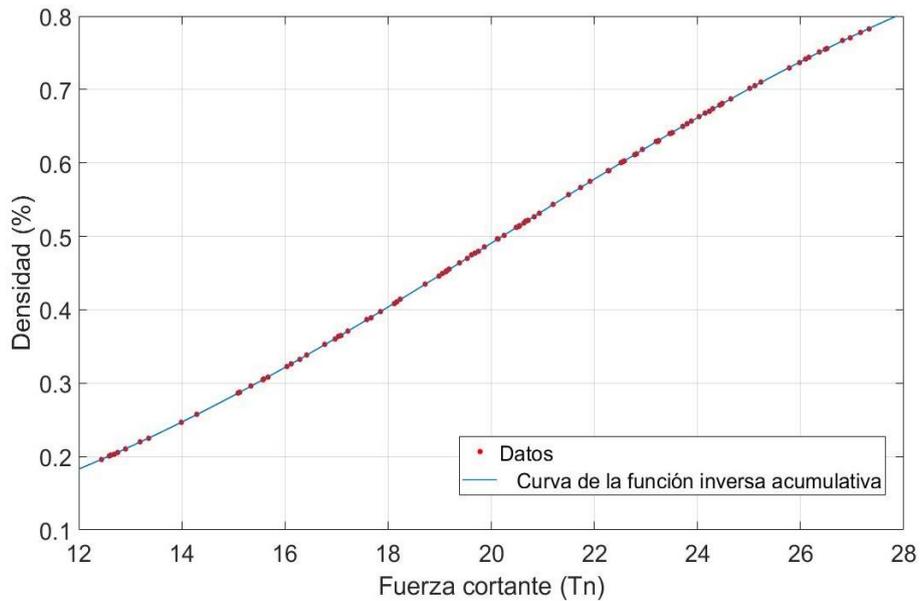
μ =Promedio

σ =Desviación estándar

En la Figura 44(a) se observa la distribución de Gauss normal y la inversa de la función de distribución acumulativa, esto para el segundo punto perteneciente a la curva de capacidad probabilística. En este caso como ejemplo, se creó los puntos para 50 curvas sintéticas. Fíjese que en la Figura 44(b) se observa el truncamiento mencionado antes.



(a)



(b)

Figura 44. (a) Distribución log normal (b) Inversa de la función de distribución acumulativa

3.7.9. Conversión de curva de capacidad a curva de capacidad trilineal

La curva trilineal se obtiene al convertir la curva de capacidad real de n pendiente a una curva representativa de 3 pendiente. Primero se encuentra el primer punto, donde la curva pasa de estado elástico a inelástico. Esto sucede cuando la curva en su primera etapa tiene un comportamiento (Fuerza cortante-Desplazamiento) similar a una ecuación de primer grado (Figura 45). El siguiente punto es donde la curva tiene la mayor resistencia a la fuerza cortante. El último punto es donde se reduce en un 20% la fuerza cortante máxima. La Figura 45 solo sirve como ejemplo para 10 curvas sintéticas.

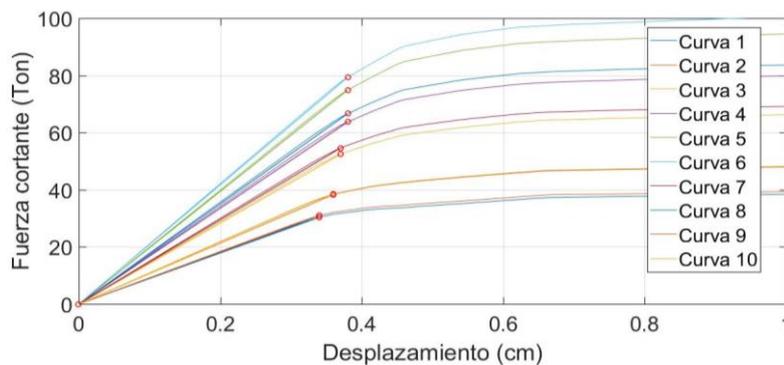


Figura 45. Obtención del primer punto de la curva trilineal

3.7.10. Conversión de curva de capacidad trilineal a espectro de capacidad trilineal

Para realizar las curvas de fragilidad, es de interés el S_d , por tal motivo se convierte la curva de capacidad trilineal a espectro de capacidad trilineal. En la imagen Figura 46 se muestra un ejemplo para 10 viviendas sintéticas.

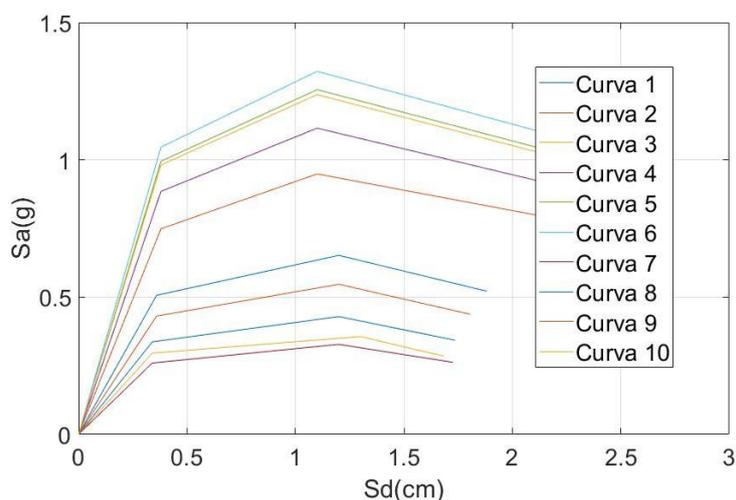


Figura 46. Ejemplo de espectro de capacidad para 10 viviendas sintéticas

3.7.11. Determinación de la demanda sísmica

El procedimiento de recopilación y análisis de datos fue en base a Villar-vega et al. (2017). La selección de los registros de movimiento del suelo se realizó teniendo en cuenta el entorno tectónico y la sismicidad en América del Sur. La mayor parte de la actividad sísmica en esta región involucra la subducción de las placas de Nazca y la Antártida debajo de la placa Sudamericana. El deslizamiento a lo largo de la interfaz de inmersión de estas placas genera grandes terremotos entre placas a profundidades de aproximadamente 10 km a 60 km (Jaiswal et al. 2014). Además, también hay sismos importantes debido a fallas de la corteza de poca profundidad. Para distancias epicentrales largas (> 50 km), se seleccionaron registros de movimiento del suelo con magnitudes de momento entre 7 y 9, mientras que para distancias más cortas (50 km), se consideraron registros con magnitudes de momento entre 5 y 7. Estos registros se seleccionaron de la base de datos PEER (Pacific Earthquake Engineering Research). Solo se consideraron los registros de sitios de roca durante el proceso de selección, y se excluyeron los datos de las estaciones de grabación a una distancia inferior a 10 km, para evitar efectos de falla cercana. La información recopilada contiene 232 sismo. En la Figura 47 se muestra el acelerograma, espectro de aceleración y de desplazamiento para uno de los 232 sismos.

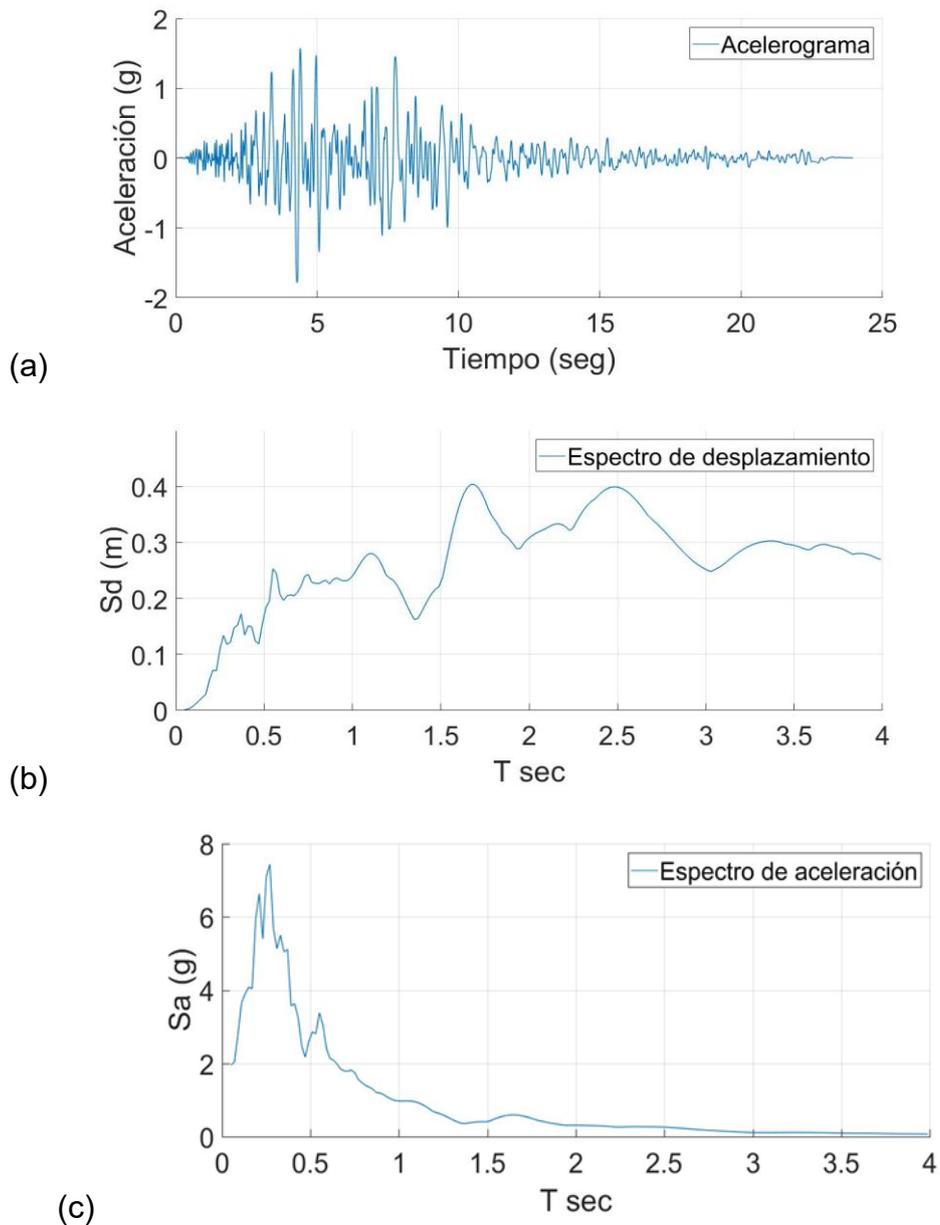


Figura 47. (a) Acelerograma (b) Espectro de desplazamiento (c) Espectro de aceleración

3.7.12. Matriz de probabilidad de daño

La matriz de daño se genera mediante una rutina, donde se compara la capacidad de desplazamiento de la estructura con el desplazamiento aplica por el sismo. Para esta investigación en lugar de puntos exactos de desempeño se utilizan umbrales de desempeño. Es decir, se busca que daño provoca el desplazamiento inducido por el sismo. En la Figura 48 plasma la rutina utilizada en un diagrama de flujo.

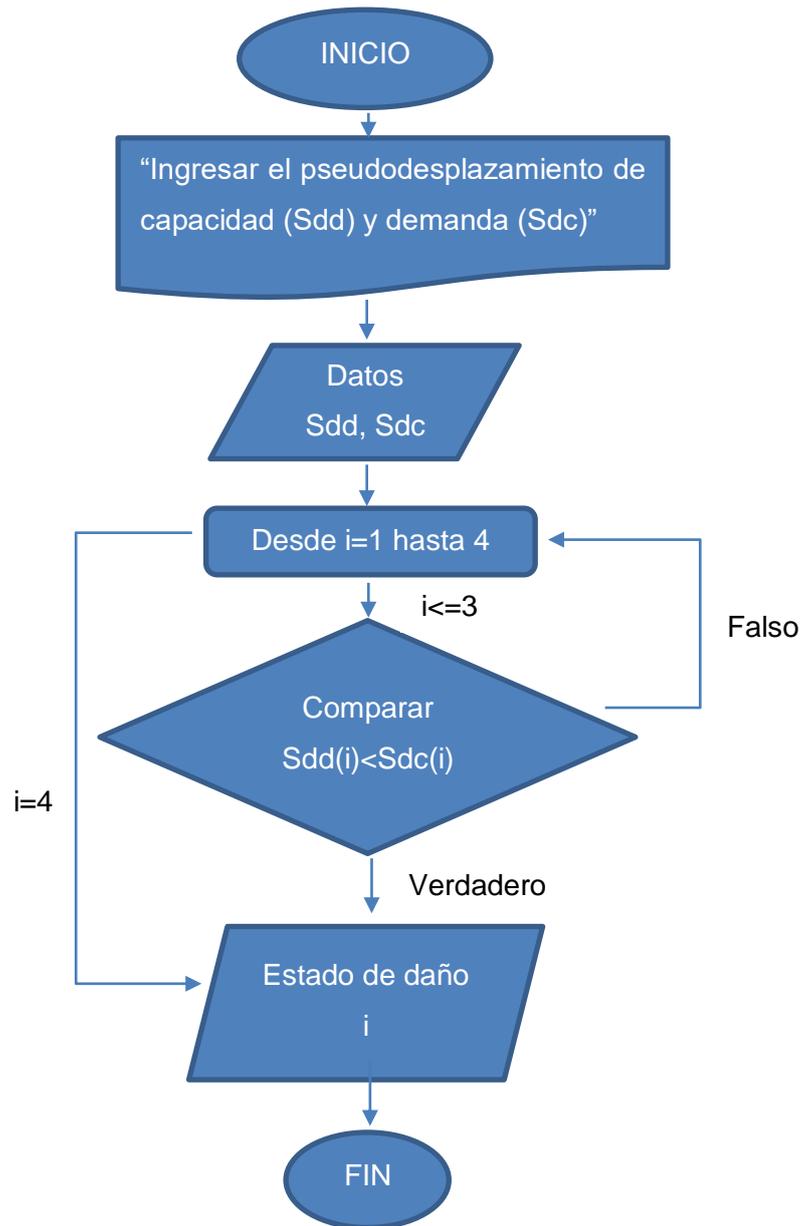


Figura 48. Diagrama de flujo para obtener la matriz de daño

3.7.13. Curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad son graficadas al conocer los probables umbrales de desempeño que tendrá la estructura frente a los 232 sismos seleccionados. Cabe destacar que las curvas de fragilidad solo son para un numero de especifico de pisos y para una sola dirección de esta. Es decir, en la presente investigación solo se tendrán cuatro curvas de fragilidad. Las dos primeras para las viviendas de un piso en la dirección x-x y otra en la dirección y-y. La dos siguientes para las viviendas de dos pisos en la dirección x-x y otra en

la dirección y-y. El cálculo de las curvas de fragilidad se realizó mediante una programación en MATrix LABORatory (MATLAB), esto se presenta en el Anexo XII.

Con los datos obtenidos de la matriz de daño se procede a graficar las curvas de fragilidad. Se utilizó mínimos cuadrados para crear las curvas que sectorizan los estados de daños. En la Figura 49 se muestra unas curvas de fragilidad como ejemplo.

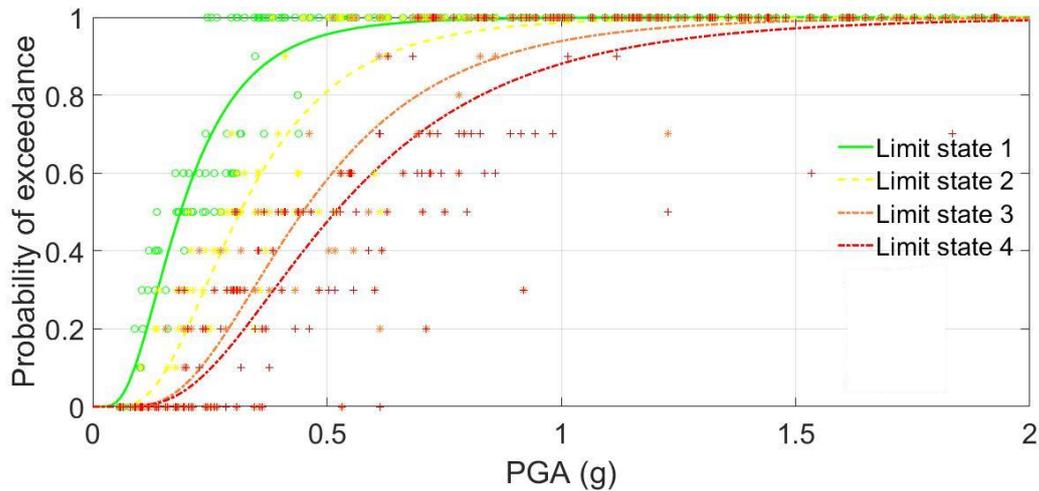


Figura 49. Curvas de fragilidad para 10 viviendas sintéticas

3.7.14. Fragilidad estructural

La fragilidad estructural de las viviendas se evaluará para tres PGA. El primero con una aceleración de 0.20g, que pertenece a un sismo ocasional. El segundo a 0.40g, que pertenece a un sismo raro. Por último con una aceleración de 0.50g, que pertenece a un sismo muy raro (Velásquez, 2006).

Capítulo IV. Resultados y Discusión

4.1. Caracterización de las edificaciones

4.1.1. Caracterización general de las viviendas

4.1.1.1. Distribución porcentual de los sistemas estructurales

En el A.H. Los Sauces existe 71 edificaciones. Estas edificaciones tienen diferente sistema estructural. En la Figura 50 se observan unas imágenes de las edificaciones que existen en el A.H. Los Sauces. Cabe decir que al ser común la construcción informal en el A.H. Los Sauces, existen viviendas donde es difícil definir el sistema estructural.



Figura 50. Imagen de las edificaciones del A.H. Los Sauces

Como se observa en la Figura 51 el sistema estructural predominante es de albañilería de ladrillo de arcilla confinada con un 74.6% (57 viviendas). Debido a que la albañilería confinada es el sistema de construcción mayor difundido y el más económico ya que aprovecha los muros portantes como separador de ambiente. El segundo es el sistema estructural aporcicado con un 9.9% (6 viviendas). El tercero es “otros”, el cual se refiere a construcciones con una combinación de materiales, tales como adobe con ladrillo, adobe con elementos de concreto armado, tapial más elementos de concreto armado, adobe con tapial más ladrillo de arcilla, ladrillos de arcilla con bloques de concreto, etc. La cantidad de la categoría “otros” es del 8.5% (4 viviendas). La categoría de albañilería y tapial es la misma cantidad siendo un total del 5.6% (3 viviendas). La última categoría es de bloques de concreto con un 1.4% (1 vivienda).

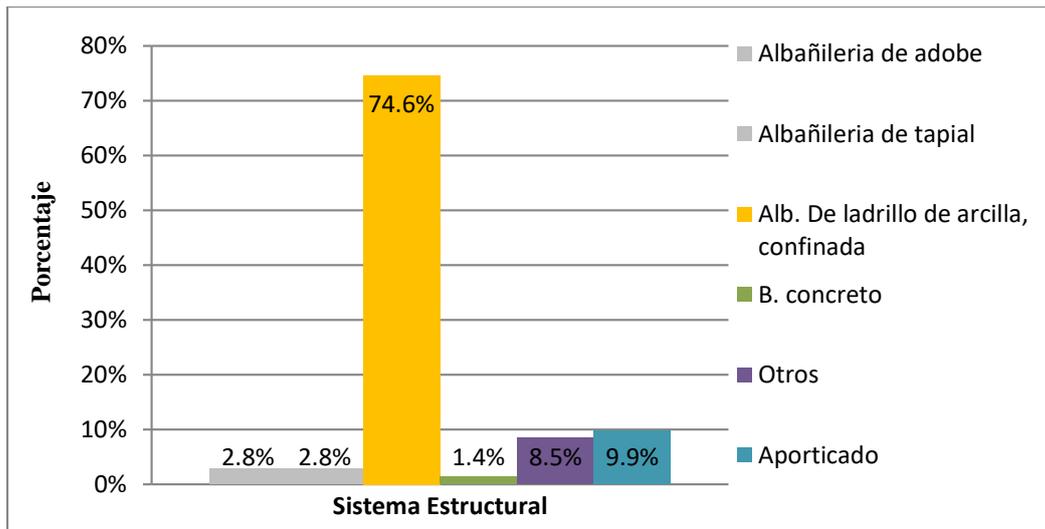


Figura 51. Distribución porcentual de los sistemas estructurales de edificaciones de Ñaña

4.1.1.2. *Distribución porcentual del número de pisos de edificaciones de albañilería confinada*

En el A.H. Los Sauces existen viviendas del sistema estructural de albañilería confinada con una variación de pisos que es desde 1 hasta 5 pisos. En la Figura 52 se observa una vivienda de albañilería confinada de 5 pisos, esto debido a que se prioriza la obtención de mayores ambientes a la seguridad de estas mismas frente a un sismo.



Figura 52. Vivienda de cinco pisos

En la Figura 53 se observa que existe un 21.1% (15 viviendas) de viviendas de dos pisos. En segundo puesto están las viviendas de un piso con un 19.7% (14 viviendas). En tercer puesto están las viviendas con tres pisos con un 14.1% (10 viviendas). En cuarto puesto están las viviendas con 4 pisos con un 11.3% (8 viviendas). Por último, están las viviendas de cinco pisos con un 4.2% (3 viviendas).

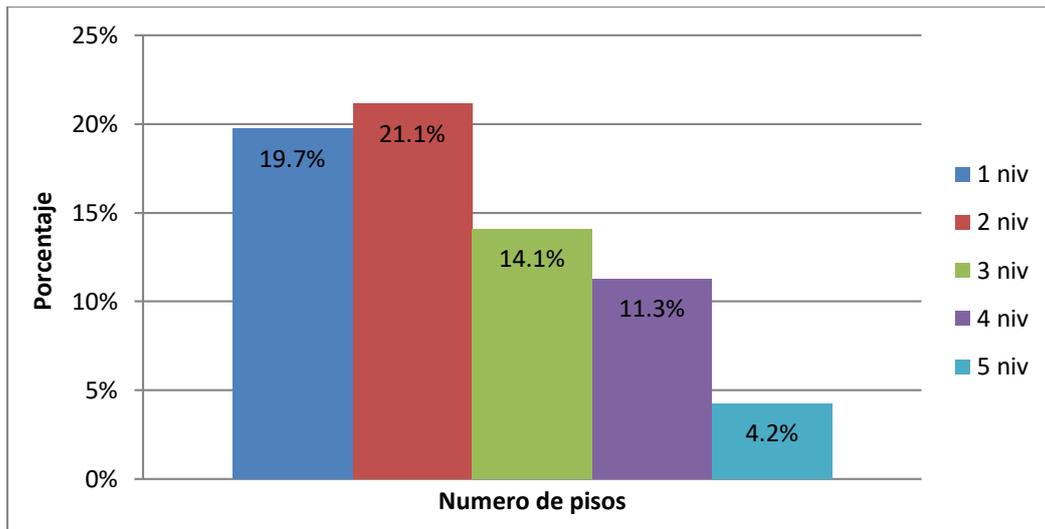


Figura 53. Distribución porcentual del número de pisos de edificaciones de albañilería confinada

4.1.1.3. Problemas de ubicación

El A.H. Los Sauces está ubicado al costado de una carretera a desnivel, esto es considera como talud en cual podría causar daños en un terremoto (Figura 54). Sin embargo, este no es el tema de interés de la presente tesis.



