

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca

Por:

Winder Illacutipa Perez

Ayda Maribel Illacutipa Perez

Asesor:

Ing. Herson Duberly Pari Cusi

Juliaca, junio de 2019

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL INFORME DE TESIS

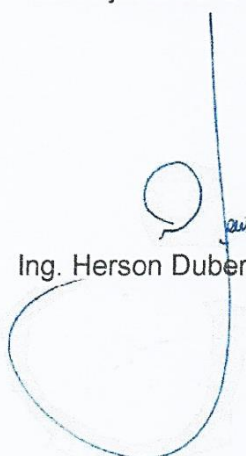
Ing. Herson Duberly Pari Cusi, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería de Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente informe de investigación titulado: "EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA MEDIANTE CURVAS DE FRAGILIDAD DE EDIFICACIONES TÍPICAS DE ALBAÑILERÍA CONFINADA EN LA CIUDAD DE JULIACA" constituye la memoria que presentan los bachilleres Winder Illacutipa Perez y Ayda Maribel Illacutipa Perez para aspirar al título Profesional de Ingeniero de 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 declaración en Juliaca a los veinte días del mes de junio del año dos mil diecinueve.



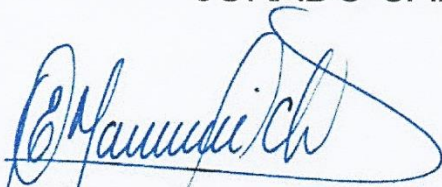
Ing. Herson Duberly Pari Cusi

Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad
de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de
Juliaca

TESIS

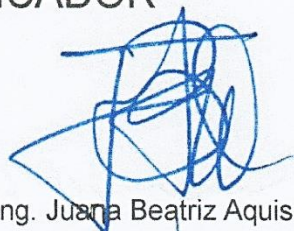
Presentada para optar el título profesional de Ingeniero Civil

JURADO CALIFICADOR



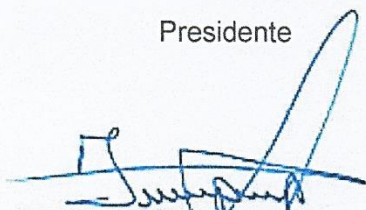
Ing. Ecler Mamani Chambi

Presidente



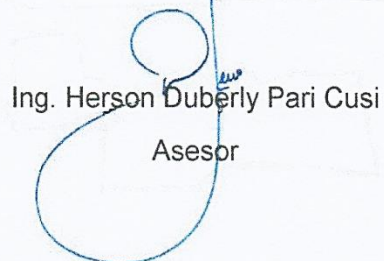
Ing. Juana Beatriz Aquise Pari

Secretaria



Ing. José Pacori Pacori

Vocal



Ing. Herson Duberly Pari Cusi

Asesor

Juliaca, 20 de junio de 2019

DEDICATORIA

A mi familia, por el apoyo y la confianza que me han brindado durante mi vida universitaria.

Winder Illacutipa Perez

A mis padres y a mi hermano, quienes siempre me han apoyado, en mis proyectos personales.

Ayda Maribel Illacutipa Perez

AGRADECIMIENTOS

A los docentes de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión, que nos brindaron sus conocimientos en las aulas y durante el desarrollo de la investigación.

A la Universidad Peruana Unión, por contribuir en nuestra formación con valores y principios cristianos.

Índice general

Índice general	vi
Índice de figuras	x
Resumen	xiv
Abstract.....	xv
Capítulo I. El problema	16
1.1. Identificación del problema.....	16
1.2. Interrogantes de la investigación	17
1.2.1. Problema general	17
1.2.2. Problemas específicos.....	17
1.3. Objetivos de la investigación	17
1.3.1. Objetivo general.....	17
1.3.2. Objetivos específicos	17
1.4. Justificación	17
1.5. Plan de trabajo	18
Capítulo II. Revisión de la literatura/Marco teórico.....	20
2.1. Antecedentes de la investigación.....	20
2.2. Fundamentos teóricos generales	22
2.2.2. El sistema estructural de albañilería confinada.....	23
2.2.3. Componentes de la albañilería confinada	23
2.3. Curvas de fragilidad	29
2.3.1. Métodos empíricos.....	30
2.3.2. Métodos analíticos	31
2.3.3. Métodos híbridos	32
Capítulo III. Materiales y métodos. . .	34
3.1. Tipo y metodología de investigación.....	34
3.1.1. Tipo de investigación.....	34
3.1.2. Metodología de investigación.....	34
3.2. Hipótesis de la investigación.....	34
3.2.1. Hipótesis general	34
3.2.2. Hipótesis específicos	34
3.3. Población y muestra	35
3.3.1. Población	35

3.3.2. Muestra	35
3.4. Ensayos de resistencia a compresión diagonal de muretes	35
3.4.1. Unidades de albañilería.....	35
3.4.2. Mortero	36
3.4.3. Muretes contruidos.....	37
3.4.4. Cálculo de resistencia al corte	37
3.5. Características de las edificaciones	38
3.5.1. Edificaciones por tipo de fabricación de albañilería y número de pisos	39
3.5.2. Configuración en planta de las edificaciones	41
3.6. Resistencia de albañilería confinada	46
3.7. Capacidad estructural	47
3.7.1. Mecanismo de colapso.....	48
3.7.2. Factor de colapso	49
3.7.3. Capacidad de desplazamiento	52
3.7.4. Capacidad estructural de edificaciones en estudio	54
3.8. Simulación de Montecarlo	56
3.9. Estados de daño.....	57
3.10. Definición de la acción sísmica	59
3.10.1. Peligro sísmico.....	59
3.10.2. Fundamentos de la estimación del peligro sísmico	59
3.10.3. Data sísmica.....	60
3.10.4. Distribución Espacial Sísmica	60
3.10.5. Fuentes sismogénicas.....	62
3.10.6. Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas	64
3.10.7. Leyes de atenuación de ondas sísmicas	65
3.10.8. Determinación de peligro sísmico	70
3.11. Elaboración de matriz de probabilidad de daño.....	72
3.12. Desarrollo de las curvas de fragilidad.....	75
3.13. Vulnerabilidad de las edificaciones.....	77
3.13.1. Factores de daño para edificaciones	78
3.13.2. Curvas de vulnerabilidad	79
Capítulo IV. Discusión de resultados	82
4.1. Vulnerabilidad sísmica.....	82

4.2. Verificación de hipótesis	85
Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones	88
5.1. Conclusiones	88
5.1.1. Conclusión general	88
5.1.2. Conclusiones específicas	88
5.2. Recomendaciones	89
Referencias	90
Anexos	96

Índice de tablas

Tabla 1. Clases de unidad de albañilería para fines estructurales	24
Tabla 2. Granulometría de arena gruesa para mortero	24
Tabla 3. Tipos de mortero para muros de albañilería portante y no portante.....	25
Tabla 4. Procedimientos de evaluación de vulnerabilidad sísmica de las estructuras de albañilería	33
Tabla 5. Características técnicas del cemento utilizado para el mortero.....	36
Tabla 6. Resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería industrial.....	38
Tabla 7. Resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería artesanal	38
Tabla 8. Variables de las edificaciones de albañilería confinado del primer piso.....	45
Tabla 9. Variables de las edificaciones de albañilería confinado del segundo piso.....	45
Tabla 10. Variables de las edificaciones de albañilería confinado del tercer piso	45
Tabla 11. Derivas de muros de albañilería confinada para cada estado límite.....	47
Tabla 12. Deriva de muros de albañilería confinada para la curva de capacidad.....	47
Tabla 13. Factores k_1 y k_2 según el número de pisos	53
Tabla 14. Coordenadas geográficas de las fuentes de interface	62
Tabla 15. Coordenadas geográficas de las fuentes de intraplaca	63
Tabla 16. Coordenadas geográficas de las fuentes continentales.....	64
Tabla 17. Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas	65
Tabla 18. Factores de daño totales de HAZUS MH - 99	78