Figura 54. Fotos de problemas de ubicación

En la Figura 55 se observan los problemas de ubicación según Mosqueira y Tarque (2005). Primero, 57 viviendas tienen existencia de nivel freático que está a un aproximado de 2.50m, esto se debe a que el A.H. Los Sauces está ubicado al costado del río Rímac. Segundo, una cantidad de 43 viviendas tiene el problema de talud peligroso, esto se debe a que el A.H. Los Sauces está ubicado al costado de una carretera que está a desnivel. Además 3 viviendas tienen problema de relleno. Por último, el problema de pendiente pronunciada solo lo tiene 2 viviendas, esto se debe a que el A.H. Los Sauces está a una cota paralela a la del río.

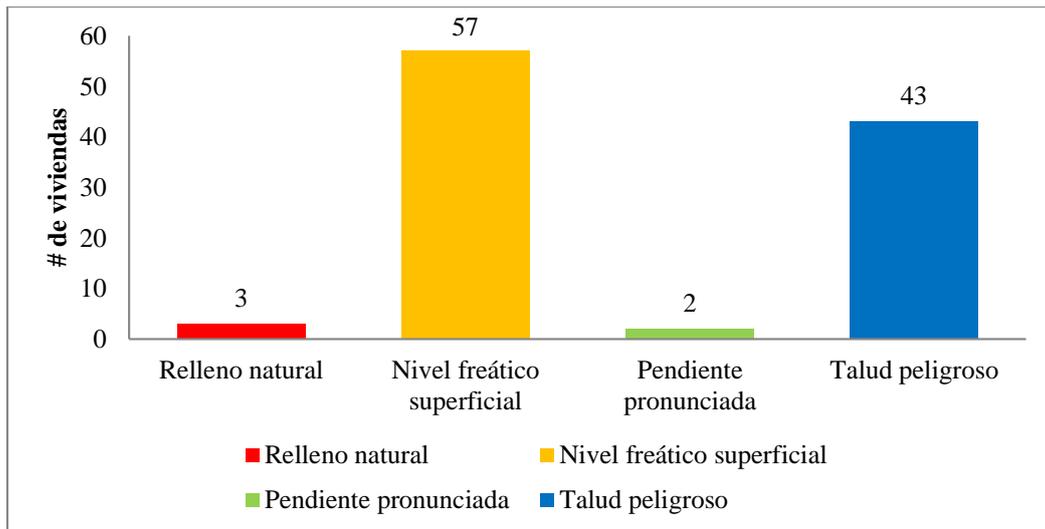


Figura 55. Problemas de ubicación

4.1.1.4. Problemas de estructuración

El A.H. Los Sauces existen problemas de estructuración. En la Figura 56 como ejemplo se observan viviendas con problemas de falta de junta sísmica y arriostre en los muros.



Figura 56. Fotos con respecto a la estructura

En la Figura 57 se observan los problemas de estructuración según Mosqueira y Tarque (2005). Primero, 37 viviendas tienen problema por junta sísmica, esta es importante cuando la estructura es solicitada ante una demanda sísmica. El segundo problema de ladrillo pandereta lo tienen 19 viviendas, este es un problema que se agrava cuando a la estructura es solicitada a fuerzas externas debido a la poca resistencia del ladrillo pandereta. El tercer problema de unión del muro y techo lo tienen 18 viviendas, es decir el confinamiento tiene deficiencia de la viga solera y/o existe presencia de cangrejera. El cuarto problema de losa de dtecho lo tienen 10 viviendas, esto se refiere a que la cota de los techos es diferente.

Por último, el problema de tabiquería no arriostrada y reducción en planta lo tienen 3 y dos viviendas, respectivamente.

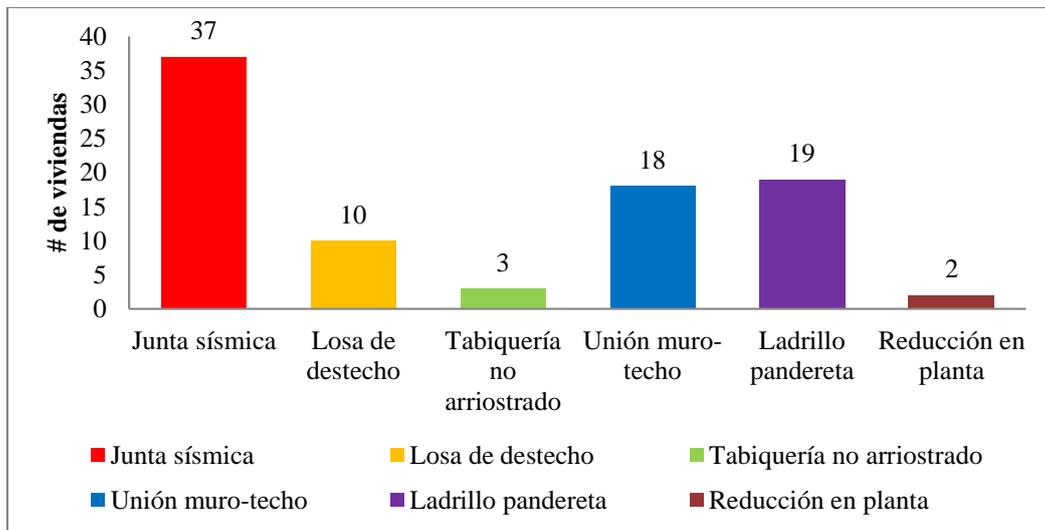


Figura 57. Estructuración

4.1.1.5. Factores degradantes

Los problemas por factores degradantes se presentan poco en el A.H. Los Sauces. En la Figura 58 se observa una vivienda con un muro agrietado.



Figura 58. Imágenes de factores degradantes

En la Figura 59 se observan los factores degradantes según Mosqueira y Tarque (2005). El problema de armaduras corroídas lo tienen 3 viviendas, esto reduce el desempeño de las viviendas. El problema de eflorescencia lo tienen 4 viviendas, esto se debe a que por el costado pasa un canal de regadío. El problema de humedad en muros lo tienen 7 viviendas, la causa de unos es que están cerca de un canal de regadío y de otros debido a que tienen un jardín. El ultimo problema de muros agrietados lo tiene 1 vivienda, es probable que este

hecho se haya ocasionado debido a que la que vivienda está sobre relleno y por ende se hayan agrietado los muros.

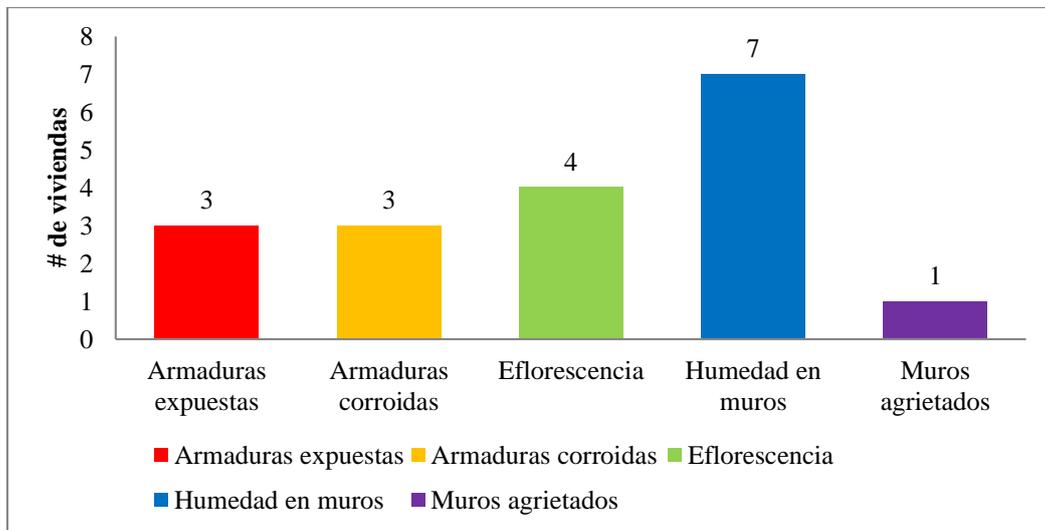


Figura 59. Factores degradantes

4.1.1.6. *Materiales deficientes*

Con respecto al tipo de ladrillo para el muro de albañilería el predominante es el King Kong artesanal, en la Figura 60 se observa un ejemplo. Esta situación se da debido a que los maestros aprendieron que es con el ladrillo con el cual se debe construir. Sin embargo, existen viviendas que utilicen ladrillo pandereta artesanal, según comentarios de los propietarios, lo usan porque les sale más barato.



Figura 60. Fotos con respecto a materiales deficientes

En la Figura 61 se observan los factores degradantes según Mosqueira y Tarque (2005). Primero, el ladrillo King Kong artesanal es el más usado, 45 viviendas lo usan. En segundo lugar, está el ladrillo pandereta artesanal, 12 viviendas lo usan. Por último, está el ladrillo King Kong macizo, 2 viviendas lo usan.

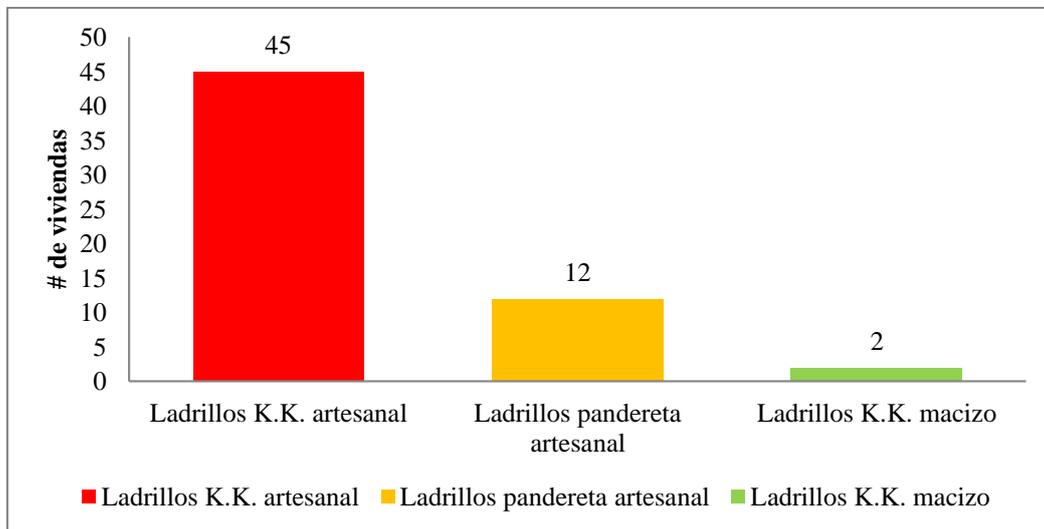


Figura 61. Materiales deficientes

4.1.1.7. Mano de obra

Como se observa en la Figura 62 las viviendas del A.H. Los Sauces tienen un estado regular. El mantenimiento de la vivienda es diferente a la mano de obra, ya que la vivienda puede haber tenido una buena mano de obra, pero si no se le realiza un mantenimiento adecuado la vivienda puede llegar a un estado deplorable.



Figura 62. Fotos con respecto a la mano de obra

En la Figura 63 se observa la calificación de mano de obra según Mosqueira y Tarque (2005). Esta se clasifica en cuatro escalas que están en función del espesor de las juntas del muro., presencia de cangrejeras y el no uso de otros materiales que no pertenezcan a la

albañilería confinada. Como resultado se tiene que 32 viviendas tienen una calificación regular. Además 18 viviendas tienen una calificación mala y 1 muy mala. Sin embargo 6 viviendas tiene una calificación buena.

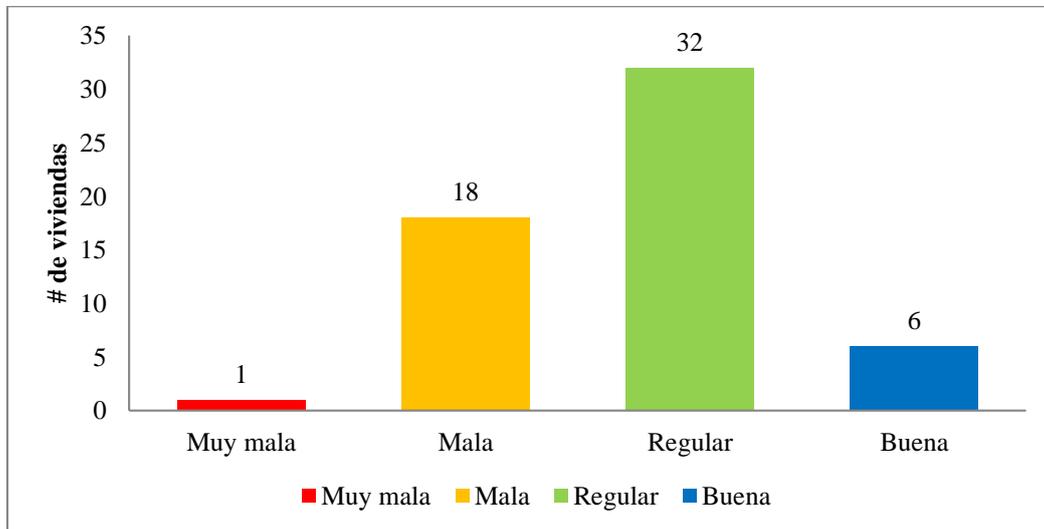


Figura 63. Mano de obra

Según comentarios de los propietarios y maestros mencionan que construyen en albañilería confinada porque es lo común, es fácil de construir y económico. Sin embargo, esta facilidad hace que las viviendas se construyan informalmente ya sea por falta de conocimiento y/o dinero para contratar a un especialista en el tema. Las viviendas construidas informalmente, es decir las que no tienen ningún diseño estructural y mucho menos control de calidad, presentan problemas que afectan a la estructura a corto y largo plazo. Según se observa en los resultados de la caracterización, el producto de la informalidad es que se llega a tener viviendas con ladrillo pandereta como ladrillo estructural, falta de junta sísmica, armaduras expuestas, etc. Si a esto le añadimos que muchas viviendas presentan varios problemas para el mismo elemento estructural, con lo cual se ve reducida la capacidad estructural local, volviéndola más vulnerable ante acciones sísmicas y por consiguiente haciendo la probabilidad de colapso mayor.

4.1.2. Caracterización específica de las viviendas de albañilería confinada

4.1.2.1. Vivienda de muestra 1 de un piso

La hoja de encuesta se encuentra en el Anexo VI, en la cual se encuentra toda la información necesaria para desarrollar los cálculos. En la Figura 64 se muestra el plano en planta de la vivienda.

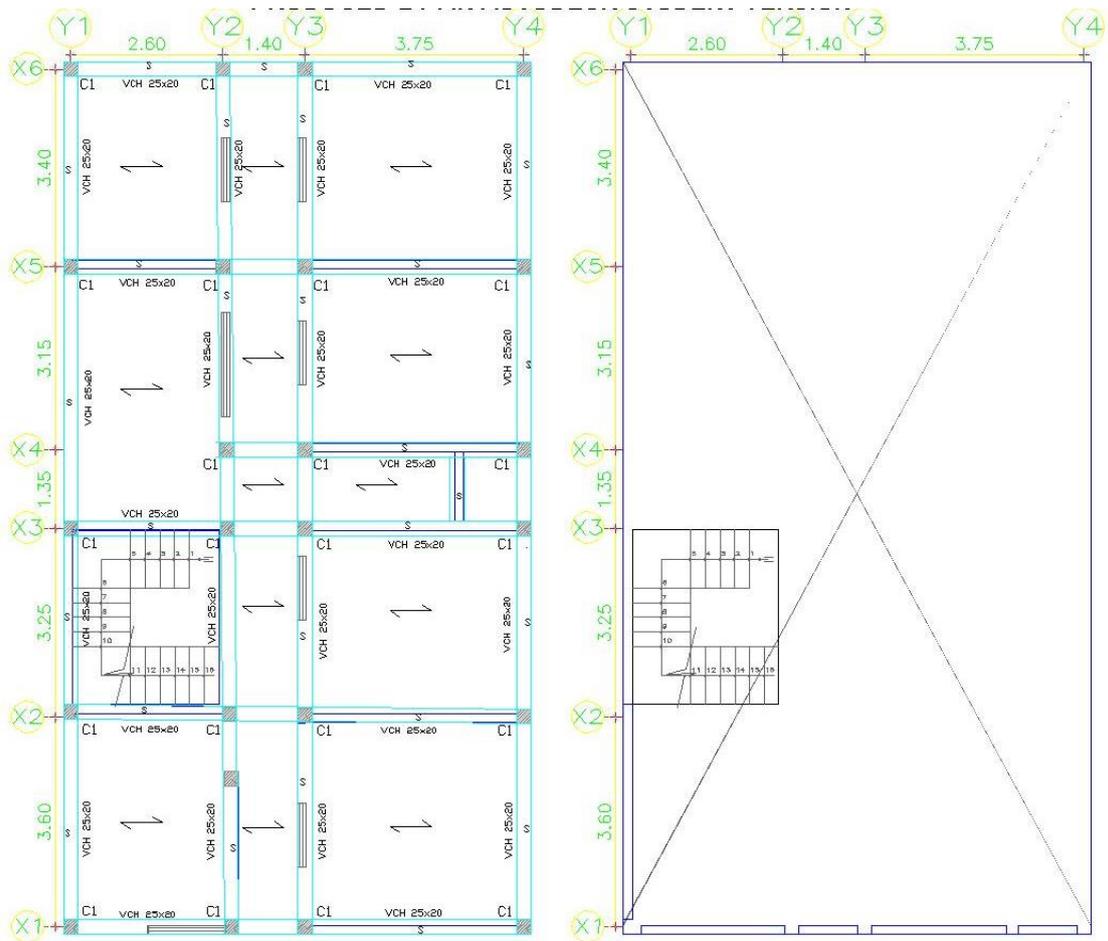


Figura 64. Plano en planta de la muestra 1 de un piso



Figura 65. Foto de la vivienda de muestra 1 de un piso

4.1.2.2. Vivienda de muestra 2 de un piso

La hoja de encuesta se encuentra en el Anexo VII, en la cual se encuentra toda la información necesaria para desarrollar los cálculos. En la Figura 67 se muestra el plano en planta de la vivienda.



Figura 66. Foto de la vivienda de muestra 2 de un piso

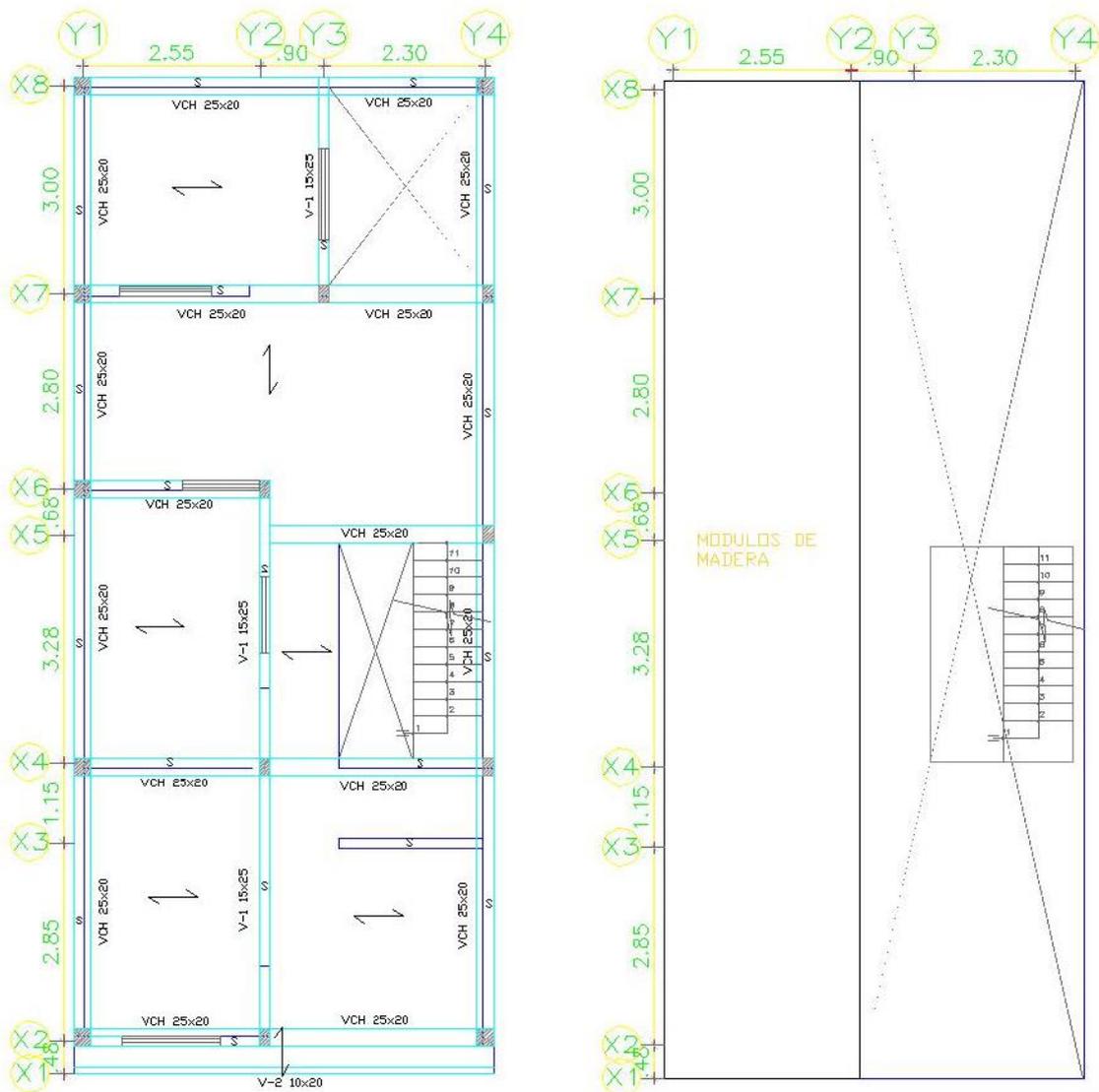


Figura 67. Plano en planta de la muestra 2 de un piso

4.1.2.3. Vivienda de muestra 3 de un piso

La hoja de encuesta se encuentra en el Anexo VIII, en la cual se encuentra toda la información necesaria para desarrollar los cálculos. En la Figura 68 se muestra el plano en planta de la vivienda.

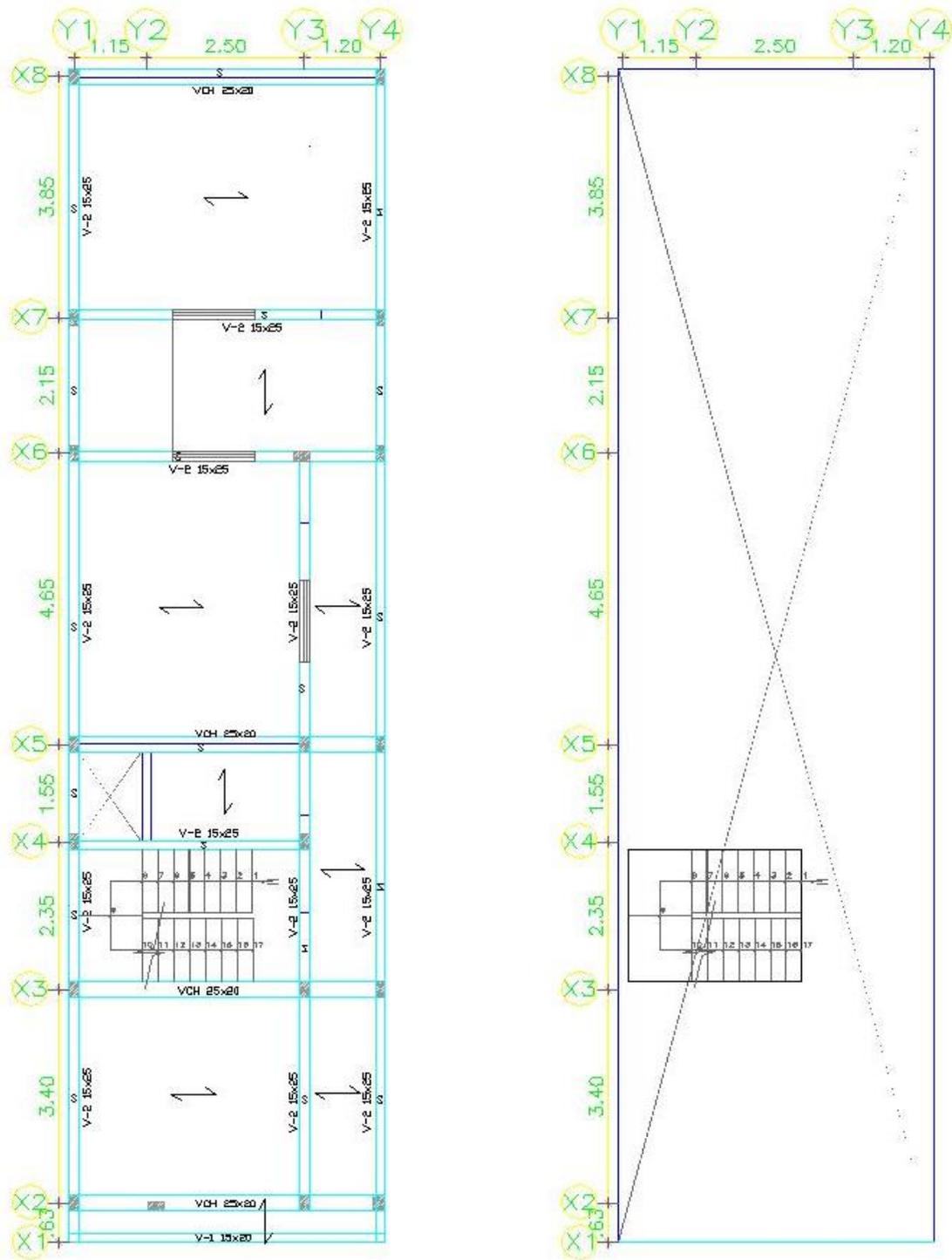


Figura 68. Plano en planta de la muestra 3 de un piso



Figura 69. Foto de la vivienda muestra 3 de un piso

4.1.2.4. Vivienda de muestra 4 de dos pisos

La hoja de encuesta se encuentra en el Anexo IX, en la cual se encuentra toda la información necesaria para desarrollar los cálculos. En la Figura 71 se muestra el plano en planta de la vivienda.



Figura 70. Foto de la vivienda de muestra 4 de dos pisos

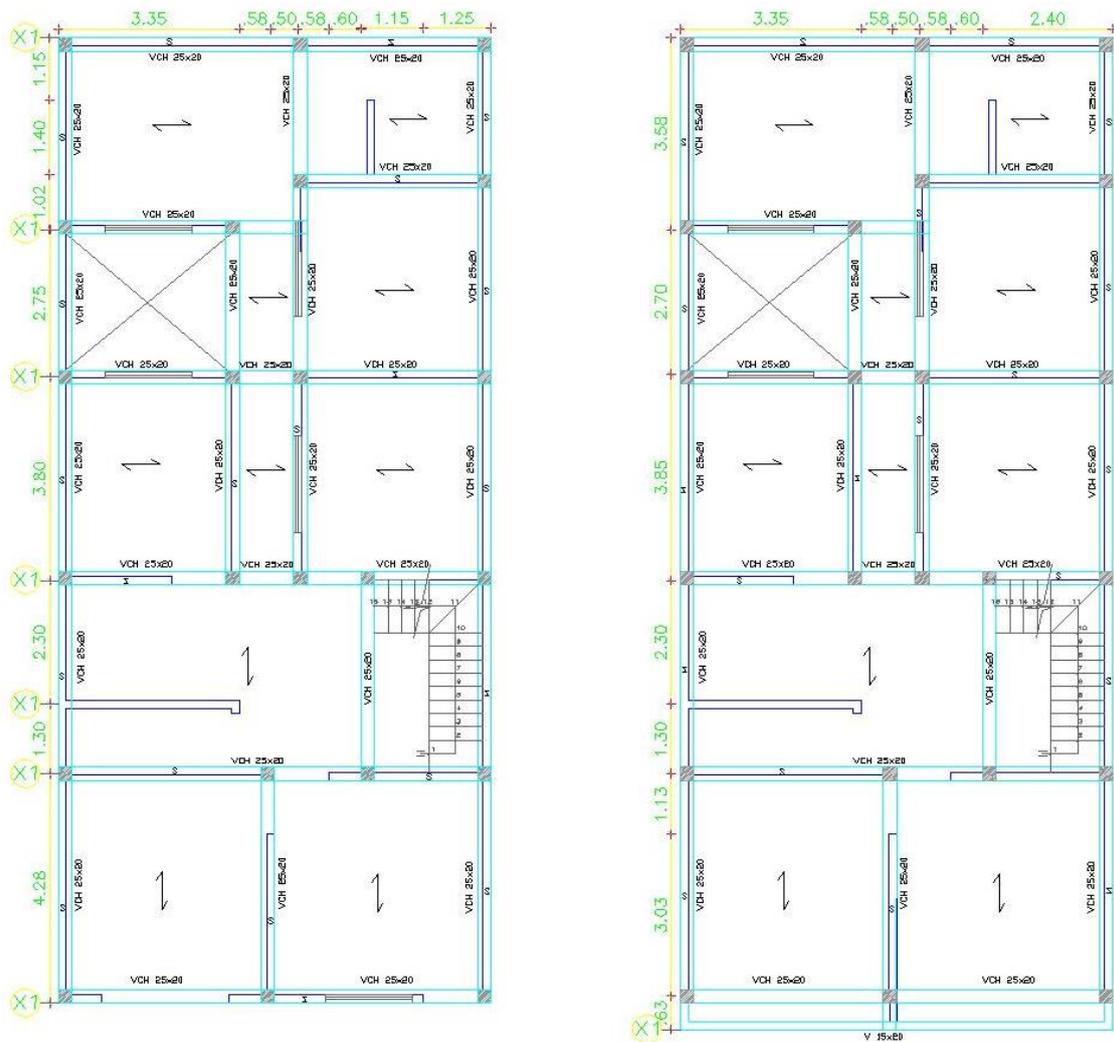


Figura 71. Plano en planta de la muestra 4 de dos pisos

4.1.2.5. Vivienda de muestra 5 de dos pisos

La hoja de encuesta se encuentra en el Anexo X, en la cual se encuentra toda la información necesaria para desarrollar los cálculos. En la Figura 73 se muestra el plano en planta de la vivienda.



Figura 72. Foto de la vivienda de muestra 5 de dos pisos

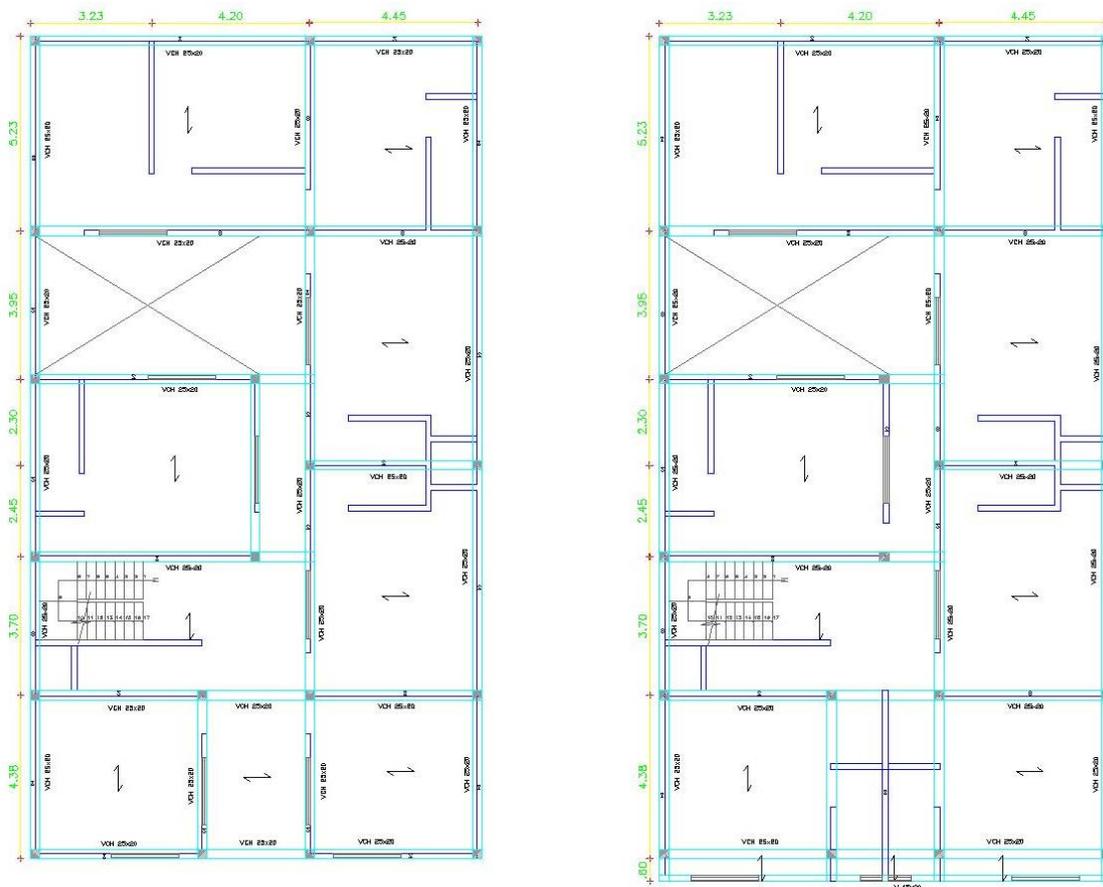


Figura 73. Plano en planta de la muestra 5 de dos pisos

4.1.2.6. Vivienda de muestra 6 de dos pisos

La hoja de encuesta se encuentra en el Anexo XI, en la cual se encuentra toda la información necesaria para desarrollar los cálculos. En la Figura 75 se muestra el plano en planta de la vivienda.



Figura 74. Foto de la vivienda de muestra 6 de dos pisos

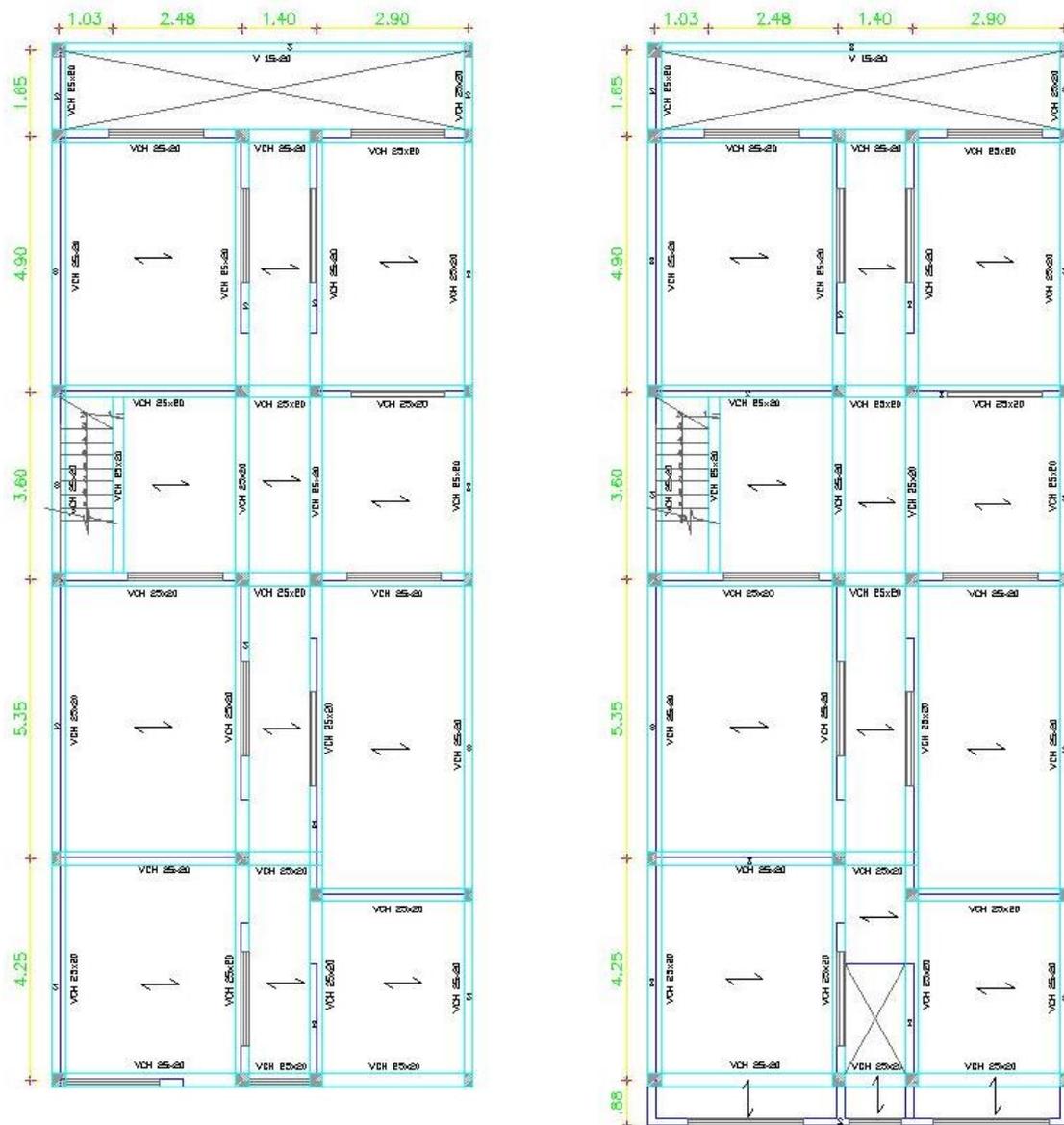


Figura 75. Plano en planta de la muestra 6 de dos pisos

El objetivo de la caracterización es saber la situación de la zona de evaluación. Si bien solo se analizan 6 viviendas se hizo una caracterización general a todas las viviendas. Los

datos como el tipo de sistema estructural de las viviendas y número de pisos solo son utilizados para diseñar la muestra. Sin embargo, los demás problemas recolectados son para plasmar la realidad de las viviendas y justificar el proceder de la presente tesis. Según los lineamientos de Mosqueira y Tarque (2005) los resultados que se recolectaron son un índice de que las viviendas son construidas informalmente y por tanto no tienen un control de procedimiento constructivo. Esto da como producto errores que afectan a corto y largo plazo a la vivienda. Como se observa en Figura 51 el sistema estructural predominante es de albañilería confinada con un 74.6%. Teniendo en cuenta la cantidad de problemas que tienen las viviendas (Figura 55, 57, 59, 61 y 63), se deduce que un gran porcentaje de problemas pertenecen a las viviendas de albañilería confinada.

4.2. Demanda sísmica

4.2.1. Espectro de desplazamiento

El espectro de desplazamiento es una conversión de la lectura sismográfica, esta conversión se realiza para que las unidades sean las mismas con la curva de capacidad y porque visualmente se entiende mejor. En la Figura 76 se observa el espectro de desplazamiento de 232 sismos hasta un periodo de 1.5s.

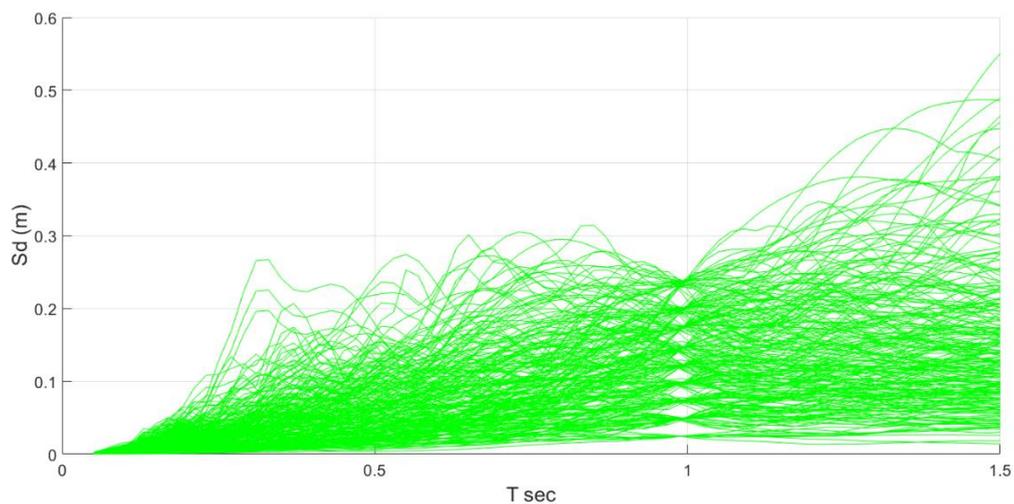


Figura 76. Espectro de desplazamientos de la demanda sísmica

4.2.2. Espectro de aceleración

El espectro de aceleración es una conversión de la lectura sismográfica, al igual que el espectro de desplazamiento la conversión se da para un mejor entendimiento. En la Figura 77 se observa el espectro de aceleración de 232 sismos hasta un periodo de 1.5s.

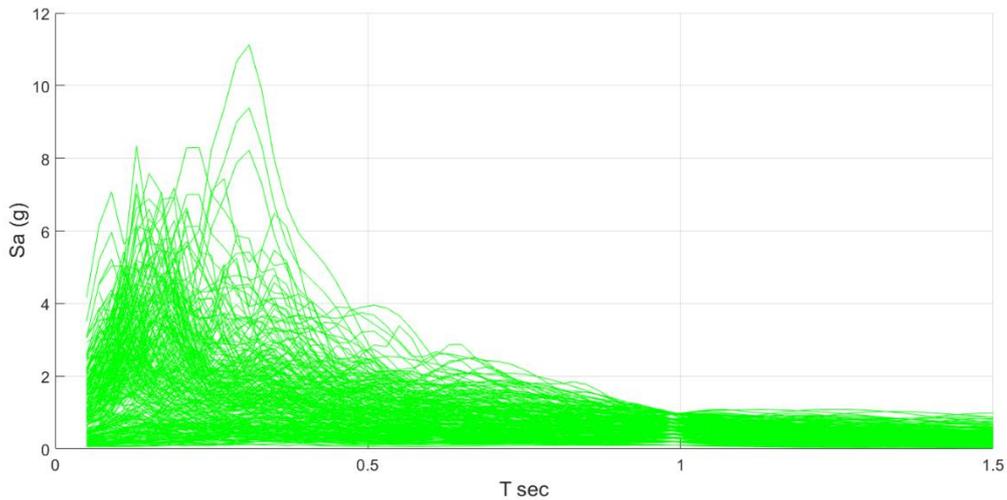


Figura 77. Espectro de aceleración de las demandas sísmicas

Existen varias maneras de representar gráficamente la demanda sísmica. Sin embargo, según publicaciones de investigadores como Lovon (2017) y Villar-vega et al. (2017) las más comunes y fáciles de relacionar son las que están en función del periodo, pseudoaceleración y pseudodesplazamiento. El rango del periodo que se presentan en la Figura 76 y Figura 77 es adecuado, ya que las viviendas de albañilería confinada menores a 4 pisos no superan el periodo de 1s (Norma E030, RNE).

4.3. Curva de capacidad

4.3.1. Curva de capacidad global

En la Figura 78, 79, 80, 81, 82, 83, 84 y 85 las curvas de color azul son las 1000 curvas sintéticas. Las curvas de color verde son de las viviendas reales y la curva de color rojo es la curva promedio de las curvas reales.

4.3.1.1. Curva de capacidad global de las viviendas de un piso

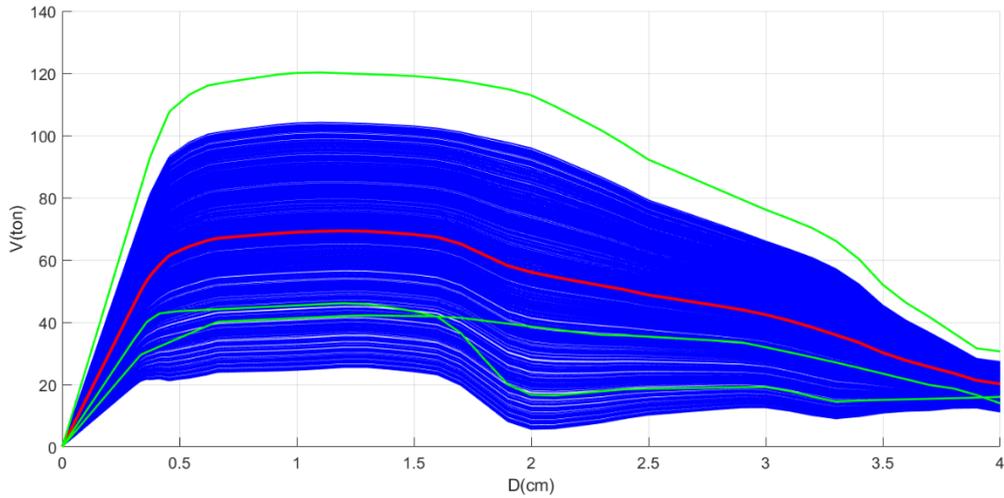


Figura 78. Curva de capacidad global para las viviendas de un piso, en x-x

En la Figura 78 se observa como de las 3 curvas de capacidad reales, 2 tienen un desarrollo similar y la otra dista. Se sabe que las curvas sintéticas se generan a partir del promedio y desviación estándar que existe entre las curvas reales. Al existir una curva de capacidad que es muy diferente a las demás el rango de creación de curvas sintéticas es mayor.