Índice de figuras

Figura 1. Construcción de albañilería confinada	22
Figura 2. Esquema que muestra la geometría de la subducción y la ubicación de las fuentes sismogénicas del Perú	26
Figura 3. Esquema de riesgo sísmico	27
Figura 4. Curvas de fragilidad.....	30
Figura 5. Albañilería de fabricación industrial (izquierda), y albañilería de fabricación artesanal (derecha).....	36
Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino.....	36
Figura 7. Ensayos de resistencia a la compresión diagonal, albañilería industrial (izquierda), albañilería artesanal (derecha).....	37
Figura 8. Tipo de material de las paredes en las viviendas de Juliaca.	39
Figura 9. Edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca de acuerdo al tipo de fabricación de las unidades de albañilería.....	40
Figura 10. Edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca según el número de pisos.	40
Figura 11. Edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca de según el número de pisos y el tipo de fabricación de albañilería.	40
Figura 12. Edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca.	41
Figura 13. Primera configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).....	42
Figura 14. Segunda configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).....	42
Figura 15. Tercera configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).....	42
Figura 16. Cuarta configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).....	43
Figura 17. Quinta configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha)	43
Figura 18. Sexta configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha)	43
Figura 19. Octava configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).....	44
Figura 20. Novena configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).....	44
Figura 21. Décima configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).....	44
Figura 22. Curva de capacidad media y modelo trilineal para resistencia lateral de muros de albañilería confinada (izquierda), curva de capacidad analítica simplificada (derecha).....	46
Figura 23. Patrón de daño ante fuerzas horizontales de carga cíclica.	46
Figura 24. Mecanismo de daño concentrado.....	48
Figura 25. Sistema equivalente de varios grados de libertad (MDOF) y de un grado de libertad (SDOF).....	49
Figura 26. Envolvente de muros de albañilería confinada con aberturas.....	52

Figura 27. Esquema de la curva de capacidad para el análisis de edificios de albañilería confinada	53
Figura 28. Curvas de capacidad para una edificación de dos pisos con unidades de albañilería de fabricación industrial.....	54
Figura 29. Curvas de capacidad para una edificación de tres pisos con unidades de albañilería de fabricación industrial	54
Figura 30. Curvas de capacidad para una edificación de dos pisos con unidades de albañilería de fabricación artesanal.....	55
Figura 31. Curvas de capacidad para una edificación de tres pisos con unidades de albañilería de fabricación artesanal	55
Figure 32. Población de curvas de capacidad de edificaciones de albañilería industrial confinada, dos pisos (izquierda) y tres pisos (derecha).....	56
Figure 33. Población de curvas de capacidad de edificaciones de albañilería artesanal confinada, dos pisos (izquierda) y tres pisos (derecha).....	56
Figure 34. Definición de diferentes estados de daño.....	57
Figura 35. Estados de daño asociados al umbral de daño en la curva de capacidad	58
Figura 36. Sismicidad para el Perú, periodo 1963 – 2015, Mw (magnitud de momento) > 4	61
Figura 37. Excedencia y espectro de aceleración espectral.....	71
Figura 38. Espectros de peligro sísmico uniforme seleccionados para Juliaca.....	72
Figura 39. Proceso de elaboración de Matriz de Probabilidad de Daño.....	74
Figura 40. Amortiguamiento de muros de albañilería confinada como una función de la ductilidad.	75
Figura 41. Curvas de fragilidad para edificaciones de albañilería industrial confinada de dos pisos.....	76
Figura 42. Curvas de fragilidad para edificaciones de albañilería industrial confinada de tres pisos.....	76
Figura 43. Curvas de fragilidad para edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos pisos.....	77
Figura 44. Curvas de fragilidad para edificaciones de albañilería artesanal confinada de tres pisos.....	77
Figura 45. Convolución de curvas de fragilidad y factores de daño en S_a de 0.35g, para edificaciones de albañilería industrial confinada de dos pisos de la ciudad de Juliaca.....	79

Figura 46. Convolución de curvas de fragilidad y factores de daño en S_a de 0.35g, para edificaciones de albañilería industrial confinada de tres pisos de la ciudad de Juliaca.....	79
Figura 47. Convolución de curvas de fragilidad y factores de daño en S_a de 0.35g, para edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos pisos de la ciudad de Juliaca.	80
Figura 48. Convolución de curvas de fragilidad y factores de daño en S_a de 0.35g, para edificaciones de albañilería artesanal confinada de tres pisos de la ciudad de Juliaca.	80
Figura 49. Curvas de vulnerabilidad de edificaciones de albañilería industrial confinada de dos y tres pisos.....	81
Figura 50. Curvas de vulnerabilidad de edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos y tres pisos.....	81
Figura 51. Comparación de estados de daño de edificaciones de albañilería industrial y artesanal confinada de dos pisos.....	85
Figura 52. Comparación de estados de daño de edificaciones de albañilería industrial y artesanal confinada de tres pisos.	86
Figura 53. Porcentajes de colapso de edificaciones de albañilería industrial y artesanal confinados de dos y tres pisos.	86
Figura 54. Ratios de daño de las edificaciones albañilería industrial y artesanal confinados de dos y tres pisos.....	87

Índice de anexos

Anexo A. Ensayo de resistencia a compresión diagonal.....	96
Anexo B. Ensayo de granulometría de agregados finos.....	98
Anexo C. Ficha de reporte de toma de datos de edificaciones.....	100
Anexo D. Planos de edificaciones típicas planteadas.....	111
Anexo E. Cálculo de las variables de las edificaciones típicas planteadas	120

Resumen

El objetivo de la investigación es contribuir con información para la mitigación del riesgo sísmico de las edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca, mediante el desarrollo de curvas de fragilidad y vulnerabilidad. Se ha realizado ensayos de resistencia a compresión diagonal de muretes de albañilería industrial y artesanal disponibles en el mercado local, para calcular la resistencia al corte de la albañilería, a su vez se ha planteado modelos de configuración en planta típicos de edificaciones de albañilería confinada para calcular las características estructurales como: el área de la edificación, altura, peso, área de corte de muros y número de columnas. Luego con las características estructurales y materiales, se calcularon las curvas de capacidad, mediante un método simplificado basado en investigaciones experimentales. Utilizando la simulación de Montecarlo se ha generado una población representativa de las curvas de capacidad de la población de edificaciones estudiadas. Las curvas de capacidad fueron probadas contra un conjunto de espectros de peligro sísmico uniforme, que representan la acción sísmica de la zona de estudio y con dicha información se elaboraron matrices de probabilidad de daño, para generar las curvas de fragilidad que se ajustaron mediante una función de probabilidad lognormal. Finalmente se obtuvieron los estados de daño y factores de daño de las edificaciones de acuerdo a las recomendaciones de HAZUS (Hazard in the United States). Se pudo concluir que para edificaciones de albañilería industrial se espera que el 3.45% de dos pisos y el 9.98% de tres pisos colapsen, mientras que para las edificaciones de albañilería artesanal se espera que el 27.55% de dos pisos y el 50.08% de tres pisos colapsen.