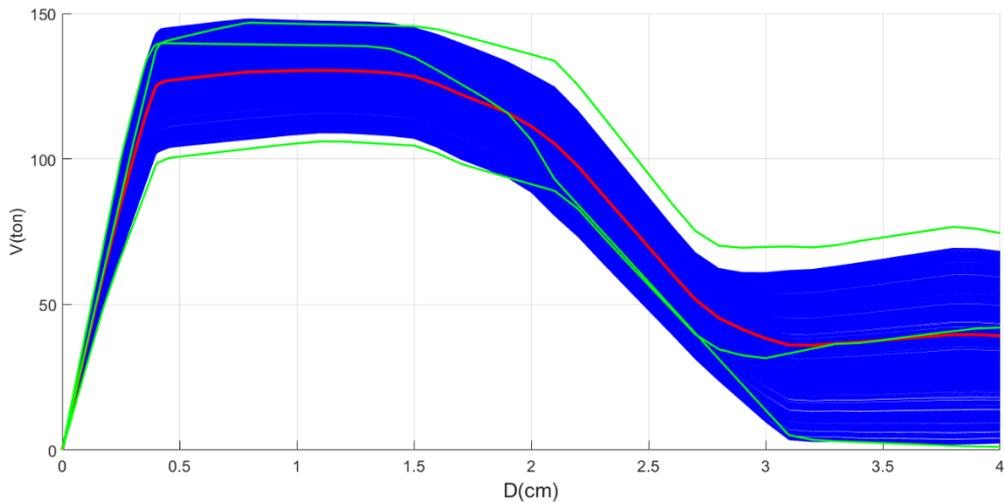


Figura 79. Curva de capacidad global para las viviendas de un piso, en y-y

En la Figura 79 se observa que las curvas de capacidad reales tienen un desarrollo similar. Por tanto, las curvas sintéticas creadas guardan una correlación similar.

4.3.1.2. Curva de capacidad global de las viviendas de dos pisos

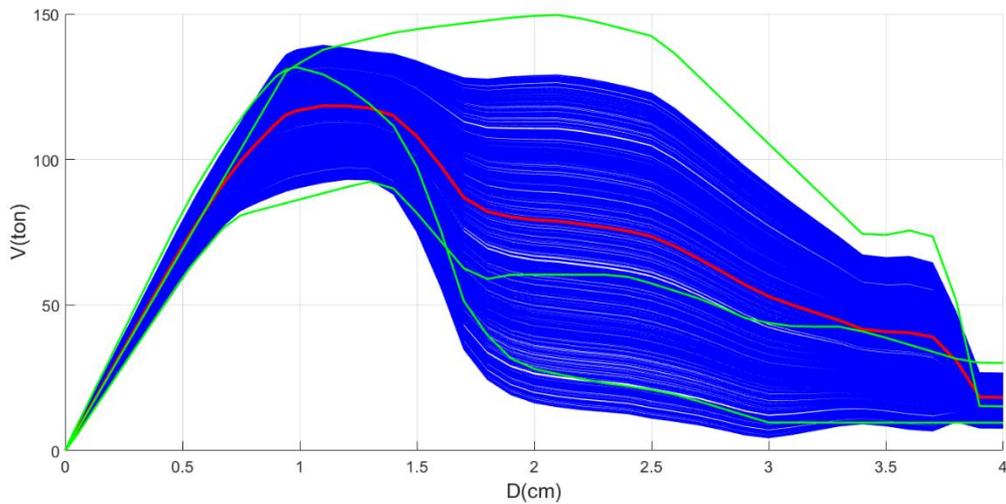


Figura 80. Curva de capacidad global para las viviendas de dos pisos, en x-x

En la Figura 80 se observa que las curvas de capacidad reales en el rango elástico son similares. Luego del punto elástico una curva tiende a alejarse de las demás, mientras que las otras dos tienen un desarrollo similar. Por esta razón las curvas sintéticas después del rango elástico tienen un valor variado.

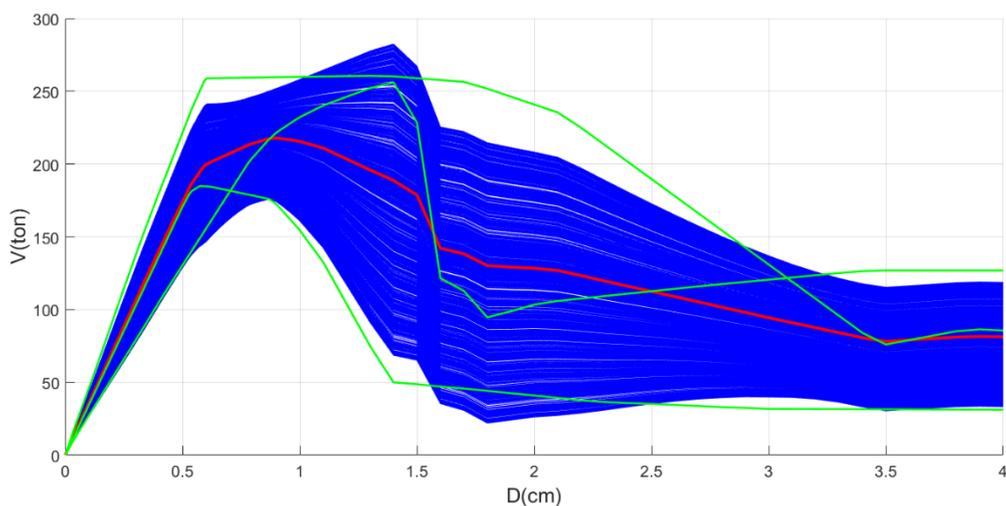


Figura 81. Curva de capacidad global para las viviendas de dos pisos, en y-y

En la Figura 81 se observa que las curvas reales tienen un desarrollo similar en el rango elástico y en la resistencia máxima. Sin embargo, una de ellas tiene un fallo brusco.

4.3.2. Espectro de capacidad trilineal

Se realiza la conversión a un espectro de capacidad trilineal por dos razones. La primera, con el fin de identificar los puntos donde la estructura pasa de un estado de daño a otro. La segunda, con el fin de comparar el pseudodesplazamiento de capacidad con el de demanda.

4.3.2.1. Espectro de capacidad trilineal de las viviendas de un piso

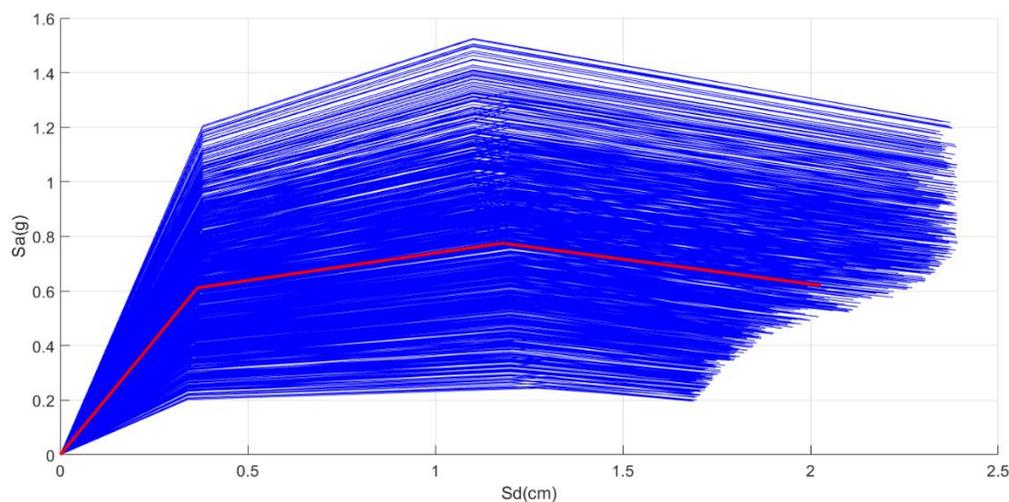


Figura 82. Espectro de capacidad trilineal para viviendas de un piso, en x-x

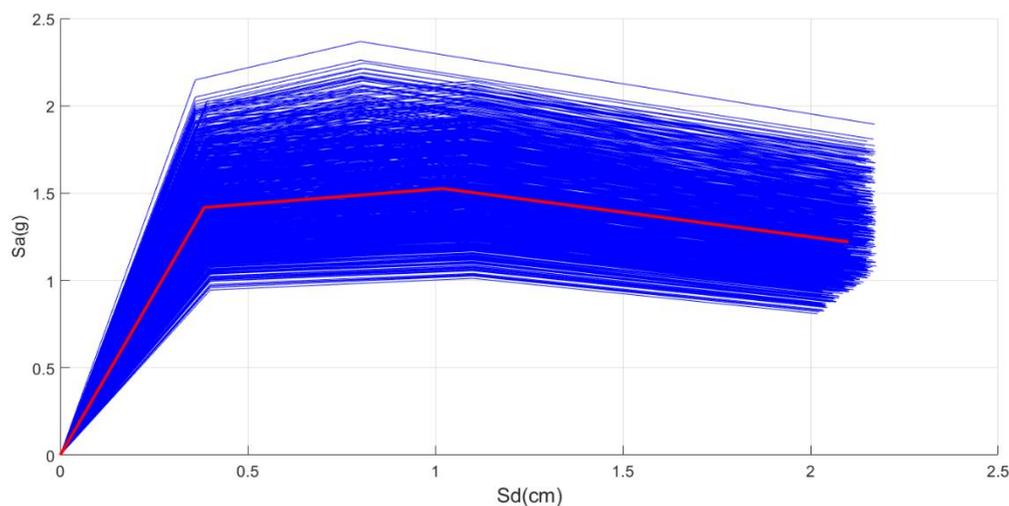


Figura 83. Espectro de capacidad trilineal para viviendas de un piso, en y-y

En la Figura 82 y Figura 83 se observa el espectro de capacidad trilineal para viviendas de un piso en la dirección x-x y y-y, respectivamente. Fijarse que las diferentes curvas trilineales terminan en un diferente pseudodesplazamiento, esto se debe a que se considera que la estructura ya se desplomó cuando se reduce el 20% de la resistencia con el respecto a la resistencia máxima.

4.3.2.2. Espectro trilineal de las viviendas de dos pisos

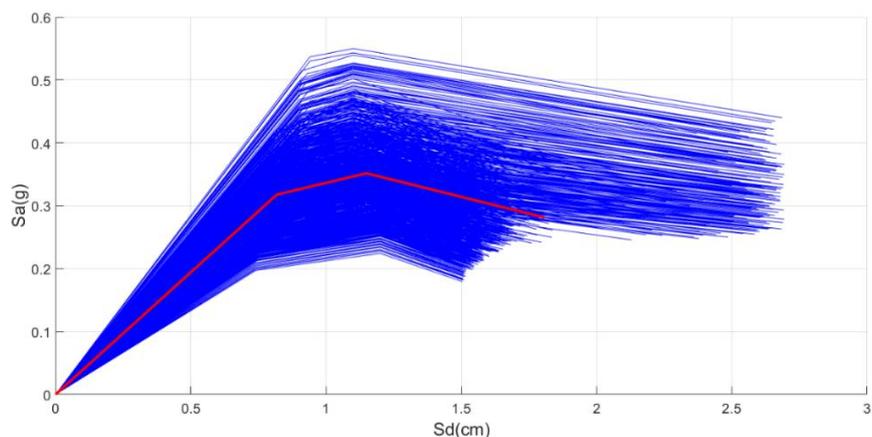


Figura 84. Espectro de capacidad trilineal para viviendas de dos pisos, en x-x

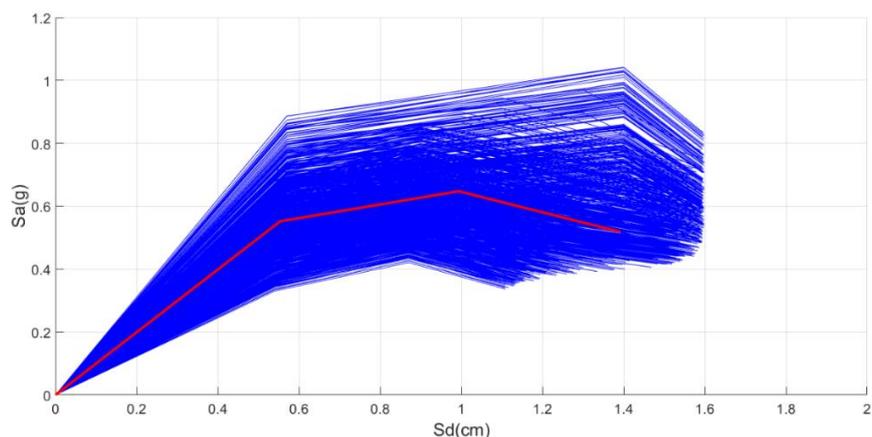


Figura 85. Espectro de capacidad trilineal para viviendas de dos pisos, en y-y

En la Figura 84 y Figura 85 se observa el espectro de capacidad trilineal para viviendas de un piso en la dirección x-x y y-y, respectivamente. Fijarse que las curvas trilineales de la Figura 84 se dividen en dos tipos. La primera con un bajo pseudodesplazamiento y pseudoaceleración. En la Figura 85 se observa que las curvas con alto pseudodesplazamiento y pseudoaceleración tienen poca capacidad de resistencia luego del punto máximo de resistencia al corte, valga la redundancia. En cambio, las curvas con bajo pseudodesplazamiento y pseudoaceleración tienen más capacidad de resistencia luego del punto máximo de resistencia al corte.

Se sabe que los espectros de capacidad se obtienen de las curvas de capacidad, estas curvas de capacidad que son sintéticas se obtuvieron de las muestras mediante métodos estadísticos. Es decir, ya que los espectros de capacidad están en función de la muestra, si la muestra es incorrecta los datos arrojados serán errados. La distribución que se observa en las curvas anteriores es la adecuada, por tanto, el muestreo y calculo son correctos.

4.4. Curvas de fragilidad

4.4.1. Curvas de fragilidad para viviendas de un piso

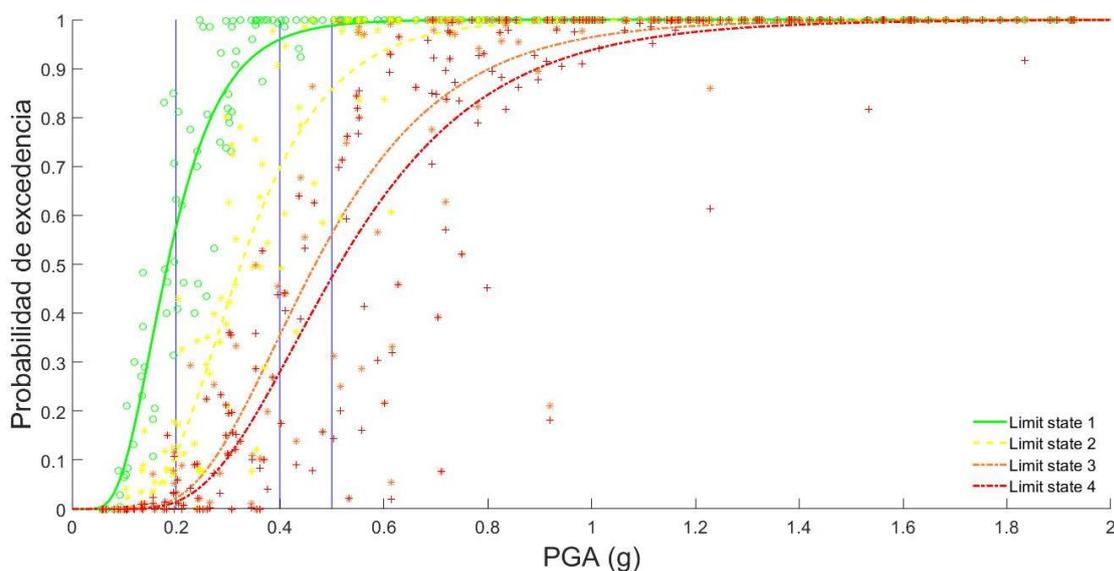


Figura 86. Curvas de fragilidad para viviendas de un piso, en x-x

En la Tabla 20 se observa la lectura que se hizo en la Figura 86.

Tabla 20.

Límites de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de un piso en x-x

PGA (G)	LÍMITE 1	LÍMITE 2	LÍMITE 3	LÍMITE 4
0.2	0.5749	0.1131	0.0219	0.0144
0.4	0.9595	0.6963	0.3548	0.2799
0.5	0.9877	0.8574	0.5622	0.4733

En la Tabla 21 y Figura 87 se muestra la fragilidad estructural obtenida de la Tabla 20.

Tabla 21.

Estados de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de un piso en y-y

PGA (g)	ED 1	ED 2	ED 3	ED 4	ED 5
0.2	43%	46%	9%	1%	1%
0.4	4%	26%	34%	7%	28%
0.5	1%	13%	30%	9%	47%

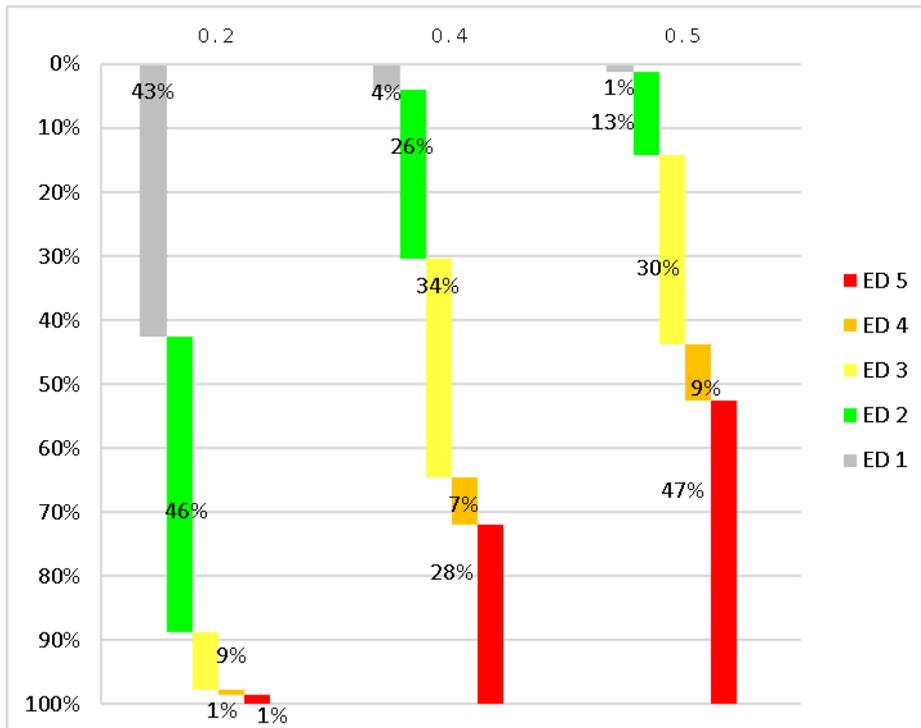


Figura 87. Diagrama de daño asociado a un PGA para viviendas de un piso en x-x

Las viviendas de un piso en su dirección x-x que es la menos resistente tienen un desempeño moderado. En la Figura 87 se interpretan los resultados de la Figura 86 para PGA propuestos por Velásquez (2006). Para el estado de daño 5 se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 1%, 28% y 47% de probabilidad de daño, respectivamente. Para el estado de daño 4, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 1%, 7% y 9% de probabilidad de daño, respectivamente. Para el estado de daño 3, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 9%, 34% y 30% de probabilidad de daño, respectivamente. Para el estado de daño 2, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 46%, 26% y 13% de probabilidad de daño, respectivamente. Finalmente, para el estado de daño 1, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 43%, 4% y 1% de probabilidad de daño, respectivamente.

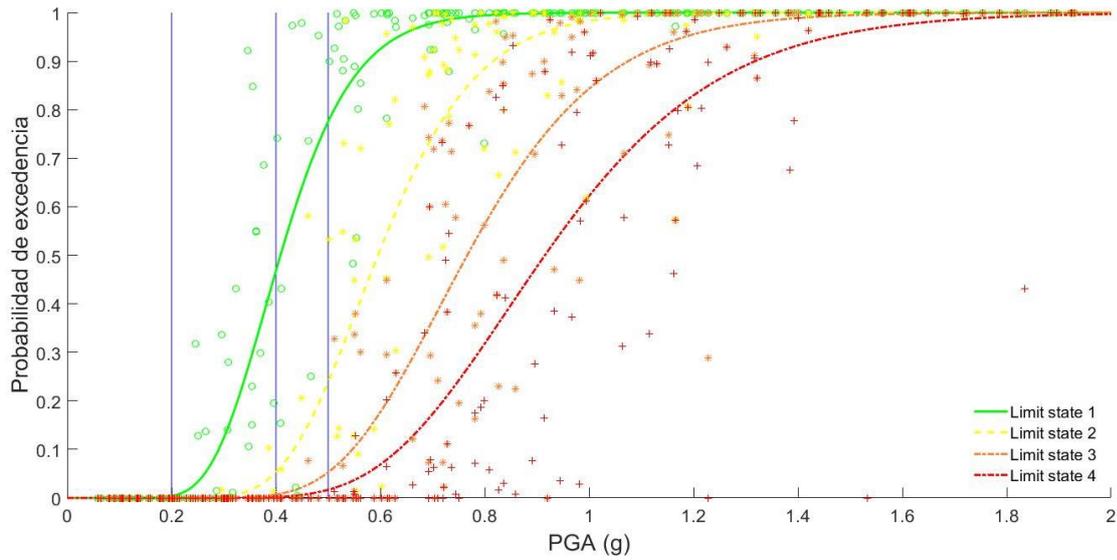


Figura 88. Curvas de fragilidad para viviendas de un piso, en y-y

En la Tabla 22 se observa la lectura que se hizo en la Figura 88.

Tabla 22.

Límites de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de un piso en y-y

PGA (g)	LÍMITE 1	LÍMITE 2	LÍMITE 3	LÍMITE 4
0.2	0.0037	0	0	0
0.4	0.4679	0.0529	0.0069	0.0018
0.5	0.7752	0.2387	0.0527	0.0168

En la Tabla 23 y Figura 89 se muestra la fragilidad estructural obtenida de la Tabla 22.

Tabla 23.

Estados de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de un piso en y-y

PGA (g)	ED 1	ED 2	ED 3	ED 4	ED 5
0.2	100%	0%	0%	0%	0%
0.4	53%	42%	5%	1%	0%
0.5	22%	54%	19%	4%	2%

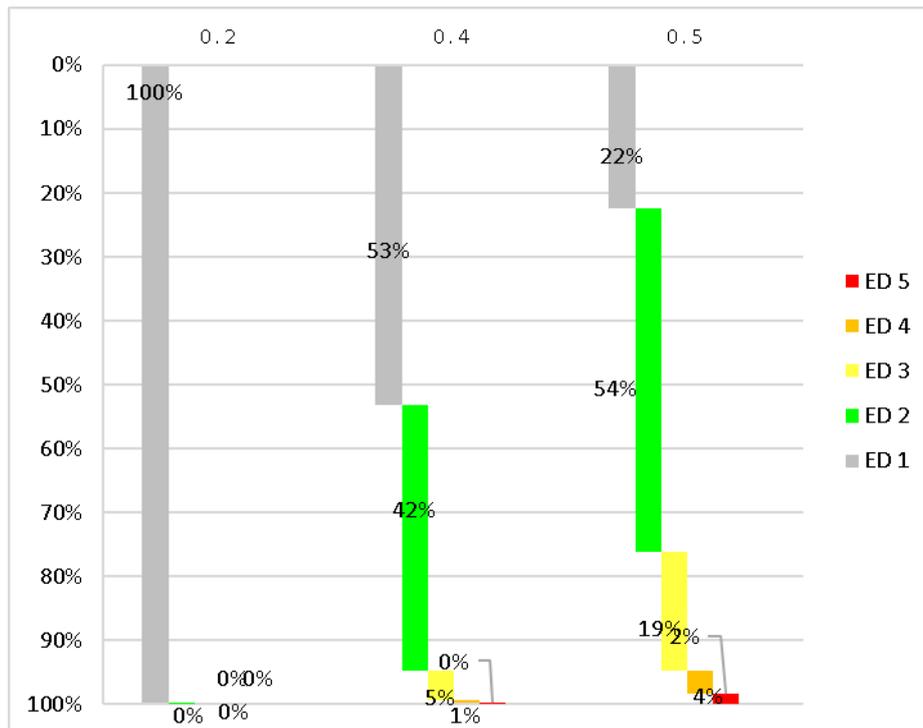


Figura 89. Diagrama de daño asociado a un PGA para viviendas de un piso en y-y

Las viviendas de un piso en su dirección y-y que es la más resistente tienen un desempeño óptimo. En la Figura 89 se interpretan los resultados de la Figura 88 para PGA propuestos por Velásquez (2006). La probabilidad de daño en el estado 5 para 0.2g y 0.4g no existe, sin embargo, para 0.5g la probabilidad de daño es del 2%. Para el estado de daño 4, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 0%, 1% y 4% de probabilidad de daño, respectivamente. Para el estado de daño 3, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 0%, 5% y 19% de probabilidad de daño, respectivamente. Para el estado de daño 2, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 0%, 42% y 54% de probabilidad de daño, respectivamente. Finalmente, para el estado de daño 1, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g hay un 100%, 53% y 22% de probabilidad de daño, respectivamente.