Palabras clave: albañilería confinada, capacidad estructural, peligro sísmico, curvas de fragilidad y curvas de vulnerabilidad.

Abstract

The objective of the research is to contribute with information for the mitigation of the seismic risk of the typical buildings of masonry confined in the city of Juliaca, through the development of fragility and vulnerability curves. Diagonal compressive strength tests of industrial and handcrafted masonry walls have been carried out in the local market, to calculate the masonry cut resistance, and at the same time models of typical plant configuration of confined masonry buildings have been proposed. calculate the structural characteristics such as: the area of the building, height, weight, area of court walls and number of columns. Then with the structural and material characteristics, the capacity curves were calculated, using a simplified method based on experimental investigations. Using the Montecarlo simulation, a population representative of the capacity curves of the population of buildings studied has been generated. The capacity curves were tested against a set of uniform seismic hazard spectra, which represent the seismic action of the study area and with this information damage probability matrices were elaborated, to generate the fragility curves that were adjusted by a function of lognormal probability. Finally, the damaged states and damage factors of the buildings were obtained according to the recommendations of HAZUS (Hazard in the United States). It could be concluded that for industrial masonry buildings it is expected that 3.45% of two floors and 9.98% of three floors will collapse, while for buildings of handcrafted masonry the 27.55% of two floors and 50.08% of three are expected floors collapse.

Keywords: confined masonry, structural capacity, seismic hazard, fragility curves and vulnerability curves.

Capítulo I. El problema

1.1. Identificación del problema

La ciudad de Juliaca ha experimentado un crecimiento demográfico acelerado en los últimos años, acompañado de un desarrollo urbano desorganizado, donde la autoconstrucción de viviendas de albañilería confinada ha surgido como la solución más sencilla. Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI, 2017) Juliaca es la ciudad más poblada del departamento Puno con 228 726 habitantes que representan el 18.03%, con una densidad poblacional de 533.47 hab./km², las viviendas construidas de material noble (ladrillo o bloque de cemento cemento) son el 78.30% de las edificaciones.

En el contexto regional según Bouillon (2012), dos millones de los tres millones de nuevas familias que se forman cada año en las ciudades latinoamericanas no tienen otra opción que instalarse en viviendas informales, en zonas peligrosas, a causa de una oferta insuficiente de viviendas adecuadas y asequibles.

En el Perú es común construir nuevas viviendas con albañilería de ladrillos de arcilla y concreto, la población lo considera como “material noble” y son construidas sin criterios técnicos debido a escasos recursos económicos de los habitantes y la falta de conciencia frente a los riesgos que puedan presentarse. Según reporte del Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID, 2013) el 70% de edificaciones en el Perú son construcciones informales. Blondet, Muñoz, Tarque y Mosqueira (2005) estimaron que el 85% de viviendas de albañilería confinada de la costa peruana tienen un riesgo sísmico alto.

Los daños causados por sismos y el avance de las investigaciones y la tecnología en el área de la ingeniería sismorresistente muestran en la actualidad que tan sísmicamente vulnerables son las edificaciones. En las ciudades del Perú, las edificaciones destinadas a viviendas con frecuencia, no son tomadas en consideración en los planes orientados a mitigar o estimar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico, ante lo cual sólo se reacciona cuando los hechos ya han ocurrido. La presente investigación pretende aportar información sobre vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de viviendas de la ciudad de Juliaca.

1.2. Interrogantes de la investigación

1.2.1. Problema general

¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la influencia de la resistencia al corte de los muretes en la vulnerabilidad de edificaciones de albañilería confinada?
- ¿Cuál es la fragilidad de las edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca?
- ¿Cuál es el riesgo sísmico de las edificaciones típicas de albañilería confinada?

1.3. Objetivos de la investigación

1.3.1. Objetivo general

Evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca a través de curvas de fragilidad y de vulnerabilidad, para de esa manera contribuir con información para la adopción de medidas preventivas.

1.3.2. Objetivos específicos

- Evaluar la resistencia al corte de los muretes de albañilería apilados con unidades de albañilería producidos industrial y artesanalmente que están disponibles en el mercado local, mediante ensayos de resistencia a la compresión diagonal.
- Determinar las curvas de capacidad estructural de edificaciones típicas de albañilería confinada.
- Definir la acción sísmica a la que estarán sujeto las edificaciones típicas de albañilería confinada en la zona de estudio.
- Evaluar la probabilidad de colapso de edificaciones de albañilería confinada mediante curvas de fragilidad.
- Estimar el riesgo sísmico de las edificaciones típicas de albañilería confinada mediante curvas de vulnerabilidad.

1.4. Justificación

La investigación estudia la vulnerabilidad sísmica de edificaciones, debido a que la mayoría de las edificaciones de viviendas particulares en el Perú son autoconstruidas con el

sistema de albañilería confinada. Estas viviendas a menudo son construidas sin materiales adecuados, sin personal constructor calificado y sin seguir las normas técnicas de edificaciones.

El estudiar la resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería confinada elaborados industrial y artesanalmente con arcilla mediante ensayos de laboratorio, se aportará información para determinar la capacidad estructural de las edificaciones. Esa información sobre la capacidad estructural de será sometida a escenarios sísmicos de la ciudad de Juliaca.

El cruce de información sobre la capacidad estructural de viviendas y la sismicidad de la zona en estudio resulta ideal para obtener indicadores sobre la vulnerabilidad al que están expuestos. Pues permitirá el desarrollo de las curvas de vulnerabilidad, mediante el cual se pueda conocer la probabilidad de excedencia de diferentes estados de daño.

Cuando se obtenga información sobre la vulnerabilidad sísmica de edificaciones típicas de albañilería confinada, mediante la presente investigación, los entes encargados sobre construcción de viviendas o sobre su regulación, podrán tomar acciones para mitigar los riesgos y evitar pérdidas económicas, en caso se presente una catástrofe sísmica.

1.5. Plan de trabajo

- Investigación bibliográfica: Implicó la recolección de información sobre las edificaciones de albañilería confinada, curvas de capacidad, vulnerabilidad sísmica, riesgo sísmico, acción sísmica, curva de fragilidad y curvas de vulnerabilidad.
- Ensayo de resistencia a la compresión diagonal de unidades de albañilería: Se seleccionaron ladrillos disponibles en el mercado de Juliaca, tanto de fabricación industrial y artesanal para determinar su resistencia al corte. Esta información se empleó para determinar la capacidad estructural de las edificaciones de albañilería confinada.
- Estimación de capacidad estructural: Se determinaron la capacidad estructural de las edificaciones, mediante el análisis de pushover simplificado (SP-BELA ‘Simplified Pushover-Based Earthquake Loss Assessment’), en donde el sistema de varios grados de libertad (MDOF) se representa por el sistema de un grado de libertad (SDOF).

- Selección de estados de daño: Se seleccionaron estados de daño y umbrales de daño para las curvas de capacidad. En donde mediante la aplicación de la acción sísmica se determinaron las probabilidades de excedencia para diferentes estados de daño.
- Representación de la acción sísmica: La acción sísmica de la zona de estudio se representó mediante los espectros de peligro sísmico uniforme, determinados a partir de fuentes sísmicas de procedencia continentales y corticales.
- Curvas de fragilidad: Mediante los datos estimados de la capacidad estructural se generaron una población sintética empleando la simulación de Montecarlo, para tener una mayor representación de las edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca.
- Curvas de vulnerabilidad: Las curvas de vulnerabilidad se generaron del cruce curvas de fragilidad y factores de daño. Obteniéndose así ratios de daño para las poblaciones de edificaciones construidos con albañilería confinada industrial y artesanal de dos y tres niveles.

Capítulo II. Revisión de la literatura/Marco teórico

2.1. Antecedentes de la investigación

La principal investigación sobre vulnerabilidad y riesgo sísmico de viviendas de albañilería confinada en el Perú es de Blondet, Muñoz, Tarque y Mosqueira (2005) donde aplicaron encuestas en viviendas de algunas ciudades de la costa peruana para recolectar información arquitectónica, estructural y constructiva; con dicha información de cada vivienda realizó análisis sísmico para determinar el riesgo, obteniendo que aproximadamente el 85% de las viviendas presentan riesgo sísmico alto.

La tendencia actual sobre el diseño de edificaciones sismorresistentes exige que se estudien las estructuras bajo el desempeño sísmico. En la actualidad las edificaciones deben estar sujetos a diferentes escenarios sísmicos de movimiento de tierra que puedan presentarse. Por ende, estudios recientes muestran que las curvas de fragilidad que representen la probabilidad de excedencia de diferentes estados de daño ante el movimiento del terreno, son la opción más factible para estimar la vulnerabilidad sísmica.

Hwang y Huo (1994) presentaron una metodología para generar curvas de fragilidad y matriz de probabilidad de daño de estructuras sujetos a sismos. En el método consideran los riesgos sísmicos, condiciones locales del suelo y el comportamiento no lineal de edificios, teniendo en cuenta las incertidumbres en los parámetros sísmicos, de sitio y estructurales. Generó curvas de fragilidad y la matriz de probabilidad de daño para Smith Hall en el campus de la Universidad de Memphis. El método permitió estimar la pérdida de vida esperada, el daño físico, la preparación para futuros sismos y el plan de mitigación.

Priestley (1997) presentó un método de evaluación sísmica individual de edificios de concreto reforzado. Sobre la base de un procedimiento de evaluación preliminar que incorpora aspectos del diseño, y recomienda un enfoque basado en desplazamientos, para determinar la capacidad sísmica. Sobre una base de resultados experimentales, propuso procedimientos para evaluar la resistencia de los miembros, incluida la resistencia al corte de la junta de la columna y la viga, que dan como resultado estimaciones de rendimiento menos conservadoras que las que se obtendrían de la aplicación de código existentes.

Calvi (1999) presentó un método de evaluación de vulnerabilidad de clases de edificios. El método se deriva de conceptos desarrollados para el análisis detallado de edificios existentes, basados en la estimación de su desplazamiento y capacidad de disipación de energía. Los datos limitados normalmente disponibles para la evaluación de pérdidas a escala regional corresponden a una incertidumbre equivalente de los resultados. Los resultados se presentan en términos de probabilidad de excedencia de cada estado límite de daño específico para un movimiento sísmico dado, representado por un espectro de respuesta de desplazamiento apropiado para cada edificio.

Restrepo-Velez y Magenes (2004) presentaron un método de evaluación de riesgo sísmico a escala urbana de clases de edificios de albañilería no reforzada, que se basa en: formulación de capacidad estructural y respuesta en términos de conceptos mecánicos, representación de demanda sísmica y capacidad estructural mediante el desplazamiento, inclusión de fuentes de incertidumbre más comúnmente reconocidas, y consideración de mecanismo de falla dentro y fuera del plano más comunes. Para mecanismos de falla en el plano, incorpora un factor de corrección que incluye en el cálculo efectos tridimensionales y efectos de falla por flexión de los muros. Además, efectúa una transformación simplificada del sistema dinámico de varios grados de libertad, al sistema de un grado de libertad.

Borzi, Pinho y Crowley (2008a) presentaron un método analítico donde definen el comportamiento no lineal de una población aleatoria de edificios mediante un procedimiento pushover simplificado, para estimar vulnerabilidad de edificios de pórticos de concreto armado (SP-BELA). Proponen tres estados límites de falla para las estructuras. Los límites de capacidad de desplazamiento se identifican en la curva de capacidad simplificadas y estos límites se comparan con la demanda de desplazamiento de un espectro de respuesta para cada edificio en la población aleatoria, lo que conduce a generar las curvas de vulnerabilidad. Valida la metodología mediante análisis de elementos finitos.

Borzi, Crowley y Pinho (2008b) adaptó el método SP-BELA, desarrollado originalmente para estudiar la vulnerabilidad de los edificios de concreto armado, para producir curvas de vulnerabilidad para edificios de albañilería no reforzada. En la aplicación, las curvas se calibran utilizando datos relacionados con las características estructurales de las edificaciones y números de pisos. También, propone que el mecanismo de falla de las edificaciones de albañilería ocurre en un solo piso.

Lovon (2017) obtuvo funciones de fragilidad y vulnerabilidad de edificaciones de albañilería confinada informales en Lima (Perú) mediante una muestra de funciones de probabilidad. Estas sirvieron para generar una población sintética de viviendas de albañilería utilizando la simulación Montecarlo. Posteriormente calculó mediante un método simplificado las curvas de capacidad de esa población. La demanda sísmica fue definida utilizando registros sísmicos. Luego utilizó el método DBELA para determinar el estado de daño de cada vivienda. Finalmente, definió factores de daño de acuerdo a las recomendaciones de HAZUS 99, obteniendo curvas de vulnerabilidad para un escenario con amenaza sísmica rara con 10% de probabilidad de excedencia en 50 años.

2.2. Fundamentos teóricos generales

2.2.1. Albañilería confinada

La albañilería confinada es relativamente nueva. “Fue creado por ingenieros italianos, después que el sismo de 1908 en Sicilia arrasara viviendas de albañilería no reforzadas. En el Perú, la albañilería confinada ingresa después del terremoto de 1940; y la armada en la década de 60” (San Bartolomé, 1994, p. 3).

La albañilería confinada es formada por muros de ladrillo, y en su perímetro se colocan elementos de concreto armado. Dichos elementos llamados confinamientos son de dos tipos: los verticales “columnas de amarre” y los horizontales “vigas de amarre”, vigas soleras y vigas collar. En estas estructuras los muros son portantes de cargas de gravedad y de cargas sísmicas. Este tipo de estructura es la que más se usa en Perú, en zonas urbanas, en construcción de viviendas y edificios medianos hasta cinco niveles (Abanto, 2017).



Figura 1. Construcción de albañilería confinada.
Fuente: SENCICO (2005).

2.2.2. El sistema estructural de albañilería confinada

“Las edificaciones de albañilería confinada responden a un sistema estructural cuyos elementos principales son muros de corte únicamente, que se caracterizan por estar hechos de albañilería de arcilla, y estar confinados por columnas y vigas de concreto armado” (Arango, 2002, p. 81).

El sistema de albañilería confinada es caracterizado por numerosos muros, distribuidos irregularmente en la planta. La longitud de muros es variable, pero el espesor está limitado por el tamaño de las unidades de albañilería y su orientación.

En el sistema de albañilería confinada los muros portantes absorben la fuerza cortante repartida en cada nivel (entrepiso o piso) del edificio, dichas fuerzas son causadas por las cargas sísmicas que actúan sobre la edificación, estas fuerzas de corte existentes en cada nivel se distribuyen proporcionalmente a las rigideces laterales de cada muro portante. A esta carga se suma el cortante por torsión producido por el momento torsor que surge a consecuencia de la excentricidad del centro de la fuerza cortante y del centro de rigidez de los muros en el nivel considerado (Abanto, 2017).