4.4.2. Curvas de fragilidad para viviendas de dos pisos

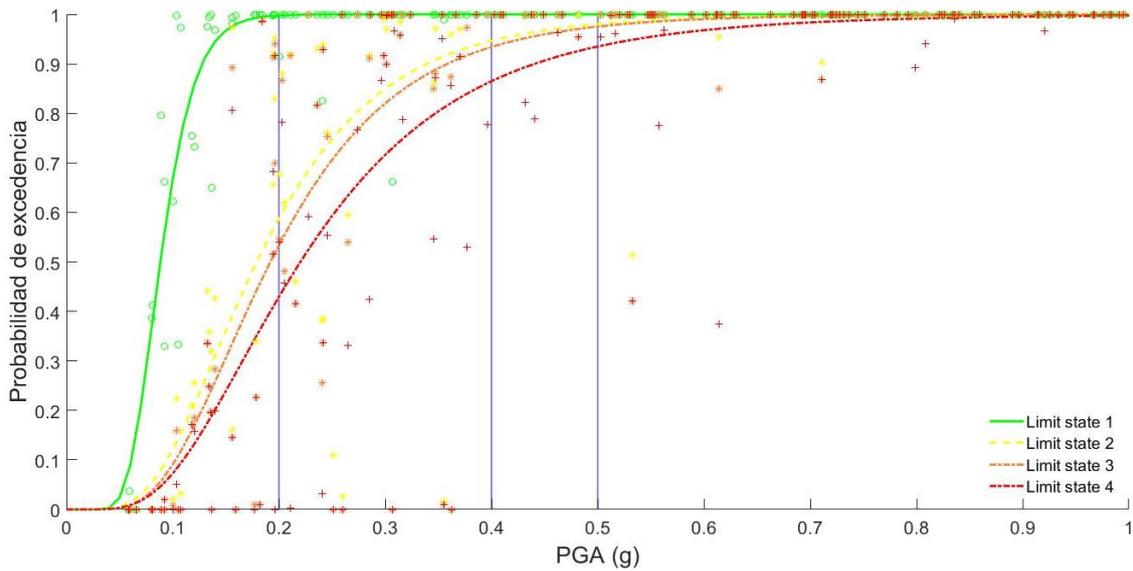


Figura 90. Curvas de fragilidad para viviendas de dos pisos, en x-x

En la Tabla 24 se observa la lectura que se hizo en la Figura 90.

Tabla 24.

Límites de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de dos pisos en x-x

PGA (g)	LÍMITE 1	LÍMITE 2	LÍMITE 3	LÍMITE 4
0.2	0.9978	0.5874	0.5335	0.4295
0.4	1	0.9465	0.9341	0.865
0.5	1	0.9803	0.9753	0.9351

En la Tabla 25 y Figura 91 se muestra la fragilidad estructural obtenida de la Tabla 24.

Tabla 25.

Estados de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de dos pisos en y-y

PGA (g)	ED 1	ED 2	ED 3	ED 4	ED 5
0.2	0%	41%	5%	10%	43%
0.4	0%	5%	1%	7%	87%

0.5 0.2 0.4 1% 4% 94%

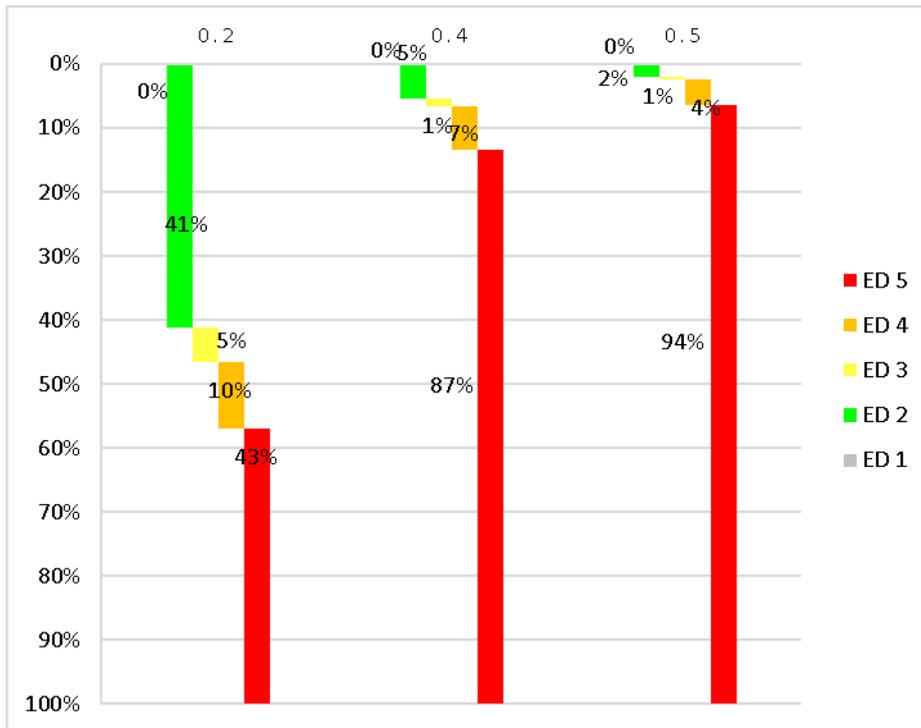


Figura 91. Diagrama de daño asociado a un PGA para viviendas de dos pisos en x-x

Las viviendas de dos pisos en su dirección x-x que es la menos resistente tienen un desempeño inadecuado. En la Figura 91 se interpretan los resultados de la Figura 90 para PGA propuestos por Velásquez (2006). Para el estado de daño 5 se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 43%, 87% y 94%, respectivamente. Para el estado de daño 4, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 10%, 7% y 4%, respectivamente. Para el estado de daño 3, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 5%, 1% y 1%, respectivamente. Para el estado de daño 2, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 41%, 5% y 2%, respectivamente. Finalmente, para el estado de daño 1, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g no existe probabilidad de daño.

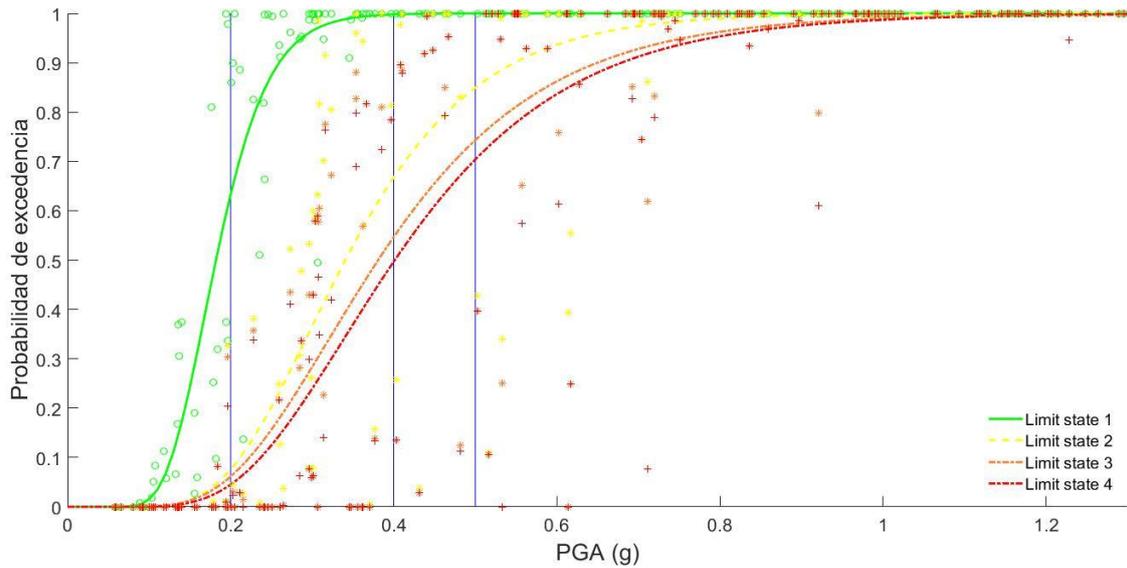


Figura 92. Curvas de fragilidad para viviendas de dos pisos, en y-y

En la Tabla 26 se observa la lectura que se hizo en la Figura 92.

Tabla 26.

Límites de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de dos pisos en x-x

PGA (g)	LÍMITE 1	LÍMITE 2	LÍMITE 3	LÍMITE 4
0.2	0.6333	0.0756	0.0612	0.045
0.4	0.9978	0.6674	0.5469	0.4969
0.5	0.9999	0.8495	0.7431	0.7038

En la Tabla 27 y Figura 93 se muestra la fragilidad estructural obtenida de la Tabla 26.

Tabla 27.

Estados de daño de acuerdo a un PGA para viviendas de dos pisos en y-y

PGA (g)	ED 1	ED 2	ED 3	ED 4	ED 5
---------	------	------	------	------	------

0.2	37%	56%	1%	2%	5%
0.4	0%	33%	12%	5%	50%
0.5	0%	15%	11%	4%	70%

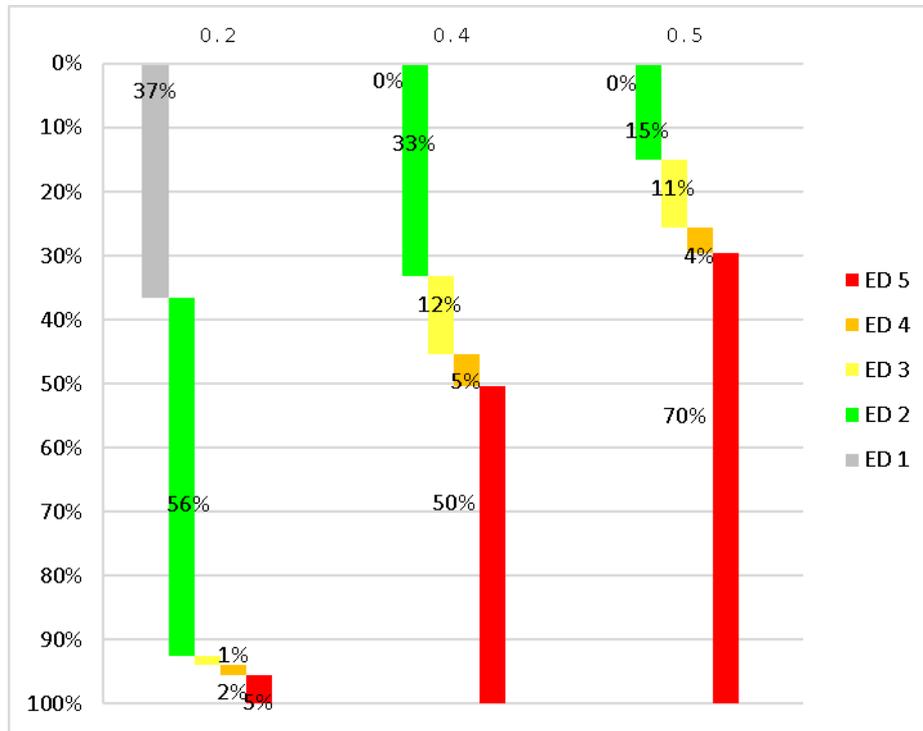


Figura 93. Diagrama de daño asociado a un PGA para viviendas de dos pisos en y-y

Las viviendas de dos pisos en su dirección y-y que es la menos resistente tienen un desempeño inadecuado. En la Figura 93 se interpretan los resultados de la Figura 92 para PGA propuestos por Velásquez (2006). Para el estado de daño 5 se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 5%, 50% y 70%, respectivamente. Para el estado de daño 4, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 2%, 5% y 4%, respectivamente. Para el estado de daño 3, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 1%, 12% y 11%, respectivamente. Para el estado de daño 2, se tiene que para 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 56%, 33% y 15%, respectivamente. Finalmente, para el estado de daño 1, se tiene que 0.2g, 0.4g y 0.5g existe la probabilidad de daño de un 39%, 0% y 0%, respectivamente.

Capítulo V. Conclusiones y Recomendaciones

5.1. Conclusiones

Al culminar el presente trabajo de investigación se han llegado a las siguientes conclusiones:

- Las edificaciones en el A.H. Los Sauces muestra que un 74.6% de viviendas son de albañilería confinada, este dato sigue la tendencia de construcción en Lima que es de un 83% (INEI - Censos Nacionales de Población y Vivienda 1993 y 2007). Por tanto, se deduce que el A.H. Los Sauces representa de una manera aceptable a Lima y si bien los datos solo se obtuvieron del A.H. Los Sauces, los resultados también sirven para darnos una idea de las construcciones en Lima.
- Las construcciones tienen presencia de factores degradantes de la capacidad estructural, estos factores se dan por un mal procedimiento de construcción y/o un mal cuidado de la vivienda. Muchas de estos factores degradantes pueden ser reparadas, de tal manera que no se vea reducida la capacidad estructural.
- Debido a las dimensiones del terreno en planta, que muchas veces es rectangular. La vivienda tiende a construir mayor cantidad de muros en la dirección perpendicular a la calle y pocos en la dirección paralela. Esto genera que la dirección paralela sea más débil.
- Se sabe que para obtener la demanda sísmica existe el método probabilístico y determinista, sin embargo, el fin de esta investigación es obtener curvas de fragilidad por tal motivo solo se puede calcular la demanda sísmica por una serie de sismos en base al método determinístico.
- Teóricamente cuando se tiene una mayor cantidad de sismos la obtención de la demanda sísmica es más adecuada. Esto no es del todo correcto, ya que, si en la localidad no hay un registro extenso de los sismos ocurridos, lo único que se logra al buscar una mayor base de datos es que se tengan sismos irrelevantes, es decir de poca intensidad. En base a esto, la cantidad de 232 sismos relevantes ocurridos en la Sudamericana que se utilizaron para la presente investigación es adecuada.
- En los espectros de pseudoaceleración y pseudodesplazamiento se observa que la distribución de la fuerza del sismo es similar a lo largo de la duración.

Sin embargo, existen sismos que tiene una fuerza mayor y otros que son menores, estos valores son correctos ya que los sismos son estocásticos, además, la fragilidad de las viviendas se analiza individualmente para cada sismo.

- El desempeño estructural se usa para el cálculo de las curvas de fragilidad y está en función de la capacidad estructural y la demanda sísmica. Según los resultados de curvas de capacidad se observa que la distribución de carga y desplazamiento a lo largo del desarrollo para las viviendas de uno y dos es similar y poco similar, respectivamente. Esto no se hubiera logrado si la muestra y el procedimiento de cálculo hubieran sido errados.
- En las curvas de capacidad se observa la existencia de curvas de capacidad que fallan a desplazamientos menores con respecto a las otras curvas. Esto se debe a que existen muros que tienen aberturas, como consecuencia el muro se ve reducido en su capacidad estructural llegando inclusive al 50% de su capacidad si este hubiera sido un muro lleno.
- En general las viviendas de albañilería confinada tienen un desempeño bajo, esto se comprueba evaluando las curvas de fragilidad ante niveles de sismos relacionados a un PGA. Las viviendas de un piso en su dirección más débil presentarían ante un sismo moderado (0.4g) una probabilidad del 28% de sufrir un colapso. Además, las viviendas de dos pisos en su dirección más débil presentarían ante un sismo moderado (0.4g) una probabilidad del 87% de sufrir un colapso. De producirse un terremoto con un PGA similar o mayor, las pérdidas son eminentes.
- Como ya se mencionó la presente tesis se evalúa de acuerdo a los parámetros de Velásquez (2006), que son para un PGA de 0.20g, 0.40g y 0.50g que responden a un sismo ocasional, raro y muy raro, respectivamente. Los resultados son congruentes con otras investigaciones (Lovon, 2017; Flores, 2014 y Mosqueira y Tarque 2005). Primero dato congruente, la diferencia de resistencia de las viviendas cuando tienen un terreno rectangular, es decir que en su dirección paralela a la calle tiene menor resistencia que en la otra dirección. La segunda es que al obtener la fragilidad para un mayor PGA, la vivienda tiene la probabilidad de sufrir mayor daño. Por lo mencionado, los presentes resultados y la metodología usada para hallarlos son correctos.

5.2. Recomendaciones

Durante el desarrollo de la presente investigación se han pensado en mejoras que se podría hacer para que los datos representen de una mejor manera la fragilidad estructural de las viviendas, se recomienda aplicar estas mejoras:

- Para obtener la histéresis de un muro de albañilería, se recomienda que las propiedades se consigan de ensayos realizados a los elementos estructurales de la población. Si bien es aceptable que las propiedades de los elementos estructurales se consigan de otras investigaciones, como se realizó en investigaciones de Acero et al. (2017); Eyzaguirre et al. (2017) y Lovon (2017). Es más adecuado si se obtienen sus propios resultados, ya que la mano de obra que construyó la vivienda puede haberlo hecho mejor o peor. Por tanto, esta incertidumbre afecta en los resultados finales.
- Evaluar una mayor cantidad de viviendas, esto para crear una mejor base de datos para la creación de viviendas sintéticas. Debido a que en la presente investigación solo fueron analizadas seis viviendas, las curvas de capacidad global tenían en su rango no elástico una desviación estándar considerable. Esto refleja que los valores no tenían un desarrollo similar, por tanto, las curvas sintéticas podrían salir con muy poca o mucha capacidad estructural. En la presente investigación esto se evitó truncado la campana lognormal de Gauss.
- Los resultados pueden ser utilizados para desarrollar planes de mitigación de riesgo, de este modo se evitaría gran pérdida económica y de vidas humanas.
- Para futuras investigaciones sería adecuado tomar en cuenta la vulnerabilidad no estructural y los costos de reparación. Con esto no solo se podría calcular la fragilidad de las estructuras sino dar una solución y el costo de esa solución.

Referencias

- Acero, J., Colque, K., y Oquendo., A. (2017). Elaboración de Curvas de Fragilidad y Consecuencia de Muros de Albañilería Confinada Construidos con Blocker II, Tesis de Pregrado, Universidad Privada de Tacna.
- Abanto, F. 2005. Análisis y diseño de edificaciones de albañilería, Lima, PE.
- Aguilar, Z. (2010). Análisis de Peligro Sísmico y Estimado del Movimiento Sísmico de Diseño. Obtenido de CISMID: <http://www.cismid-uni.org/trabajos-deinvestigacion.html?start=5>
- Alarcón, S. M. (2003). Vulnerabilidad Sísmica del Distrito de la Molina. Tesis de Pregrado, Departamento de Pregrado en Estructuras, Universidad de Ingeniería, 127 p.
- Alcocer, S., Meli, R., Sánchez, T., y Flores, L. (1994). Comportamiento ante cargas laterales de sistemas de muros de mampostería confinada con diferentes grados de acoplamiento a flexión. Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRES), 53-76: Cuaderno de Investigación, No.17.
- Astroza, M., y Schmidt, A. (2004). Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño. Revista de Ingeniería Sísmica, 70 59-75.
- Arias, J., Villasís, M. Á., y Miranda, M. G. (2016). El protocolo de investigación III: la población de estudio. Alergia México, 63(2), 201–206.
- Arriola, L. E. (2012). Población, Muestra, Muestreo y Criterios de selección. [Archivo de video]. Retrieved from https://www.youtube.com/watch?v=zGtk_li9VBs
- ATC. (1985). Earthquake Damage Evaluation Data for California, ATC-13, Applied Technology Council, California, U.S.A.
- ATC. (1988). Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook, ATC-21, Applied Technology Council, California, U.S.A.
- ATC. (1996). Seismic evaluation and retrofit of concrete buildings, ATC-40, Seismic Safety Commission, SSC Rep. 96-01, 1-2, California, U.S.A.
- ATC. (2005). Improvement of Nonlinear Static Seismic Analysis Procedures, FEMA 440, California, U.S.A.
- Biblia. (1960). Reina-Valera. renovado en 1986, perteneciente a las Sociedades Bíblicas Unidas. 1995.
- Bolaños, A. M., y Monroy, O. M. (2004). Espectros de peligro sísmico uniforme. Lima-Perú: Pontificia Universidad Católica del Perú (Magíster en ingeniería civil).
- Bolt, B. (1976). Nuclear Explosions and Earthquakes. Freeman and Company.

- Bommer, J., Salazar, W., y Samayoa, R. (1998). Riesgo sísmico en la región metropolitana de San Salvador. San Salvador, El salvador: Programa Salvadoreño de Investigación sobre desarrollo y medio ambiente.
- Borja, M. (2012). Metodología de la Investigación científica para ingenieros. Chiclayo.
- Burgos, N. (2007). Estudio de la metodología "Diseño por capacidad" en edificaciones aporticadas de concreto armado para ser incorporada a la Norma Peruana E-060 como alternativa de diseño. Facultad de Ingeniería Civil, Universidad Nacional de Ingeniería UNI, Lima-Perú: Tesis de maestría de estructuras.
- Busso, H. G., y Jorge, Y. B. (2015). Evaluación por desempeño sísmico de una construcción confinada de cinco pisos en la ciudad de Huancavelica utilizando un análisis no lineal estático, distrito Huancavelica, provincia Huancavelica, región Huancavelica. Huancavelica: Tesis de pregrado-Universidad nacional de Huancavelica.
- Benedetti, D., y Petrini, V. (1984). Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura i proposte di un metodo di valutazione. *L'industria delle Costruzioni*, 149, 66-74.
- Bozzo, L., y Barbat, A. H. (2000). Diseño sísmico de edificios, Técnicas convencionales y avanzadas, Editorial Reverté S.A., Barcelona.
- Braga, F., Dolce, M., y Liberatore, D. (1982). A statistical study on damaged buildings and ensuing review of the MSK-76 scale. *Proceedings of Seventh European Conference on Earthquake Engineering*, Athens.
- Calvi, G., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J., Restrepo, L., y Crowley, H. (2006). Development of Seismic Vulnerability Assessment Methodologies over the Past 30 Years, *ISET Journal of Earthquake Technology*, Paper No. 472, 43(3), 75-104.
- Corsanego, A., Petrini, V. (1990) Seismic vulnerability of buildings. In: *Proceedings of the SEISMED 3*. Trieste, Italia
- Dolce, M., Kappos, A., Zuccaro, G., y Coburn, A. (1994). Report of the EAEE working group 3: vulnerability and risk analysis, *Technical Report 10th european conference on Earthquake Engineering*. Vienna, 4, 3049–3077.
- Dumova-Jovanoska, E. (2004). Fragility Curves for RC Structures in Skopje Region, *Proceedings of the 13th World Conference on Earthquake Engineering*, Vancouver, Canada, Paper No. 3.
- Ellingwood, B., Celik, O., y Kinali, K. (2007). Fragility assessment of building structural systems in mid-America. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*. 36, 1935–1952.
- Eyzaguirre, O., Acero, J., y Cotrado, D. (2017). Elaboración de Curvas de Fragilidad de Muros de Ductilidad Limitada de 10 cm de Espesor, Basados en Ensayos Experimentales, Período 2011-2015. Tesis de Pregrado, Universidad Privada de Tacna.