Las expresiones analíticas de rigidez de muros de albañilería confinada según Sirumbal (2011), toman en consideración, las deformaciones por flexión y por corte, siendo las deformaciones por corte los que determinan el comportamiento sísmico de las edificaciones de albañilería confinada. Razón por la cual es importante determinar la densidad de muros, que es un parámetro que relaciona la suma de áreas de corte de los muros portantes de albañilería confinada en una dirección, y el área de la planta de la edificación.

2.2.3. Componentes de la albañilería confinada

a) La unidad de albañilería

Según la Norma E.070 (2006), ladrillo es una unidad donde sus dimensiones y el peso permiten su manipulación con una sola mano. Las unidades de albañilería son ladrillos y en su elaboración se emplea arcilla, sílice-cal o concreto. Las unidades pueden ser sólidas, huecas, alveolares o tubulares y podrían ser fabricadas de forma artesanal o industrial.

Para los efectos de diseño estructural, las unidades de albañilería tendrán las características indicadas en la Tabla 1. La resistencia se determina con el área bruta, donde las unidades con numerosos huecos son muy frágiles a comparación de las unidades sólidas.

Tabla 1.
Clases de unidad de albañilería para fines estructurales.

CLASE	VARIACIÓN DE LA DIMENSIÓN (Máxima en porcentaje)			ALABEO (máximo en mm)	RESISTENCIA CARACTERÍSTICA A COMPRESIÓN f'_b mínimo en Mpa (kg/cm ²) sobre área bruta
	Hasta 100 mm	Hasta 150 mm	Más de 150 mm		
	Ladrillo I	± 8	± 6		
Ladrillo II	± 7	± 6	± 4	8	6,9 (70)
Ladrillo III	± 5	± 4	± 3	6	9,3 (95)
Ladrillo IV	± 4	± 3	± 2	4	12,7 (130)
Ladrillo V	± 3	± 2	± 1	2	17,6 (180)
Bloque P	± 4	± 3	± 2	4	4,9 (50)
Bloque NP	± 7	± 6	± 4	8	2,0 (20)

Nota: Fuente: Norma E.070. (2006). *Diseño sismorresistente - Reglamento Nacional de Edificaciones*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

b) El mortero

El mortero es el material constituido por una mezcla de aglomerantes y agregado fino al cual se le adiciona la máxima cantidad de agua que proporcione una mezcla trabajable, adhesiva y sin segregación del agregado. La función del mortero es adherir las unidades de albañilería horizontal y verticalmente en la conformación de muros.

Según la Norma E.070 (2006), los componentes del concreto pueden ser cemento portland o cemento adicionado normalizados y cal hidratada normalizada acorde a las normas. El agregado fino debe ser de arena gruesa natural, libre de materia orgánica y sales, con las características indicadas en la Tabla 2. El agua utilizada debe ser potable y libre de sustancias

Tabla 2.
Granulometría de arena gruesa para mortero.

MALLA ASTM	% QUE PASA
N° 4 (4.75 mm)	100
N° 8 (2.36 mm)	95 a 100
N° 16 (1.18 mm)	70 a 100
N° 30 (0.60 mm)	40 a 75
N° 50 (0.30 mm)	10 a 35
N° 100 (0.15 mm)	2 a 15
N° 200 (0.075 mm)	Menos de 2

Nota: Fuente: Norma E.070. (2006). *Diseño sismorresistente - Reglamento Nacional de Edificaciones*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Los morteros se clasifican en: tipo P, empleado en la construcción de muros portantes; y NP, utilizado en los muros no portantes. Los componentes del mortero expresado en proporciones volumétricas en estado suelto se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3.
Tipos de mortero para muros de albañilería portante y no portante.

TIPO	COMPONENTES			USOS
	CEMENTO	CAL	ARENA	
P1	1	0 a 14	3 a 3 12	Muros portantes
P2	1	0 a 12	4 a 5	Muros portantes
NP	1	-	Hasta 6	Muros no portantes

Nota: Fuente: Norma E.070. (2006). *Diseño sismorresistente - Reglamento Nacional de Edificaciones*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

Según Gallegos y Casabonne (2005), el mortero asume las “irregularidades de las unidades y, sobre todo, la de unir las con relativa estabilidad en el proceso constructivo, proveyendo rigidez en la hilada para permitir el asentado, y para formar, un conjunto durable, impermeable y con alguna resistencia a tracción” (p.29).

c) El acero de refuerzo

El acero de refuerzo son las barras de construcción corrugadas rectas y de sección circular que permiten la adherencia con el concreto. “El acero se utiliza de forma combinada con el concreto, para la construcción de elementos estructurales tales como: vigas, columnas, zapatas, losas, etc.; de tal manera que el acero resista los esfuerzos de tracción y el concreto los de compresión” (Abanto, 2017, p.147).

La armadura de acero deberá cumplir con lo establecido en las Norma Barras de Acero con Resaltes para Concreto Armado ‘NTP 341.031’ (E.070, 2006).

d) El concreto

“El concreto es una mezcla de tres componentes como son: cemento, arena gruesa, piedra chancada y agua en proporciones adecuadas de acuerdo a la resistencia que se quiera obtener, en donde ocasionalmente se agregan aditivos para variar alguna característica” (Abanto, 2017, p.143).

El concreto de los elementos de confinamiento tendrá una resistencia a la compresión mayor o igual a 175 kg/cm² y deberá cumplir con los requisitos establecidos en la Norma Técnica de Edificación E.060 Concreto Armado (E.070, 2006).

2.2.4. El sismo

El sismo es la liberación súbita de energía mecánica generada por el movimiento de 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 [Instituto Nacional de Defensa Civil], 2006).

2.2.5. La sismicidad en el Perú

El Perú es un país de gran actividad sísmica, debido a que se ubica en la zona de convergencia y subducción de la placa de Nazca (oceánica) por debajo de la Sudamericana (continental) con velocidades promedio del orden de 7 - 8 cm por año se desarrolla en el borde occidental del Perú (Norabuena, Dixon, Stein y Harrison, 1999).

Según Tavera (2014) dicho proceso da origen a sismos de diversas magnitudes, todos asociados a la fricción de ambas placas (oceánica y continental), a la deformación de corteza a niveles superficiales y a la deformación interna de la placa oceánica por debajo de la cordillera. En la zona norte-centro, el escudo brasileño produce plegamiento de capas superficiales para formar anticlinales y fallas geológicas, la placa de Nazca se introduce debajo de la cordillera horizontalmente y genera sismos. En la zona sur, la ocurrencia de la subducción trae como consecuencia la presencia de volcanes, la placa de Nazca lleva en su interior agua que se evapora por el incremento de temperatura a mayor profundidad, se mezcla con los minerales del manto y por densidad, asciende a superficie a formar volcanes.

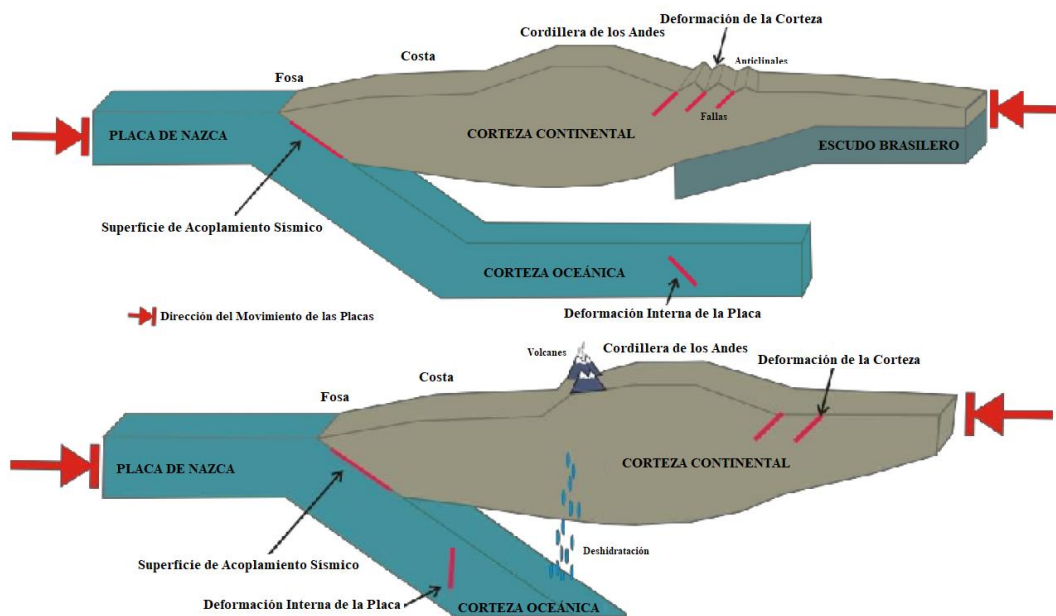


Figura 2. Esquema de la subducción y ubicación de fuentes sísmogénicas del Perú.
Fuente: Tavera, (2014).

2.2.6. Riesgo sísmico

Según Cattari, Lagomarsino y Ottonelli (2014), el riesgo sísmico es el “potencial de consecuencias negativas de los eventos peligrosos que puedan ocurrir en una unidad de área específica y en un periodo de tiempo. El resultado serían las consecuencias, que se obtienen de la convolución probabilística de vulnerabilidad, peligro y exposición” (p.1).

El riesgo sísmico al tener la interacción de vulnerabilidad, peligro y exposición, puede representarse por los lados de un triángulo. Silva, Yepes-Estrada y Weatherill (2017), indican que evaluar el riesgo constituye el primer paso para respaldar decisiones y acciones para reducir potenciales pérdidas, lo que implica desarrollar: Modelos de peligro de terremoto que caracterizan el nivel de sacudida de suelo y su frecuencia asociada en una región; conjunto de datos de exposición que definen la ubicación geográfica y el valor de los elementos expuestos y funciones de vulnerabilidad que establecen la probabilidad de pérdida condicionada a la intensidad del temblor.



Figura 3. Esquema de riesgo sísmico.

La medición de riesgo sirve para tomar decisiones de medidas de mitigación de riesgos que podrían incluir planes de emergencia, la aplicación y mejora de códigos de diseño y el desarrollo de conjuntos de seguros contra catástrofes. Esta herramienta podría reducir la carga económica de la reconstrucción para el gobierno y los hogares.

2.2.7. Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica de una edificación según Lovon (2017) es la susceptibilidad de esta a ser dañada por un movimiento sísmico de una determinada intensidad. La vulnerabilidad sísmica de una estructura tiene una relación directa con los materiales, técnicas constructivas, tipologías, entre otros. Además, es independiente de la peligrosidad del lugar pues una estructura puede ser vulnerable, pero no estar en riesgo si no se encuentra en un lugar con un determinado peligro sísmico o amenaza sísmica.

2.2.8. Peligro sísmico

El peligro sísmico es la probabilidad de que en una determinada región ocurran movimientos sísmicos de determinada intensidad dentro de un determinado plazo de tiempo. Usualmente, el término intensidad se refiere a características del sismo tales como: magnitud, aceleración espectral, velocidad espectral, desplazamiento espectral. El peligro sísmico puede determinarse a partir de los métodos determinístico y probabilístico.

a) Peligro sísmico determinístico

Se ocupa de representar el peligro sísmico más destructivo que pueda ocurrir, considerando el registro sísmico histórico local. Dicho método expresa el peligro como el mayor evento sísmico posible.

El peligro sísmico determinístico consta de cuatro pasos Reiter (1990), como son:

- Caracterización de fuentes sismogénicas capaces de producir movimientos sísmicos significativos en el sitio de interés, incluyendo la definición geométrica de las fuentes y su potencial sísmico.
- Selección del parámetro de distancia fuente-sitio. En la mayoría de análisis de peligro sísmico determinísticos, se selecciona la menor distancia entre la fuente y el sitio de interés.
- Selección del terremoto dominante que se espera produzca los mayores niveles de movimiento y se describe en términos de su tamaño y la distancia del sitio.
- Definición de términos del movimiento sísmico producido en el sitio de interés por el terremoto dominante. Descritos por valores picos de aceleración, velocidades y ordenadas del espectro de respuesta, obtenidos mediante relaciones de predicción, basadas en ecuaciones de atenuación de ondas

b) Peligro sísmico probabilístico

El método permite cuantificar el peligro considerando los sismos que ocurrieron en el lugar y todos los demás posibles que pudiesen ocurrir, asociados a la amplitud del movimiento y la frecuencia.

El peligro sísmico probabilístico consta de cuatro pasos Reiter (1990), como son:

- Caracterización de fuentes sismogénicas, adicionando la probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico dentro de la misma fuente. Se considere una

distribución uniforme de probabilidad de ocurrencia de un terremoto dentro de la misma fuente.

- Consideración de la ley de recurrencia sísmica que indica la razón promedio en que un determinado evento sísmico será superado en un intervalo de tiempo definido. Esta relación permite considerar un rango de magnitudes de terremotos, sin limitarse a elegir un único terremoto
- Uso de leyes de atenuación para estimar un terremoto en un determinado lugar considerando la magnitud del mismo y la distancia del punto respecto a la fuente.
- Finalmente se calcula la probabilidad de excedencia de que un determinado parámetro que representa el movimiento sísmico es superado durante un periodo de tiempo específico, mediante una combinación de incertidumbres de ubicación, magnitud y leyes de atenuación.

2.2.9. La exposición sísmica

La exposición sísmica se refiere a la extensión de la actividad humana que existe en la zona de estudio, y está representado por la población o los elementos de valor que se encuentran expuestos ante el peligro sísmico.

2.3. Curvas de fragilidad

La vulnerabilidad pasa por la definición de curvas de fragilidad. “La fragilidad se define como la probabilidad de exceder un estado límite de daño predefinido, dado una medida de intensidad de movimiento sísmico” (Cattari et al., 2014, p.1).

Las curvas de fragilidad se emplean para la estimación de riesgo sísmico de clases o grupos de edificios con características estructurales homogéneas y bien restringidas (e.g. concreto armado, albañilería confinada). Si en un mismo estudio y para la misma clase de activos, las curvas de fragilidad se han definido para diferentes estados de daño, se denomina en conjunto curvas de fragilidad (Figura 4).

Matemáticamente las curvas de fragilidad se pueden expresar como:

$$P(DS \geq ds_i | IM) \quad (1)$$

donde DS es el estado de daño del grupo de activo (i.e. las edificaciones), ds_i es un estado de daño predefinido particular y el IM es el parámetro del movimiento del suelo.