- FEMA. (1996). NEHRP Guidelines for the seismic rehabilitation of buildings (FEMA 273), Federal Emergency Management Agency, Washington DC, U.S.A.
- FEMA. (2000). Prestandard and commentary for the Seismic rehabilitation of buildings (FEMA 356), Federal Emergency Management Agency, Washington DC, U.S.A.
- FEMA. (2003). HAZUS-MH Technical Manual, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, U.S.A.
- Freeman, S., Nicoletti, J., y Tyrell, J. (1975). Evaluations of existing buildings for seismic risk—A case study of Puget Sound Naval Shipyard, Bremerton, Washington, Proceedings of 1st U.S. National Conference on Earthquake Engineering, EERI, Berkeley, U.S.A., 113–122.
- Flores, L., y Alcocer, S. M. (2009). Modelos esfuerzo deformación axial para mampostería confinada fabricada en México D.F. Puebla: Memorias del XVII Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- Flores, R. (2014). Diagnóstico preliminar de la vulnerabilidad sísmica de las autoconstrucciones en Lima. Tesis de pregrado, Lima.
- Garay, L. Y., y Quispe, C. E. (2016). Estudio del concreto elaborado en los vaciados de techos de vivienda en Lima y evaluación de alternativa de mejora mediante el empleo de aditivo superplastificante (reductor de agua de alto rango). Lima-Peru: Pontificia Universidad Católica del Perú, Tesis de Maestría.
- Giovinazzi, S. (2005). The Vulnerability Assessment and the Damage Scenario in Seismic Risk Analysis. (tesis de doctorado). Technical University Carolo-Wilhelmina at Braunschweig, Germany and University of Florence, Florence, Italia.
- GNDT. (1993). Rischio Sismico di edifici Pubblici-Parte I Aspetti Metodologici. CNR - Gruppo Nazionale per la Difesa dai Terremoti. Roma, Italia.
- Google earth. (2018). Imagen. [Mapa de A.H. Los Sauces, Lima].
- Grünthal, G. (1998). European Macroseismic Scale 1998 - EMS-98, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie. 15, Luxembourg.
- Herrera, R., Vielma, J., y Pujades, L. (2014) Metodologías de evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificios: un estado del conocimiento. Obtenida de ResearchGate: https://www.researchgate.net/publication/271643633_capitulo_1_metodologias_de_evaluacion_de_vulnerabilidad_sismica_de_edificios_un_estado_del_conocimiento
- Instituto Geofísico., y Ministerio del Ambiente. (2012). Zonificación sísmica geotécnica de la cuenca del río Rímac: Chosica, Chaclacayo, Huaycán y Carapongo. Lima.
- INEI. (2014). Publicaciones digitales INEI. Obtenido de https://www.inei.gov.pe/media/MenuRecursivo/publicaciones_digitales/Est/Lib1173/cap04/cap04.pdf

- INEI. (2015). Proyectos INEI. Obtenido de <http://proyectos.inei.gob.pe/web/biblioineipub/bancopub/Est/Lib0838/libro15/cap01.pdf>
- Instituto Geofísico del Perú. (11 de 23 de 2018). IGP. Obtenido de <https://scts.igp.gob.pe/unidad-sismologia/mapa-sismico>
- Ishibashi, H., Meli, R., Alcocer, S., Leon, F., y Sánchez, T. (1992). Estudio experimental sobre el diseño resistente a los terremotos de estructuras de mampostería confinadas. Madrid, España.
- Jaiswal, K., Petersen, M., Harmsen, S., Smoczyk, G. (2014). Assessing the Seismic Risk Potential of South America, Second European Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul, Turkey.
- Kramer, S. L. (1996). Geotechnical Earthquake Engineering. Prentice Hall.
- Kuroiwa, J. (2002). Reducción de desastres - Vivienda en armonía con la naturaleza. Lima, Peru: Quebecor World Perú S. A.
- Lantada, N. (2007). Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. aplicación a la ciudad de Barcelona. Barcelona: Tesis doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña, Departamento de Ingeniería del terreno, cartografía y geofísica.
- Llanos, L., y Vidal, L. (2003). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali. Una propuesta metodológica. Universidad del valle, Colombia: Trabajo de Grado Ingeniería Civil.
- Lovon, H. M. (2017). Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada de Lima. Lima-Perú: Pontificia universidad católica del Perú, Tesis de maestría.
- Lagomarsino, S., y Giovinazzi, S. (2006). Macro seismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings, Bull Earthquake Engineering, 4, 415–443.
- MATLAB R2015a, The MathWorks, Inc., Natick, Massachusetts, United States.
- Martines, J. M., Cruz, G. M., Pérez, J. Á., y Pérez, I. A. (2008). Modelo de Columna ancha para el diseño estructural de viviendas de mampostería. Veracruz: XVI Congreso Nacional de Ingeniería Estructural.
- Matos, J. (1991). Las migraciones campesinas y el proceso de urbanización en el Peru. En UNESCO, Reports and studies (of the Section for Cultural Policies and Studies on Cultural Development) (págs. 1-44).
- Mosqueira, M. Á., y Tarque, S. N. (2005). Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana. Tesis

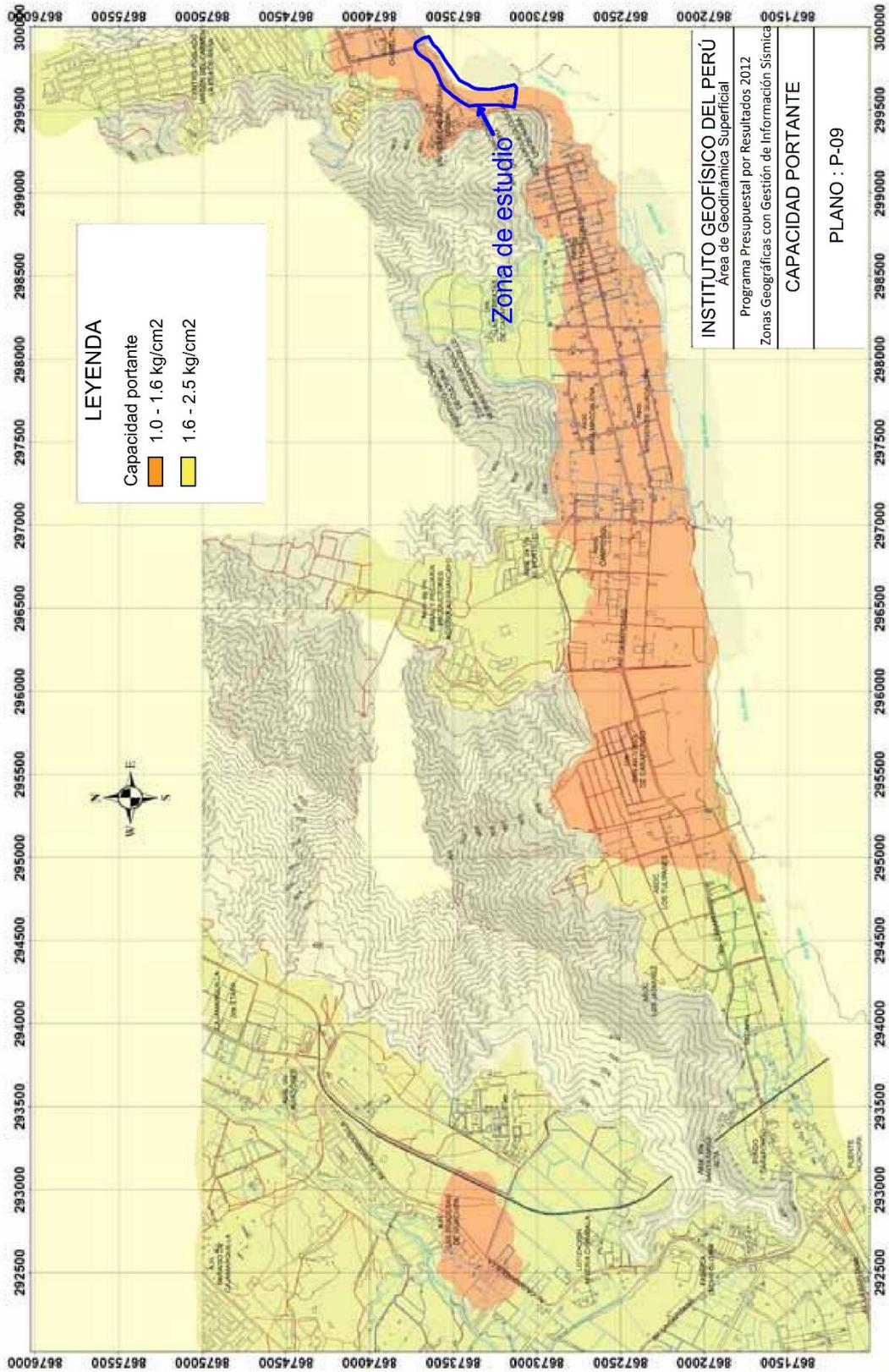
- de Maestría, Departamento de Posgrado en Estructuras, Pontificia Universidad Católica del Perú, 142 p.
- Masi, A. (2003). Seismic Vulnerability Assessment of Gravity Load Designed R/C Frames, *Bull Earthquake Engineering*, 1(3), 371-395.
- Medvedev, S., Sponheuer, W., y Karník, V. (1965). Seismic intensity scale version MSK 1964, UNESCO, Report WS/0565.43 AVS, Paris, 1-7.
- Michel, C., Guéguen, P., y Causse, M. (2012). Seismic vulnerability assessment to slight damage based on experimental modal parameters, *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 41, 81–98.
- NIBS. (1999). HAZUS 99 Technical Manuals, Federal Emergency Management Agency, Washington D.C, U.S.A.
- Oliva, J. (2017). Curvas de Capacidad y Fragilidad Estructural de Tipologías Comúnmente Usadas en el Salvador. Tesis de Maestría, Universidad de el Salvador.
- Park, Y., y Ang, A. (1985). Mechanistic Seismic Damage Model for Reinforced Concrete, *Journal of Structural Engineering*, 111(4), 722-739.
- Porter, K. (2017). A Beginner's Guide to Fragility, Vulnerability, and Risk. University of Colorado Boulder.
- Priestley, M., Calvi, G., y Kowalski, M. (2007). Displacement-based seismic design of structures. IUSS Press. Pavia. Italia.
- Roman, S., y Astroza, M. (2009). Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de albañilería de bloques de hormigón construidas en el norte de Chile. Tesis de pregrado, Lima.
- Rossetto, T., y Elnashai, A. (2005). A New Analytical Procedure for the Derivation of Displacement-Based Vulnerability Curves for Populations of RC Structures, *Engineering Structures*, 7(3), 397-409.
- Riahi, Z., Elwood, K. J., y Alcocer, S. M. (2009). Backbone Model for Confined Masonry Walls for Performance-Based Seismic Design. *Journal of Structural Engineering*, 135(6), 644–654. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)ST.1943-541X.0000012](https://doi.org/10.1061/(ASCE)ST.1943-541X.0000012)
- Safina, S. (2003). Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico. (tesis de doctorado). Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona, España.
- San Bartolomé, A. (2007). Defectos que incidieron en el comportamiento de las construcciones de Albañilería en el sismo de Pisco del 15-08-2007. Pontificia Universidad Católica Del Perú.
- Santana Tapia, R. (2012). Diseño sísmico por desempeño de estructuras de albañilería confinada. Lima.

- Scholz, C. H. (1972). Crustal movements in tectonic areas. *Tectonophysics*, 14(3–4), 201–217. [https://doi.org/10.1016/0040-1951\(72\)90069-8](https://doi.org/10.1016/0040-1951(72)90069-8)
- Silvia, A. (2003). Vulnerabilidad sísmica del distrito de la Molina. Tesis de pregrado, Lima.
- Singhal, A., y Kiremidjian, A. (1998). Bayesian updating of fragilities with application to RC frames. *Journal of Structural Engineering*, 124(8), 922–929
- Spence, J. T., y Robbins, A. S. (1992). Workaholicism: Definition, measurement, and preliminary results. *Journal of Personality Assessment*, 58, 160–178.
- Tarr, A.C., Villaseñor, A., Furlong, K., Rhea, S., y Benz, H. (2010). Seismicity of the Earth 1900-2007. Geological Survey Scientific Investigations Map 3064, 1 sheet, scale 1:25,000,000.
- Tavera, H. y Buforn, E. (1998) Sismicidad y sismotectónica de Perú. Madrid, España. Física de la Tierra.
- Tavera, H., Bernal, I., Guillier, B., Gómez, J. C., Portugal, D., Enciso, L., y Guerra, D. (2012). Zonificación sísmica geotécnica de la cuenca del río Rímac: Chosica, Chacabuco, Huaycán y Carapongo. Lima: SúperGráfica E.I.R.L.
- The University of Tokio. (2011). Earthquake Research Institute. Obtenido de http://outreach.eri.u-tokyo.ac.jp/eqvolc/201103_tohoku/eng
- Vargas, G., Farías, M., Carretier, S., Tassara, A., Baize, S., y Melnick, D. (2011). Coastal uplift and tsunami effects associated to the 2010 Mw8.8 Maule earthquake in Central Chile. *Andean Geology*, 38 (1), 219-238.
- Villar-Vega, Mabe & Silva, Vitor & Crowley, Helen & Yepes, Catalina & Tarque, Nicola & Acevedo, Ana Beatriz & Hube, Matias & Coronel D., Gustavo & Santa-Maria, Hernan. (2017). Development of a Fragility Model for the Residential Building Stock in South America. *Earthquake Spectra*. 33. 10.1193/010716EQS005M.
- Villegas-Lanza, J. C., Chlieh, M., Cavalié, O., Tavera, H., Baby, P., Chire-chira, J., y Nocquet, J. M. (2016). Active tectonics of Peru: Heterogeneous interseismic coupling along the Nazca megathrust, rigid motion of the Peruvian Sliver, and Subandean shortening accommodation. *American Geophysical Union*, 121, 1-21.
- Vizconde, A. (2004). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: clínica San Miguel, Piura. Piura: Tesis de Posgrado, Universidad de Piura, Facultad de Ingeniería- Programa académico Ingeniería Civil.
- Vicente, R., Parodi, S., Lagomarsino, S., Varum, H., y Mendes, J. (2011). Seismic vulnerability and risk assessment: case study of the historic city centre of Coimbra, Portugal, *Bull Earthquake Engineering*, 9, 1067-1096.

- Vielma, J. C., Barbat, A., y Oller, S. (2007). Curvas de fragilidad y matrices de probabilidad de daño de edificios de concreto armado con ductilidad limitada, *Revista internacional de desastres naturales, accidentes e infraestructura civil*, 7(2), 273-286.
- Whitman, R., y Hong, S. (1973). *Earthquake Damage Probability Matrices*,. Roma, Italia, 2, 2531-2540: *Proceedings of the 5th World Conference on Earthquake Engineering*.
- Zuñiga, O. C. (2005). *Evaluación analítica de la respuesta sísmica de las edificaciones de mampostería*. Mexico D.F.: Universidad Autónoma Metropolitana, tesis doctoral.

Anexos

Anexo I: Microzonificación sísmica geotécnica de la cuenca del río Rímac (IGP, 2012)



Anexo II: Ubicación del área de estudio



Estudiante:
Elias Felipe Tala



PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
Análisis de Vulnerabilidad Sísmica de Albañilería Confinada en el A.H. Los Sauces

Silencio sísmico en Lima desde el año 1974

Perú se localiza cerca del borde sur occidental de América del Sur, el cual se caracteriza por ser una de las **zonas sísmicas más activas del mundo**. La actividad sísmica de esta zona está ligada al proceso de Subducción de la Placa de Nazca bajo la Placa Sudamericana.

El último sismo importante en Lima se dio en el **3 de octubre del 1974** (8.1 escala de Richter).

La ausencia de sismos significativos en la costa de Lima, es un hecho alarmante.

Según investigadores se **espera un sismo mayor a 8.6** en la escala de Richter.

Moyobamba 2005 (7.5 Mw):
Murieron 10 personas. Colapsaron 660 viviendas.

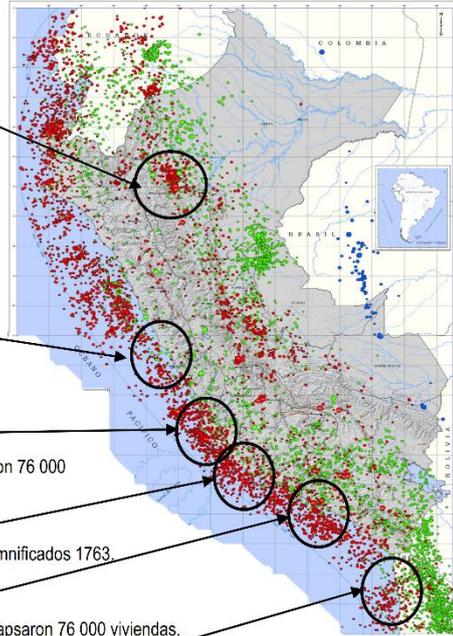
Lima 1974 (8.1 Mw):
Murieron 78 personas. Perdidas materiales en 2700 millones de soles.

Pisco 2007 (8.0 Mw):
Murieron 595 personas. Colapsaron 76 000 viviendas.

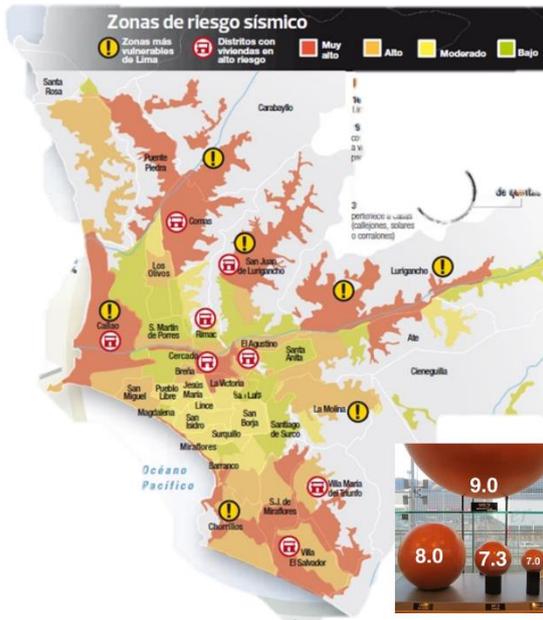
Acari 2013 (7.1 Mw):
Heridas 48 personas. Damnificados 1763.

Arequipa 2001 (7.6 Mw):
Murieron 595 personas. Colapsaron 76 000 viviendas.

Chile-Iquique 2014 (7.6 Mw):
Murieron 5 personas. Daños no reparables en 1 376 viviendas.



Autoconstrucción

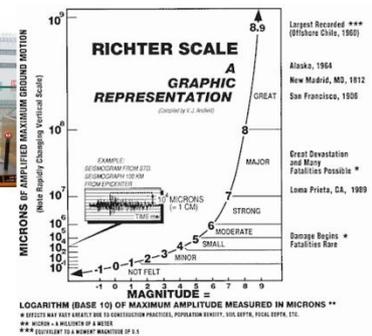


LA POBLACIÓN DE LURIGANCHO, ES UNA DE LAS ZONAS MAS VULNERABLES DE LIMA.

La construcción del edificio informal está asociada al crecimiento de la población de Lima, especialmente en las áreas suburbanas. En el Perú, la albañilería confinada es el **sistema estructural más común** usado para los edificios.

Este problema puede acarrear consecuencias fatales si se produjera un sismo severo.

Magnitud de Sismos

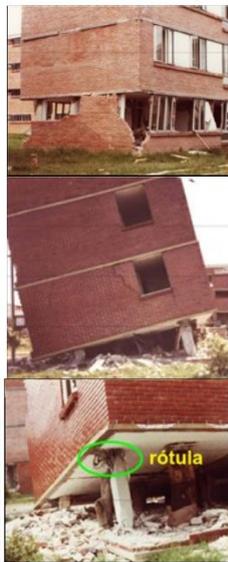


DAÑOS POR TERREMOTOS

Ecuador—7.8 grados. (2016)



Colombia—5.5 grados. (1983)



Tacna—6.9 grados. (2001)



Otros daños:



DEFICIENCIAS EN VIVIENDAS

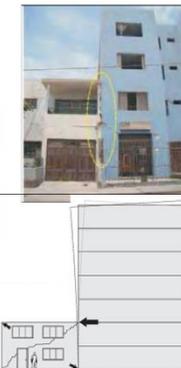
Carencia de vigas de amarre



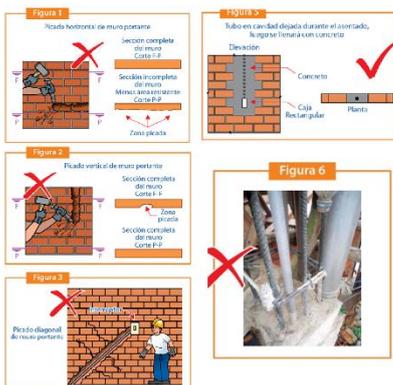
Carencia de columnas de refuerzo



Carencia de junta sísmica



Paso de tuberías inadecuado.



Columna corta



Accidentes en viviendas

(12 de Diciembre del 2016 - La Libertad)
La madre de familia María Isabel Hernández Pérez perdió la vida de manera instantánea luego que una pared colindante a su vivienda cayera sobre el techo de su casa aplastando a toda su familia.