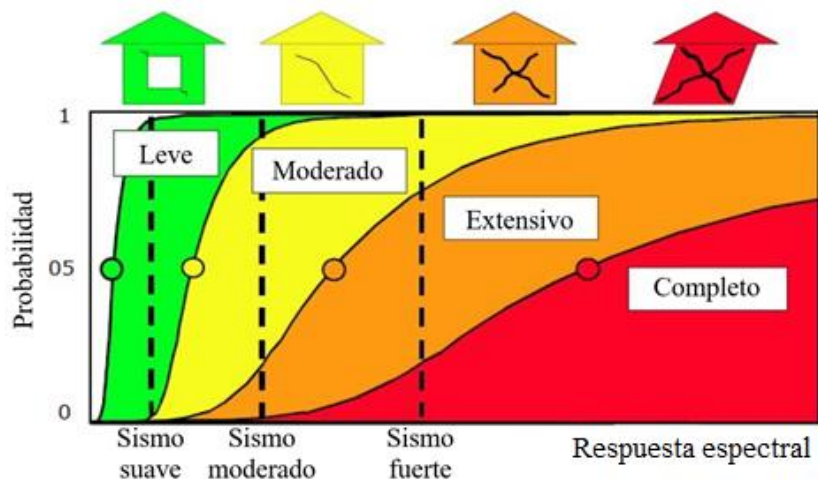


Figura 4. Curvas de fragilidad.
Fuente: FEMA-NIBS, (2009).

Las curvas de fragilidad se pueden derivar bajo diferentes métodos, dependiendo de tipos de edificación y su condición. También se debe precisar si el estudio es para edificación individual o varios edificios. Las curvas de vulnerabilidad se pueden determinar mediante:

- Métodos empíricos.
- Métodos analíticos.
- Métodos híbridos.

2.3.1. Métodos empíricos

El método de Matriz de Probabilidad de Daño (DPM), expresa de forma discreta la probabilidad de obtener un nivel de daño j , debido a un movimiento de tierra de macro-intensidad i , $P(D) = P[D = D_j/I_i]$. El método se basa en gran cantidad de datos de daños observados disponibles de terremotos pasados, y la correlación de estos con los materiales y métodos de construcción en diferentes regiones geográficas y sísmicas. (D'Ayala, 2013).

Algunas limitaciones del método son: definición discreta de niveles y estados de daño y dependencia de un contexto sísmico y arquitectónico. Por lo tanto, puede no ser aplicable a diferentes ubicaciones geográficas o cuando exista ausencia de datos de daños directos.

Spence, Coburn y Pomonis (1992) realizaron un primer intento de derivar curvas de fragilidad genéricas con la Intensidad de Escala sin Parámetros (PSI), destinada a proporcionar curvas de fragilidad para diferentes tipologías de construcción y cuantificar los beneficios de la mejora y el fortalecimiento de las intervenciones del parque de construcción. La ventaja del enfoque es que los grados de daño y las curvas de fragilidad son

independientes de las escalas de intensidad macro-sísmica, ya que se definen entre sí, suponiendo que para cada tipo de edificio es posible definir el nivel de la escala. Sin embargo, las limitaciones de la aplicabilidad están relacionadas con la gran necesidad de observaciones para calibrar cada curva de fragilidad y con la dificultad de traducir el daño observado o esperado en características estructurales.

2.3.2. Métodos analíticos

Enmarcan la vulnerabilidad sísmica en términos de ingeniería estructural, definiendo una relación de características de construcción, respuesta estructural a la acción sísmica y efectos de daños. Las ecuaciones de atenuación para regiones sísmicas específicas y la derivación de mapas de peligro sísmico en términos de ordenadas espectrales, impulsaron el desarrollo de métodos analíticos que suelen presentar dos procedimientos: (i) correlación del índice y umbrales de daño, y (ii) correlación de curvas de capacidad de aceleración/desplazamiento y de demanda espectral, siguiendo HAZUS-MH (FEMA, 1999).

Esto aplicado a grandes conjuntos de edificios, permiten la derivación de curvas de fragilidad y escenarios de daños para sitios determinados. Las curvas de fragilidad se basan en la distribución lognormal, y una vez definido las tipologías, no es necesario tener un conocimiento detallado de los edificios. Todo lo que se requiere son los parámetros que definen la curva de capacidad para cada tipología, los distintos umbrales de daños y el número de edificios que pertenecen a cada tipología.

Las limitaciones son: aplicabilidad geográfica limitada y número limitado de mecanismos de falla. La mayoría de los modelos analíticos consideran solo el comportamiento en el plano o en el marco, sin tener en cuenta los mecanismos de volcamiento fuera del plano, que a menudo ocurren a niveles más bajos de sacudidas. La evaluación analítica de edificios de mampostería existentes se encuentra en muchos sistemas integrados de evaluación de riesgos como el HAZUS-MH (FEMA, 1999).

Entre los métodos de análisis no lineal, el método de mecanismo de colapso presenta la ventaja de requerir pocos parámetros de entrada y permitir la consideración de diferentes modos de falla. Los procedimientos que utilizan este enfoque se basan en factores de colapso que identifican la aparición de diferentes mecanismos posibles para la tipología dada y las características estructurales. (D'Ayala, 2013)

En el método analítico, referido en particular a edificaciones de albañilería, propuesto por Lagomarsino y Cattari (2013), la vulnerabilidad sísmica de una clase de activos se describe mediante la definición de características geométricas y mecánicas, que permiten relacionar la respuesta estructural a la acción sísmica (relacionada con IMs instrumentales) y, en consecuencia, los efectos del daño.

Para estos modelos las curvas de fragilidad se desarrollan comúnmente sobre la base de una distribución lognormal, de la siguiente manera:

$$p_{LS}(im) = P(d > D_{LS}|im) = P(im_{LS} < im) = \Phi\left(\frac{\log\left(\frac{im}{IM_{LS}}\right)}{\beta_{LS}}\right) \quad (2)$$

dónde: d es un desplazamiento representativo del comportamiento sísmico del edificio, D_{LS} es su umbral de estado límite, IM_{LS} es el valor mediano de la distribución lognormal de la intensidad de medición im_{LS} que produce el umbral de LS y β_{LS} es la dispersión.

Una función de fragilidad se define así por dos parámetros: IM_{LS} (considerado representativo del comportamiento sísmico promedio de los edificios de una clase particular) y β_{LS} (en relación con la incertidumbre, depende de diferentes contribuciones relacionados con: a) incertidumbres de demanda sísmica, b) definición incierta del umbral de estado límite y c) variabilidad de la capacidad de los edificios que pertenecen a la clase de vulnerabilidad).

2.3.3. Métodos híbridos

Se basa en la combinación de estadísticas de daños post terremoto con comportamiento no lineal derivado analíticamente del análisis pushover. El procedimiento es muy útil cuando la recopilación de datos de daños de un área de interés con una intensidad específica está sólo parcialmente disponible. No obstante, el uso de diferentes fuentes de datos derivadas de diferentes procedimientos, para los cuales no se dispone fácilmente de una correlación cruzada directa, puede no necesariamente dar lugar a una reducción de la incertidumbre de la salida.

En la Tabla 4 se presenta un resumen realizado por D'Ayala (2013). La lista no es exhaustiva de las aplicaciones de evaluación de vulnerabilidad sísmica para estructuras de albañilería disponibles en la literatura, pero se concentra en procedimientos que se han desarrollado específicamente para la evaluación de vulnerabilidad a escala territorial.