Anexo IV: Ficha de caracterización para todos los sistemas estructurales

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL EN ÑAÑA, PERÚ
FICHA DE ENCUESTA

UBICACION Av./Ca /Jr. /Psje. _____ Mz. _____ Lote _____		CROQUIS
TIPO DE EDIFICACIÓN: Vivienda Unifamiliar () Vivienda Multifamiliar () Vivienda Comercio () Comercial () Institución Pública () Institución Privada ()		
CARACTERISTICAS: Independiente () Dpto. en edificio () Vecindad () Quinta () Otro _____		
TENENCIA: Propia () Alquilada ()		
ANTIGÜEDAD <u>10</u> años		
NUMERO DE PERSONAS: _____ PROFESION U OFICIO Profesional () Técnico () Oficio (x) Sin Profesión u Oficio ()		
Area del terreno: _____ x _____ = _____ m ² Area construida: _____ x _____ = _____ m ² Número de pisos: _____ Altura por piso : _____ m. Altura total : _____ m.		
EDIFICACIÓN DE: Adobe () Albañilería (x) Concreto Armado () Otro ()		
ADOBE	ALBANILERIA	CONCRETO ARMADO
CIMENTACION Piedra y barro () Piedra y cal cemento () Otro _____ CONSERVACIÓN Buen estado () Regular () Malo () Con revestimiento () Sin revestimiento ()	CIMENTACION Corrida c/refuerzo (x) Corrida s/refuerzo () Otro _____ CONSERVACION: Buen estado () Regular () Malo () Con revestimiento () Sin revestimiento ()	CIMENTACION Zapata aislada () Zapata conectada () Otro _____ CONSERVACION: Buen estado () Regular () Malo () Con revestimiento () Sin revestimiento ()
TECHO CIMENTACIÓN Madera () Caña () Torta de barro () Otro _____	TECHO Losa de Concreto () Aligerado () Otro _____	TECHO Losa de Concreto () Aligerado () Otro _____
ESTADO DE LOS MUROS Bueno () Regular () Malo () Con revestimiento () Sin revestimiento () Comentario: _____	ESTADO DE MUROS Bueno () Regular () Malo () Con revestimiento () Sin revestimiento () Comentario: _____	ELEMENTOS: COLUMNAS Sin fisuras () Con fisuras ()
REFUERZO EN LOS MUROS Si () No () _____	REFUERZO VERTICAL Y/O HORIZ En los muros: Si tiene () No tiene () Si la respuesta es SI: Solo columna () Columna y viga () Solo viga ()	VIGAS Sin fisuras () Con fisuras () MUROS DE CONCRETO Sin fisuras () Con fisuras ()

Anexo V: Ficha de caracterización para la muestra de albañilería confinada

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL EN ÑAÑA, PERÚ
FICHA DE ENCUESTA

Fecha encuesta:

Vivienda N°:

Cantidad de personas de la vivienda:

Dirección:

1.- ¿Recibió asesoría técnica para construir su vivienda, por qué?

.....

2.- ¿Cuándo empezó a construir? ¿Cuándo terminó?

Tiempo de residencia en la vivienda años

N° de pisos actual N° de pisos proyectado:

3.- Secuencia de construcción de los ambientes:

Paredes límites Sala-Comedor Dormitorio 1:
 Dormitorio 2 Cocina Baño Otros
 Todo a la vez Primero un cuarto

4.- ¿Cuánto invirtió en la construcción de su vivienda?

Datos Técnicos

Parámetros de suelo				Observaciones
Rígidos	<input type="checkbox"/>	Intermedios	<input type="checkbox"/>	Flexibles <input type="checkbox"/>

Características de los principales elementos de la vivienda				
Elemento	Características			Observaciones
Cimiento (m)	Cimiento corrido		Zapata	
	Profundidad		Profundidad	
	Ancho		Sección	
Muros (cm)	Ladrillo macizo		Ladrillo pandereta	
	Dimensión		Dimensión	
	Juntas		Juntas	
Techo (m)	Diafragma rígido		Otro	
	Tipo		Tipo	
	Peralte		Peralte	
Columnas (m)	Concreto		Otro	
	Dimensión		Dimensión	
Vigas (m)	Concreto		Otro	
	Dimensión		Dimensión	

Observaciones y Comentarios

.....

.....

Esquema de la vivienda

Planta:

Primera planta:

h=2.60m

A. lote:

S: sogá KK

X sin techar

h: altura de entrepiso

← sent. De alig.

Juntas sísmicas

Izquierda	Derecha

Observaciones y comentarios:

Problemas de ubicación	Estructuración	Factores degradantes
<input type="checkbox"/> Viv. sobre relleno natural	<input type="checkbox"/> Columnas cortas	<input type="checkbox"/> Armaduras expuestas
<input type="checkbox"/> Viv. con nivel freático superficial	<input type="checkbox"/> Losas no monolíticas	<input type="checkbox"/> Armaduras corroidas
<input type="checkbox"/> Viv. con pendiente pronunciada	<input type="checkbox"/> Insuf. de junta sísmica	<input type="checkbox"/> Eflorescencia
<input type="checkbox"/> Vivi. al lado de talud potencialmente peligroso	<input type="checkbox"/> Losa de dtecho a desnivel con vecino	<input type="checkbox"/> Humedad en muros
Otros:	<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muros agrietados
	<input type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrado	Otros:
	<input type="checkbox"/> Reducción en planta	
	<input type="checkbox"/> Muros portantes de ladrillo pandereta	
Materiales Deficientes	<input type="checkbox"/> Unión muro y techo	Mano de Obra
<input type="checkbox"/> Ladrillos K.K. artesanal	<input type="checkbox"/> Juntas frías	<input type="checkbox"/> Muy mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos pandereta artesanal	Otros:	<input type="checkbox"/> Mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos K.K. macizo		<input type="checkbox"/> Regular
Otros:		<input type="checkbox"/> Buena

Anexo VI: Ficha de encuesta de la muestra 1 de un piso

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL EN ÑAÑA, PERÚ
FICHA DE ENCUESTA

Fecha encuesta: 04/09/2017

Vivienda N°: 1

Cantidad de personas de la vivienda: 4

Dirección: Los Sauces Manzana B Lote 9A Sauces de Ñaña - Chosica

1.- ¿Recibió asesoría técnica para construir su vivienda, por qué? SI

Lo construyo un maestro de obra en base a un plano ya diseñado por un Ingeniero Civil

2.- ¿Cuándo empezó a construir? 2005 ¿Cuándo terminó? 2013

Tiempo de residencia en la vivienda 10 años

N° de pisos actual 1 N° de pisos proyectado: 2

3.- Secuencia de construcción de los ambientes:

Paredes límites [1] Sala-Comedor [6] Dormitorio 1: [2]
Dormitorio 2 [3] Cocina [4] Baño [5] Otros []
Todo a la vez [] Primero un cuarto []

4.- ¿Cuánto invirtió en la construcción de su vivienda? S/. 25,000.00

Datos Técnicos

Parámetros de suelo					Observaciones	
Rígidos	[]	Intermedios	[x]	Flexibles	[]	GW-GM con arena

Características de los principales elementos de la vivienda					
Elemento	Características			Observaciones	
Cimiento (m)	Cimiento corrido		Zapata		En el c.c. se usó concreto ciclópeo. En la zapata se uso piedra grande de 3".
	Profundidad	0.8	Profundidad	1	
	Ancho	0.5	Sección	1.00x1.00	
Muros (cm)	Ladrillo macizo		Ladrillo pandereta		Primer piso ladrillo: KK sogá Resto de pisos Pandereta sogá
	Dimensión	9x13x23	Dimensión		
	Juntas	1.5-3	Juntas		
Techo (m)	Diafragma rígido		Otro		Piso típico: Aligerado
	Tipo	Aligerado	Tipo		
	Peralte	0.20	Peralte		
Columnas (m)	Concreto		Otro		
	Dimensión	0.25x0.25	Dimensión		
Vigas (m)	Concreto		Otro		
	Dimensión	0.25x0.20	Dimensión		

Observaciones y Comentarios

Existen muros sin confinamiento en el segundo piso

Esquema de la vivienda

Planta:

Primera planta:
h=2.60m

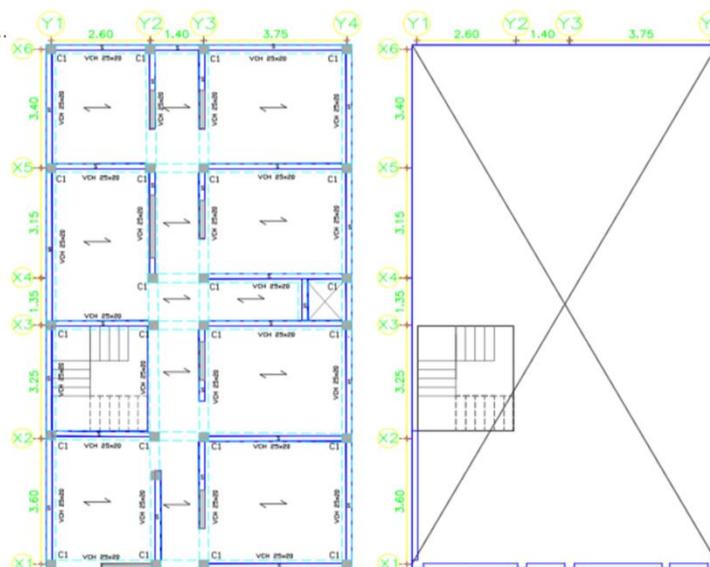
A. lote: 86.10 m²

S: sogá KK

X sin techar

h: altura de entrepiso

↔ sent. De alig.



Juntas sísmicas

Izquierda	Derecha
1	0

Observaciones y comentarios:

Problemas de ubicación	Estructuración	Factores degradantes
<input type="checkbox"/> Viv. sobre relleno natural	<input type="checkbox"/> Columnas cortas	<input type="checkbox"/> Armaduras expuestas
<input checked="" type="checkbox"/> Viv. con nivel freático superficial	<input type="checkbox"/> Losas no monolíticas	<input type="checkbox"/> Armaduras corroidas
<input type="checkbox"/> Viv. con pendiente pronunciada	<input checked="" type="checkbox"/> Insuf. de junta sísmica	<input type="checkbox"/> Eflorescencia
<input checked="" type="checkbox"/> Vivi. al lado de talud potencialmente peligroso	<input type="checkbox"/> Losa de dtecho a desnivel con vecino	<input type="checkbox"/> Humedad en muros
Otros:	<input checked="" type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muros agrietados
	<input checked="" type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrado	Otros:
	<input type="checkbox"/> Reducción en planta	
	<input checked="" type="checkbox"/> Muros portantes de ladrillo pandereta	
Materiales Deficientes	<input type="checkbox"/> Unión muro y techo	Mano de Obra
<input checked="" type="checkbox"/> Ladrillos K.K. artesanal	<input type="checkbox"/> Juntas frías	<input type="checkbox"/> Muy mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos pandereta artesanal	Otros:	<input type="checkbox"/> Mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos K.K. macizo		<input checked="" type="checkbox"/> Regular
Otros:		<input type="checkbox"/> Buena

Anexo VII: Ficha de encuesta de la muestra 2 de un piso

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL EN ÑAÑA, PERÚ
FICHA DE ENCUESTA

Fecha encuesta: 04/09/2017

Vivienda N°: 2

Cantidad de personas de la vivienda: 6

Dirección: Los Sauces Manzana B Lote 14 Sauces de Ñaña - Chosica

1.- ¿Recibió asesoría técnica para construir su vivienda, por qué? No

La construyó su padre, debido a que no tenían dinero para contratar a un ingeniero.

Autoconstrucción

2.- ¿Cuándo empezó a construir? 2000 ¿Cuándo terminó? 2006

Tiempo de residencia en la vivienda 15 años

N° de pisos actual 1 N° de pisos proyectado: 2

3.- Secuencia de construcción de los ambientes:

Paredes límites Sala-Comedor Dormitorio 1:
 Dormitorio 2 Cocina Baño Otros
 Todo a la vez Primero un cuarto

4.- ¿Cuánto invirtió en la construcción de su vivienda? S/. 15,000.00

Datos Técnicos

Parámetros de suelo				Observaciones
Rígidos	<input type="checkbox"/>	Intermedios	<input checked="" type="checkbox"/>	Flexibles <input type="checkbox"/>
				GW-GM con arena

Características de los principales elementos de la vivienda					
Elemento	Características				Observaciones
Cimiento (m)	Cimiento corrido		Zapata		En el c.c. se usó concreto ciclópeo. En la zapata se usó piedra grande de 3".
	Profundidad	0.6	Profundidad	1	
	Ancho	0.5	Sección	1.20x1.20	
Muros (cm)	Ladrillo macizo		Ladrillo pandereta		Primer piso ladrillo: KK sogá Resto de pisos: Pandereta sogá
	Dimensión	9x13x23	Dimensión		
	Juntas	1-2	Juntas		
Techo (m)	Diafragma rígido		Otro		Piso típico: Aligerado
	Tipo	Aligerado	Tipo		
	Peralte	0.20	Peralte		
Columnas (m)	Concreto		Otro		
	Dimensión	0.25x0.25	Dimensión		
Vigas (m)	Concreto		Otro		
	Dimensión	0.25x0.20	Dimensión	0.15x0.25	

Observaciones y Comentarios

Existe un carga por el modulo del segundo piso, pero es despreciable.

Esquema de la vivienda

Planta:

A. lote: 86.10 m²

S: sogá KK

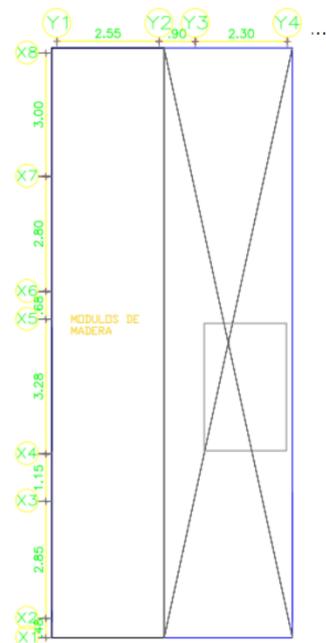
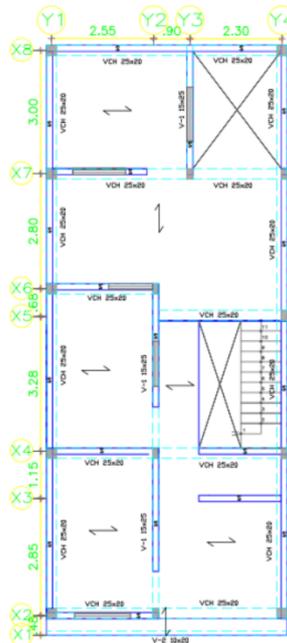
X sin techar

h: altura de entrepiso

↔ sent. De alig.

Primera planta:

h=2.60m



Juntas sísmicas

Izquierda	Derecha
0	0

Observaciones y comentarios:

Problemas de ubicación	Estructuración	Factores degradantes
<input type="checkbox"/> Viv. sobre relleno natural	<input type="checkbox"/> Columnas cortas	<input type="checkbox"/> Armaduras expuestas
<input checked="" type="checkbox"/> Viv. con nivel freático superficial	<input type="checkbox"/> Losas no monolíticas	<input type="checkbox"/> Armaduras corroidas
<input type="checkbox"/> Viv. con pendiente pronunciada	<input checked="" type="checkbox"/> Insuf. de junta sísmica	<input type="checkbox"/> Eflorescencia
<input checked="" type="checkbox"/> Vivi. al lado de talud potencialmente peligroso	<input type="checkbox"/> Losa de dестecho a desnivel con vecino	<input type="checkbox"/> Humedad en muros
Otros:	<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muros agrietados
	<input type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrado	Otros:
	<input type="checkbox"/> Reducción en planta	
	<input checked="" type="checkbox"/> Muros portantes de ladrillo pandereta	
Materiales Deficientes	<input type="checkbox"/> Unión muro y techo	Mano de Obra
<input checked="" type="checkbox"/> Ladrillos K.K. artesanal	<input type="checkbox"/> Juntas frías	<input type="checkbox"/> Muy mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos pandereta artesanal	Otros:	<input type="checkbox"/> Mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos K.K. macizo		<input checked="" type="checkbox"/> Regular
Otros:		<input type="checkbox"/> Buena

Anexo VIII: Ficha de encuesta de la muestra 3 de un piso

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL EN ÑAÑA, PERÚ
FICHA DE ENCUESTA

Fecha encuesta: 04/09/2017

Vivienda N°: 3

Cantidad de personas de la vivienda: 5

Dirección: Los Sauces Manzana C Lote 10 Sauces de Ñaña - Chosica

1.- ¿Recibió asesoría técnica para construir su vivienda, por qué? No

Lo construyo un masestro de obra

Construcción informal

2.- ¿Cuándo empezo a construir? 2017 ¿Cuándo terminó? 2018

Tiempo de residencia en la vivienda 0 años

N° de pisos actual 1 N° de pisos proyectado: 3

3.- Secuencia de construcción de los ambientes:

Paredes límites Sala-Comedor Dormitorio 1:

Dormitorio 2 Cocina Baño Otros

Todo a la vez Primero un cuarto

4.- ¿Cuánto invirtió en la construcción de su vivienda? S/. 30,000.00

Datos Técnicos

Parámetros de suelo				Observaciones
Rigidos	<input type="checkbox"/>	Intermedios	<input checked="" type="checkbox"/>	Flexibles <input type="checkbox"/>
				GW-GM con arena

Características de los principales elementos de la vivienda					
Elemento	Características			Observaciones	
Cimiento (m)	Cimiento corrido		Zapata		En el c.c. se usó concreto ciclópeo. En la zapata se uso piedra grande de 3".
	Profundidad	0.6	Profundidad	1	
	Ancho	0.4	Sección	1.50x1.50	
Muros (cm)	Ladrillo macizo		Ladrillo pandereta		Primer piso ladrillo: KK sogá Resto de pisos Pandereta sogá
	Dimensión	9x13x23	Dimensión		
	Juntas	1-2	Juntas		
Techo (m)	Diafragma rígido		Otro		Piso típico: Aligerado
	Tipo	Aligerado	Tipo		
	Peralte	0.20	Peralte		
Columnas (m)	Concreto		Otro		
	Dimensión	0.25x0.25	Dimensión	0.15x0.25	
Vigas (m)	Concreto		Otro		
	Dimensión	0.25x0.20	Dimensión	0.15x0.25	

Observaciones y Comentarios

La estructura de la vivienda ya esta acabada, pero faltan los acabados

Esquema de la vivienda

Planta:

Primera planta:
h=2.60m

A. lote: 93.50 m2

S: sogá KK

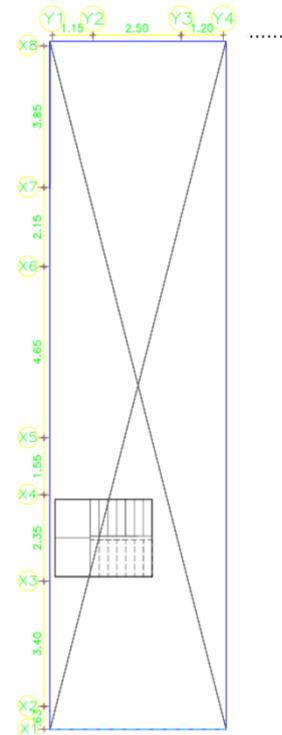
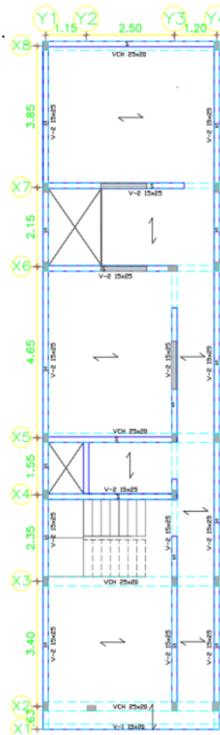
X sin techar

h: altura de entrespiso

↔ sent. De alig.

Juntas sísmicas

Izquierda	Derecha
0	0



Observaciones y comentarios:

Problemas de ubicación	Estructuración	Factores degradantes
<input type="checkbox"/> Viv. sobre relleno natural	<input type="checkbox"/> Columnas cortas	<input checked="" type="checkbox"/> Armaduras expuestas
<input checked="" type="checkbox"/> Viv. con nivel freático superficial	<input type="checkbox"/> Losas no monolíticas	<input type="checkbox"/> Armaduras corroidas
<input type="checkbox"/> Viv. con pendiente pronunciada	<input checked="" type="checkbox"/> Insuf. de junta sísmica	<input type="checkbox"/> Eflorescencia
<input type="checkbox"/> Vivi. al lado de talud potencialmente peligroso	<input type="checkbox"/> Losa de dtecho a desnivel con vecino	<input type="checkbox"/> Humedad en muros
Otros:	<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muros agrietados
	<input type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrado	Otros:
	<input type="checkbox"/> Reducción en planta	
	<input checked="" type="checkbox"/> Muros portantes de ladrillo pandereta	
	<input type="checkbox"/> Unión muro y techo	
	<input type="checkbox"/> Juntas frías	
	Otros:	
Materiales Deficientes		Mano de Obra
<input checked="" type="checkbox"/> Ladrillos K.K. artesanal		<input type="checkbox"/> Muy mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos pandereta artesanal		<input checked="" type="checkbox"/> Mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos K.K. macizo		<input type="checkbox"/> Regular
Otros:		<input type="checkbox"/> Buena

Anexo IX: Ficha de encuesta de la muestra 4 de dos pisos

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL EN ÑAÑA, PERÚ
FICHA DE ENCUESTA

Fecha encuesta: 04/09/2017

Vivienda N°: 4

Cantidad de personas de la vivienda: 12

Dirección: Los Sauces Manzana D Lote 6 Sauces de Ñaña - Chosica

1.- ¿Recibió asesoría técnica para construir su vivienda, por qué? No

Lo construyo un masestro de obra

Construcción informal

2.- ¿Cuándo empezo a construir? 2005 ¿Cuándo terminó? 2013

Tiempo de residencia en la vivienda 10 años

N° de pisos actual 2 N° de pisos proyectado: 2

3.- Secuencia de construcción de los ambientes:

Paredes límites [1] Sala-Comedor [] Dormitorio 1: []
Dormitorio 2 [2] Cocina [3] Baño [] Otros []
Todo a la vez [] Primero un cuarto []

4.- ¿Cuánto invirtió en la construcción de su vivienda? S/. 55,000.00

Datos Técnicos

Parámetros de suelo				Observaciones
Rígidos	[]	Intermedios	[x]	Flexibles []
				GW-GM con arena

Características de los principales elementos de la vivienda						
Elemento	Características				Observaciones	
Cimiento (m)	Cimiento corrido		Zapata		En el c.c. se usó concreto ciclópeo.ii	
	Profundidad	0.8	Profundidad	1	En la zapata se uso piedra grande de 3".	
	Ancho	0.5	Sección	1.20X1.20		
Muros (cm)	Ladrillo macizo		Ladrillo pandereta		Primer piso ladrillo: KK sogá	
	Dimensión	9x13x23	Dimensión		Resto de pisos Pandereta sogá	
	Juntas	1.5-3	Juntas			
Techo (m)	Diafragma rígido		Otro		Piso típico: Aligerado	
	Tipo	Aligerado	Tipo		Último piso Aligerado	
	Peralte	0.20	Peralte			
Columnas (m)	Concreto		Otro			
	Dimensión	0.25x0.25	Dimensión	0.15x0.25		
Vigas (m)	Concreto		Otro			
	Dimensión	0.25x0.20	Dimensión			

Observaciones y Comentarios

.....

Esquema de la vivienda

Planta:

A. lote: 144.00 m²

S: sogá KK

X sin techar

h: altura de entrepiso

↔ sent. De alig.

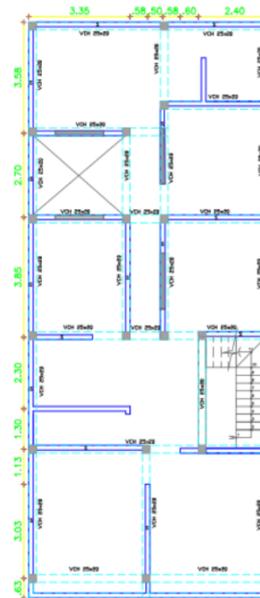
Primera planta:

h=2.60m



Segunda planta

h=2.60m



Juntas sísmicas

Izquierda	Derecha
0	1

Observaciones y comentarios:

Problemas de ubicación	Estructuración	Factores degradantes
<input type="checkbox"/> Viv. sobre relleno natural	<input type="checkbox"/> Columnas cortas	<input type="checkbox"/> Armaduras expuestas
<input checked="" type="checkbox"/> Viv. con nivel freático superficial	<input type="checkbox"/> Losas no monolíticas	<input type="checkbox"/> Armaduras corroidas
<input type="checkbox"/> Viv. con pendiente pronunciada	<input checked="" type="checkbox"/> Insuf. de junta sísmica	<input type="checkbox"/> Eflorescencia
<input checked="" type="checkbox"/> Vivi. al lado de talud potencialmente peligroso	<input type="checkbox"/> Losa de destecho a desnivel con vecino	<input type="checkbox"/> Humedad en muros
Otros:	<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muros agrietados
	<input type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrado	Otros:
	<input type="checkbox"/> Reducción en planta	
	<input checked="" type="checkbox"/> Muros portantes de ladrillo pandereta	
Materiales Deficientes	<input type="checkbox"/> Unión muro y techo	Mano de Obra
<input checked="" type="checkbox"/> Ladrillos K.K. artesanal	<input type="checkbox"/> Juntas frías	<input type="checkbox"/> Muy mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos pandereta artesanal	Otros:	<input type="checkbox"/> Mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos K.K. macizo		<input checked="" type="checkbox"/> Regular
Otros:		<input type="checkbox"/> Buena

Anexo X: Ficha de encuesta de la muestra 5 de dos pisos

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL EN ÑAÑA, PERÚ
FICHA DE ENCUESTA

Fecha encuesta: 04/09/2017

Vivienda N°: 5

Cantidad de personas de la vivienda: 10

Dirección: Los Sauces Manzana E Lote 5 Sauces de Ñaña - Chosica

1.- ¿Recibió asesoría técnica para construir su vivienda, por qué? No

Lo construyo el dueño, que es maestro de obra

2.- ¿Cuándo empezo a construir? 2004 ¿Cuándo terminó? 20010

Tiempo de residencia en la vivienda 18 años

N° de pisos actual 2 N° de pisos proyectado: 3

3.- Secuencia de construcción de los ambientes:

Paredes límites [1] Sala-Comedor [] Dormitorio 1: []
Dormitorio 2 [2] Cocina [3] Baño [] Otros []
Todo a la vez [] Primero un cuarto []

4.- ¿Cuánto invirtió en la construcción de su vivienda? S/. 75,000.00

Datos Técnicos

Parámetros de suelo				Observaciones
Rigidos	[]	Intermedios	[x]	Flexibles []
				GW-GM con arena

Características de los principales elementos de la vivienda						
Elemento	Características				Observaciones	
Cimiento (m)	Cimiento corrido		Zapata		En el c.c. se usó concreto ciclópeo.¶	
	Profundidad	0.8	Profundidad	1	En la zapata se uso piedra grande de 3".	
	Ancho	0.5	Sección	1.00x1.00		
Muros (cm)	Ladrillo macizo		Ladrillo pandereta		Primer piso ladrillo:	KK sogá
	Dimensión	9x13x23	Dimensión		Resto de pisos	Pandereta sogá
	Juntas	1.5-3	Juntas			
Techo (m)	Diafragma rígido		Otro		Piso típico:	Aligerado
	Tipo	Aligerado	Tipo		Último piso	Aligerado
	Peralte	0.20	Peralte			
Columnas (m)	Concreto		Otro			
	Dimensión	0.25x0.25	Dimensión	0.15x0.25		
Vigas (m)	Concreto		Otro			
	Dimensión	0.25x0.20	Dimensión	0.15x0.25		

Observaciones y Comentarios

.....

Esquema de la vivienda

Planta:

A. lote: 264.00 m²

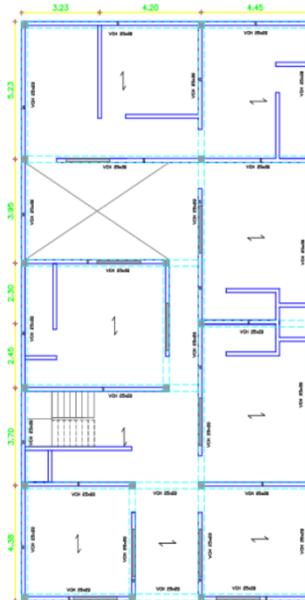
S: sogá KK

X sin techar

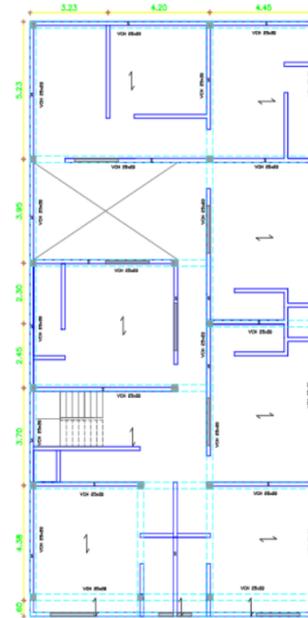
h: altura de entrepiso

← sent. De alig.

Primera planta:
h=2.60m



Segunda planta
h=2.60m



Juntas sísmicas

Izquierda	Derecha
0	0

Observaciones y comentarios:

Problemas de ubicación	Estructuración	Factores degradantes
<input type="checkbox"/> Viv. sobre relleno natural	<input type="checkbox"/> Columnas cortas	<input type="checkbox"/> Armaduras expuestas
<input checked="" type="checkbox"/> Viv. con nivel freático superficial	<input type="checkbox"/> Losas no monolíticas	<input type="checkbox"/> Armaduras corroidas
<input type="checkbox"/> Viv. con pendiente pronunciada	<input checked="" type="checkbox"/> Insuf. de junta sísmica	<input type="checkbox"/> Eflorescencia
<input type="checkbox"/> Vivi. al lado de talud potencialmente peligroso	<input type="checkbox"/> Losa de destecho a desnivel con vecino	<input type="checkbox"/> Humedad en muros
Otros:	<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muros agrietados
La vivienda está ubicada al costado de un canal de riego sin revestimiento.	<input type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrado	Otros:
	<input type="checkbox"/> Reducción en planta	
	<input checked="" type="checkbox"/> Muros portantes de ladrillo pandereta	
Materiales Deficientes	<input type="checkbox"/> Unión muro y techo	Mano de Obra
<input checked="" type="checkbox"/> Ladrillos K.K. artesanal	<input type="checkbox"/> Juntas frías	<input type="checkbox"/> Muy mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos pandereta artesanal	Otros:	<input type="checkbox"/> Mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos K.K. macizo		<input type="checkbox"/> Regular
Otros:		<input checked="" type="checkbox"/> Buena

Anexo XI: Ficha de encuesta de la muestra 6 de dos pisos

VULNERABILIDAD SISMICA DE LA VIVIENDA INFORMAL EN ÑAÑA, PERÚ
FICHA DE ENCUESTA

Fecha encuesta: 04/09/2017

Vivienda N°: 6

Cantidad de personas de la vivienda: 12

Dirección: Los Sauces Manzana E Lote 9 Sauces de Ñaña - Chosica

1.- ¿Recibió asesoría técnica para construir su vivienda, por qué? No

La construyo un maestro

2.- ¿Cuándo empeco a construir? 2007 ¿Cuándo terminó? 2011

Tiempo de residencia en la vivienda 16 años

N° de pisos actual 2 N° de pisos proyectado: 3

3.- Secuencia de construcción de los ambientes:

Paredes límites [1] Sala-Comedor [] Dormitorio 1: []
Dormitorio 2 [2] Cocina [3] Baño [] Otros []
Todo a la vez [] Primero un cuarto []

4.- ¿Cuánto invirtió en la construcción de su vivienda? S/. 60,000.00

Datos Técnicos

Parámetros de suelo				Observaciones
Rígidos	[]	Intermedios	[x]	Flexibles []
				GW-GM con arena

Características de los principales elementos de la vivienda					
Elemento	Características			Observaciones	
Cimiento (m)	Cimiento corrido		Zapata		En el c.c. se usó concreto ciclópeo. En la zapata se uso piedra grande de 3".
	Profundidad	0.8	Profundidad	1	
	Ancho	0.5	Sección	1.00x1.00	
Muros (cm)	Ladrillo macizo		Ladrillo pandereta		Primer piso ladrillo: KK sogá Resto de pisos Pandereta sogá
	Dimensión	9x13x23	Dimensión		
	Juntas	1.5-3	Juntas		
Techo (m)	Diafragma rígido		Otro		Piso típico: Aligerado Último piso Aligerado
	Tipo	Aligerado	Tipo		
	Peralte	0.20	Peralte		
Columnas (m)	Concreto		Otro		
	Dimensión	0.25x0.25	Dimensión	0.15x0.25	
Vigas (m)	Concreto		Otro		
	Dimensión	0.25x0.20	Dimensión	0.15x0.25	

Observaciones y Comentarios

Esquema de la vivienda

Planta:

A. lote: 160.00 m²

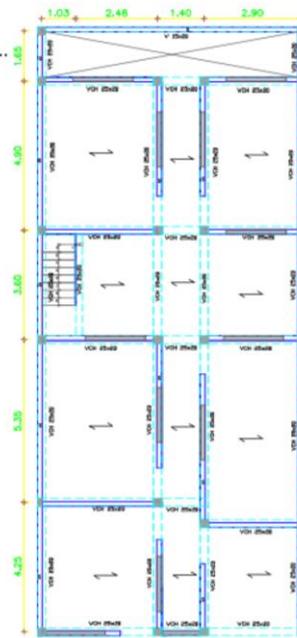
S: sogá KK

X sin techar

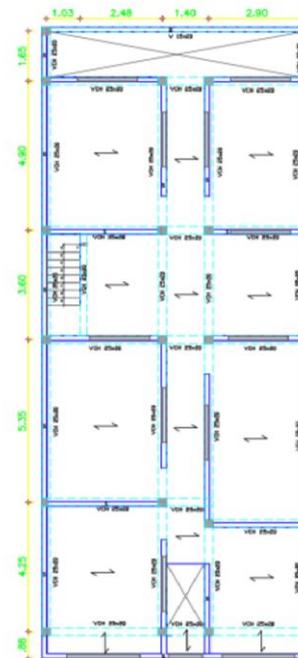
h: altura de entrepiso

↔ sent. De alig.

Primera planta:
h=2.60m



Segunda planta
h=2.60m



Juntas sísmicas

Izquierda	Derecha
0	0

Observaciones y comentarios:

Problemas de ubicación	Estructuración	Factores degradantes
<input type="checkbox"/> Viv. sobre relleno natural	<input type="checkbox"/> Columnas cortas	<input type="checkbox"/> Armaduras expuestas
<input checked="" type="checkbox"/> Viv. con nivel freático superficial	<input type="checkbox"/> Losas no monolíticas	<input type="checkbox"/> Armaduras corroidas
<input type="checkbox"/> Viv. con pendiente pronunciada	<input checked="" type="checkbox"/> Insuf. de junta sísmica	<input type="checkbox"/> Eflorescencia
<input type="checkbox"/> Vivi. al lado de talud potencialmente peligroso	<input type="checkbox"/> Losa de dtecho a desnivel con vecino	<input type="checkbox"/> Humedad en muros
Otros:	<input type="checkbox"/> Cercos no aislados de la estructura	<input type="checkbox"/> Muros agrietados
La vivienda está ubicada al costado de un canal de riego sin revestimiento.	<input checked="" type="checkbox"/> Tabiquería no arriostrado	Otros:
	<input type="checkbox"/> Reducción en planta	
	<input checked="" type="checkbox"/> Muros portantes de ladrillo pandereta	
Materiales Deficientes	<input type="checkbox"/> Unión muro y techo	Mano de Obra
<input checked="" type="checkbox"/> Ladrillos K.K. artesanal	<input type="checkbox"/> Juntas frías	<input type="checkbox"/> Muy mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos pandereta artesanal	Otros:	<input type="checkbox"/> Mala
<input type="checkbox"/> Ladrillos K.K. macizo		<input checked="" type="checkbox"/> Regular
Otros:		<input type="checkbox"/> Buena

Anexo XII: Código fuente para curvas de fragilidad en MATLAB

```
clear
clc
%Programa para obtener las interpolaciones
C=xlsread('CURVASx.xlsx');
XT=[C(:,2),C(:,6),C(:,10),C(:,18),C(:,22),C(:,26),C(:,33),C(:,37),C(:,41),C
(:,48),C(:,52),C(:,56)];
YT=[C(:,3),C(:,7),C(:,11),C(:,19),C(:,23),C(:,27),C(:,34),C(:,38),C(:,42),C
(:,49),C(:,53),C(:,57)];
PUCO1=[C(1,12),C(1,28),C(1,43),C(1,58)];
WTOD=[C(1:3,14),C(1:3,14),C(1:3,45),C(1:3,45)];

itot=1;
X=[XT(:,3*(itot-1)+1),XT(:,3*(itot-1)+2),XT(:,3*(itot-1)+3)];
Y=[YT(:,3*(itot-1)+1),YT(:,3*(itot-1)+2),YT(:,3*(itot-1)+3)];
Xi=[0:0.01:1 1.1:0.1:4];
Y1=interp1(X(:,1),Y(:,1),Xi);
Y2=interp1(X(:,2),Y(:,2),Xi);
Y3=interp1(X(:,3),Y(:,3),Xi);
Y=[Y1;Y2;Y3];

%Programa para crear las curvas sinteticas
N=10;
Yp=mean(Y);
Ys=std(Y);
n=length(Yp);
for in=1:N
    e(in)=rand(1)*0.628+0.158;
    for ik=1:n-1
        F(ik+1,in)=norminv(e(in),Yp(ik+1),Ys(ik+1));
    end
end

Xpc=zeros(N,2)
Ypc=zeros(N,2)
for i=1:N
    for it=1:length(F)-2
        Prx=Xi(it);
        Pry=F(it,:);
        Prx1=Xi(it+1);
        Pry1=F(it+1,:);
        Prx2=Xi(it+2);
        Pry2=F(it+2,:);
        m=(Pry1-Pry)/(Prx1-Prx);
        m1=(Pry2-Pry1)/(Prx2-Prx1);
        mxx(it,:)=m;
        mpr(it,:)=mean(mxx,1);
        if and(mpr(it,i)-0.3*mpr(it,i)<m1(1,i),m1(1,i)
<mpr(it,i)+0.3*mpr(it,i))

            else
                Xpc(i,2)=Prx1
                Ypc(i,2)=Pry1(1,i)
                break
            end
        end
    end
end

Xi=Xi';
```

```

for i=1:N
Ypc(i,3)=max(F(:,i));
nxpc=find(F(:,i)==Ypc(i,3));
Xpc(i,3)=Xi(nxpc);
Ypc(i,4)=0.8*max(F(:,i));
Xpc(i,4)=interp1(F(nxpc:end,i),Xi(nxpc:end,1),Ypc(i,4));
end
Xpc=Xpc';
Ypc=Ypc';

Wp=mean(WTOD(1:3,itot));
Ws=std(WTOD(1:3,itot));
for in=1:N
e(in)=rand(1)*0.628+0.158;
W(1,in)=norminv(e(in),Wp,Ws);
end

Npi=1;
alpha=0.9814*(Npi^(-01068));
PF=Npi^0.14;
Ysa=Ypc'./(W'*1);
Xsd=Xpc/PF;
Ysa=Ysa';

figure(itot)
ax1 = subplot(2,2,1);
ax2 = subplot(2,2,2);
ax3 = subplot(2,2,3);
ax4 = subplot(2,2,4);

plot(ax1,Xi,F)
title(ax1,'Curva capacidad')
xlabel(ax1,'D(cm)')
ylabel(ax1,'V(ton)')

figure(10)
hold on
plot(Xi,F,'b')
plot(Xi,mean(Y),'r','linewidth',3)
plot(Xi,Y,'g','linewidth',2)
xlabel('D(cm)')
ylabel('V(ton)')

figure(11)
hold on
plot(Xsd,Ysa,'b')
plot(mean(Xsd,2),mean(Ysa,2),'r','linewidth',3)
xlabel('Sd(cm)')
ylabel('Sa(g)')

plot(ax2,Xpc,Ypc)
title(ax2,'Curva capacidad trilineal')
xlabel(ax2,'D(cm)')
ylabel(ax2,'V(ton)')

plot(ax3,Xsd,Ysa)
title(ax3,'Espectro de capacidad')
xlabel(ax3,'Sd(cm)')
ylabel(ax3,'Sa(g)')

```

```

plot(ax4,Xpc,Ypc)
title(ax4,'Curva capacidad trilineal')
xlabel(ax4,'D(cm)')
ylabel(ax4,'V(ton)')

axis(ax1,[0 10 0 100])
axis(ax2,[0 2.5 0 100])
axis(ax3,[0 2.5 0 2])
axis(ax4,[0 2.5 0 100])

%CONVERTIR A CURVA CON CUATRO PUNTOS
Xsdc=[Xsd(1,:);Xsd(2,:)*0.7;Xsd(2,:)*1.5;Xsd(3,:);Xsd(4,:)];
Ysac=[Ysa(1,:);Ysa(2,:)*0.7;Ysa(2,:)*1.5;Ysa(3,:);Ysa(4,:)];
for ii=1:N

Ysac(2,ii)=interp1(Xsd(:,ii),Ysa(:,ii),Xsdc(2,ii));
Ysac(3,ii)=interp1(Xsd(:,ii),Ysa(:,ii),Xsdc(3,ii));
end

Tn=zeros(5,N); %CAUTRO
for i=1:N
Tn(2,i)=2*pi*sqrt((Xsdc(2,i)/100)/(Ysac(2,i)*9.81));
Tn(3,i)=2*pi*sqrt((Xsdc(3,i)/100)/(Ysac(3,i)*9.81));
Tn(4,i)=2*pi*sqrt((Xsdc(4,i)/100)/(Ysac(4,i)*9.81));
Tn(5,i)=2*pi*sqrt((Xsdc(5,i)/100)/(Ysac(5,i)*9.81));
end

%calculo amortiguamiento
c=0.2725;
u=[Xsdc(2,:)./Xsdc(2,:);Xsdc(3,:)./Xsd(2,:);Xsdc(4,:)./Xsd(2,:);Xsdc(5,:)./Xsd(2,:)];
damp=[zeros(1,N);0.05+(c/pi).*(u-1)./u];

load('GMRs.mat')
Xsdc=Xsdc';
Tn=Tn';
damp=damp';
for ibb=1:N
CC(ibt).Sd=Xsdc(ibt,:)/100;
CC(ibt).T=Tn(ibt,:);
CC(ibt).damp=damp(ibt,:);
end

for i=1:N
CC(i).Sd=[CC(i).Sd(2) CC(i).Sd(3) CC(i).Sd(4) CC(i).Sd(5)]
CC(i).T=[CC(i).T(2) CC(i).T(3) CC(i).T(4) CC(i).T(5)]
CC(i).damp=[CC(i).damp(2) CC(i).damp(3) CC(i).damp(4) CC(i).damp(5)]
end
PDM = zeros(length(GMRs),length(CC(1).Sd)+1);
setSd = zeros(length(GMRs),length(CC(1).Sd));

for icc=1:length(CC)
for igmr=1:length(GMRs)
collapse = 1;
for ids = 1:length(CC(1).Sd)
[Sd,Sa] = Spectrum(CC(icc).damp(ids),[GMRs(igmr).time
GMRs(igmr).acc],[CC(icc).T(ids)]);
setSd(igmr,ids) = Sd;

```

```

        if Sd < CC(icc).Sd(iDS)
            PDM(igmr,iDS)=PDM(igmr,iDS)+1;
            collapse = 0;
            break
        end
    end
    if collapse == 1
        PDM(igmr,5)=PDM(igmr,5)+1;
    end
end
end
end

CPDM=flipdim(cumsum(flipdim(PDM,2),2),2)./(sum(PDM,2)*ones(1,size(PDM,2)));
%Calcular el valor de los PGAs
IMLs = computeIMLs(GMRs,1);
%Ajuste lineal a log normal acumulada
FFs = leastSquares(IMLs,CPDM,'PGA');
%Dibuja
plotter4(IMLs,CPDM,FFs,3,itot)

function IMLs=computeIMLs(GMRs, period)
IMLs=zeros(length(GMRs),3);

for gmr=1:length(GMRs)
    record=GMRs(gmr).acc;
    dt = GMRs(gmr).dt;

    [Sd,Sa] = specAcc(period,0.05,record,dt);
    if Sa ~= inf & Sa > 0
        IMLs(gmr,1)=Sa;
    else
        IMLs(gmr,1)=max(abs(record(:,1)));
    end
    IMLs(gmr,2)=Sd;
    IMLs(gmr,3)=max(abs(record(:,1)));
end
end

function stats=leastSquares(IMLs,CPDM,IMT)
stats=zeros(size(CPDM,2)-1,3);

if strcmp(IMT,'Sa')
    type = 1;
else
    type = 3;
end

options = optimset('TolFun',1e-20,'TolX',1e-
20,'Display','off','Diagnostics','off');

for LS=1:size(CPDM,2)-1

    [x]=lsqcurvefit(@lognormal,[-0.5 0.5],IMLs(:,type),CPDM(:,LS+1),[-4
0.1],[2 1.0],options);
    stats(LS,1:2)=x;
    stats(LS,3)=corr(logncdf(IMLs(:,type),x(1),x(2)),CPDM(:,LS+1)).^2;
end
end
end

```

```

function plotter4(IML,CDPM,stats,type,fig)
    xx = 0:0.01:1.25*max(IML(:,type));
    yy1 = logncdf(xx,stats(1,1),stats(1,2));
    yy2 = logncdf(xx,stats(2,1),stats(2,2));
    yy3 = logncdf(xx,stats(3,1),stats(3,2));
    yy4 = logncdf(xx,stats(4,1),stats(4,2));

    figure(fig)
    hold on
    plot(xx,yy1,'LineWidth',2,'Color','green')
    plot(xx,yy2,'LineWidth',2,'Color','yellow','LineStyle','--')
    plot(xx,yy3,'LineWidth',2,'Color',[1 0.5 0.2],'LineStyle','-.')
    plot(xx,yy4,'LineWidth',2,'Color','red','LineStyle','-.')

    legend('Estado limite 1','Estado limite 2','Estado limite 3','Estado
limite 4','Ubicación','Sureste');
    legend('boxoff');
    scatter(IML(:,type),CDPM(:,2),'o','green');
    scatter(IML(:,type),CDPM(:,3),'*','yellow');
    scatter(IML(:,type),CDPM(:,4),'*','MarkerEdgeColor',[1 0.5 0.2]);
    scatter(IML(:,type),CDPM(:,5),'+','red');
    xlim([0,max(IML(:,type))]);
    xlim([0,2]);
    ylim([0,1]);

    if type == 1
        xlabel('Aceleración espectral (g)');
    elseif type == 2
        xlabel('Sd (m)');
    else
        xlabel('PGA (g)')
    end

    ylabel('Probabilidad de excedencia');

end

```