Tabla 4.

Procedimientos de evaluación de vulnerabilidad sísmica de las estructuras de albañilería.

Metodo	Referencia	Datos Requerido	Datos Recopilado	Evaluación	Enfoque	Entrada demanda	Salida
VULNUS	Bernardini et al. (1990)	Geometría, parámetros materiales, detalles estructurales	Observación in situ o encuesta sistemática.	Analítico	Metodo de mecanismo	PGA, espectro de respuesta	Fuerza lateral, deriva lateral, índice de vulnerabilidad.
FaMIVE	D'Ayala (2005) D'Ayala y Speranza (2003)	Geometría, parámetros materiales, detalles estructurales	Observación in situ o encuesta sistemática.	Analítico	Basado en el espectro de capacidad	PGA, espectro de respuesta	Fuerza lateral, deriva lateral, escala de daño, índice de vulnerabilidad.
SP-BELA	Borzi et al. (2008)	Descripcion estructural	Generación aleatoria	Analítico	Basado en pushover	PGA, espectro de respuesta	Fuerza lateral, deriva lateral.
CSBM	RISK-UE, Kappos et al. (2008)	Descripcion estructural	Encuesta sistemática y generación aleatoria.	Analítico	Basado en el espectro de capacidad	PGA, espectro de respuesta	Fuerza lateral, deriva lateral.
SELENA	Molina et al. (2009)	Descripción tipológica, descripción estructural.	Observación in situ y generación aleatoria.	Analítico	Basado en el espectro de capacidad	PGA, espectro de respuesta	Fuerza lateral, deriva lateral.
HAZUS - MH	FEMA (1999)	Descripción tipológica, descripción estructural.	Base de datos de exposición, encuesta	Empírico / analítico	Curvas de capacidad.	PGA, espectro de respuesta	Fuerza lateral, deriva lateral.
VIM	Benedetti et al. (1988), Lagomarsino y Giovinazzi (2006)	Descripcion tipologica	Observación en el sitio	Empírico	Índice de vulnerabilidad	Intensidad macro-sísmica, PGA	Escala de daño fenomenológico
DPM	Whitman et al. (1973)	Descripcion tipologica	Observación en el sitio	Empírico	Matriz de probabilidad de daño	Intensidad macro-sísmica	Escala de daño fenomenológico
AeDES	Baggio et al. (2009)	Descripcion tipologica	Observación en el sitio	Empírico	Índice de vulnerabilidad	Intensidad macro-sísmica	Escala de daño fenomenológico
PSI	Spence et al. (1992)	Descripcion tipologica	Base de datos de exposición	Estadística empírica	Función de probabilidad de daño	Intensidad macro-sísmica	Escala de daño fenomenológico
Metodos hibridos	Kappos et al. (1998), Barbat et al. (1996)	Geometría, material	Observación en el sitio	Bases empíricas / analíticas, estadísticas.	Metodos hibridos	Intensidad macro-sísmica	Escala de daño de fuerzas laterales

Nota: Fuente: D'Ayala, (2013). Assessing the seismic vulnerability of masonry buildings. In *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems* (pp. 334-365). Woodhead Publishing.

Capítulo III. Materiales y métodos

3.1. Tipo y metodología de investigación

3.1.1. Tipo de investigación

La investigación tecnológica según Borja (2012), tiene como objetivo la solución de problemas prácticos. La investigación tecnológica no resuelve problemas prácticos aislados, sino que tiene un efecto multiplicador. Contribuye a la interpretación de la realidad.

La presente investigación es de tipo tecnológico, debido a que busca solucionar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca, mediante el aporte de información para la toma de medidas de mitigación.

3.1.2. Metodología de investigación

La metodología cuantitativa según Borja (2012), plantea que una forma confiable para conocer la realidad es la recolección y análisis de datos, con lo que se podría contestar las preguntas y probar las hipótesis de investigación.

La presente investigación es de enfoque cuantitativa, debido a que demanda la recolección de datos para contrastar la hipótesis, mediante el cual se podrán responder las interrogantes de la investigación.

3.2. Hipótesis de la investigación

3.2.1. Hipótesis general

Las edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca, son vulnerables frente a la acción sísmica.

3.2.2. Hipótesis específicos

- La resistencia al corte de los muretes influye en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones típicas de albañilería confinada.
- Las edificaciones típicas de albañilería confinada de Juliaca presentan probabilidad de colapso frente a la acción sísmica.
- Las edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca presentan riesgo sísmico frente a la acción sísmica.

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población del presente estudio lo conforman las edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca, que según INEI (2017) las edificaciones con pared de ladrillo forman parte de edificaciones de material noble y son de 44 622.

3.3.2. Muestra

a) Tamaño de la muestra

La muestra es finita al ser menos de 100 000, y se calcula con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 * p * q * N}{e^2 * (N - 1) + Z^2 * p * q} \quad (3)$$

dónde: N es el tamaño de población, p es la probabilidad de que la hipótesis sea verdadera, q es la probabilidad de no ocurrencia de hipótesis, e es el error estimado por estudiar una muestra en lugar de toda la población y Z es el coeficiente de confiabilidad.

El tamaño de la muestra se calculó de la siguiente manera:

$$n = \frac{1.96^2 * 0.5 * 0.5 * 44\ 622}{0.05^2 * (44\ 622 - 1) + 1.96^2 * 0.5 * 0.5} = 382 \quad (4)$$

dónde: La población N es de 44 622 edificaciones, p y q asumidos según recomendación de Borja (2012) 50%, error e de 5% y nivel de confianza 95%, por lo tanto, Z es 1.96.

La muestra calculada en esta sección solamente se empleó para caracterizar las edificaciones por tipo de fabricación de las unidades de albañilería y el número de pisos, y se detalla en la sección 3.5.1.

b) Tipo de muestreo

El tipo de muestreo efectuado es sistemático, siendo esta la elección más rigurosa, ya que se tomaron en cuenta las edificaciones del centro de la ciudad y la periferia, tomando como referencia las calles que atraviesan la ciudad.

3.4. Ensayos de resistencia a compresión diagonal de muretes

3.4.1. Unidades de albañilería

Para la investigación se utilizaron unidades de albañilería disponibles en el mercado local de la ciudad de Juliaca, producidos industrial y artesanalmente. Dichas unidades fueron

las unidades de albañilería king kong de 18 huecos de fabricación industrial y unidades sólidas de fabricación artesanal.

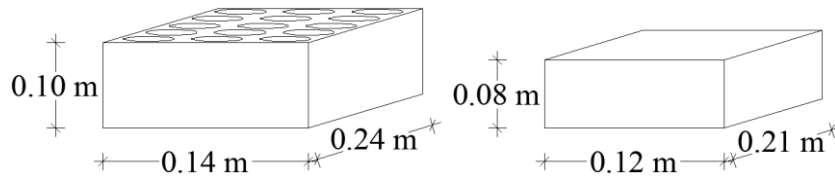


Figura 5. Albañilería de fabricación industrial (izquierda), y albañilería de fabricación artesanal (derecha).

3.4.2. Mortero

El mortero empleado para la elaboración de muretes fue de dosificación cemento arena 1:4 de acuerdo a la Norma E.070. El agregado fino utilizado fue arena gruesa natural, y se realizó el ensayo de granulometría (Figura 5). El cemento empleado fue de tipo IP (Marca Rumi) y agua potable para realizar la mezcla.

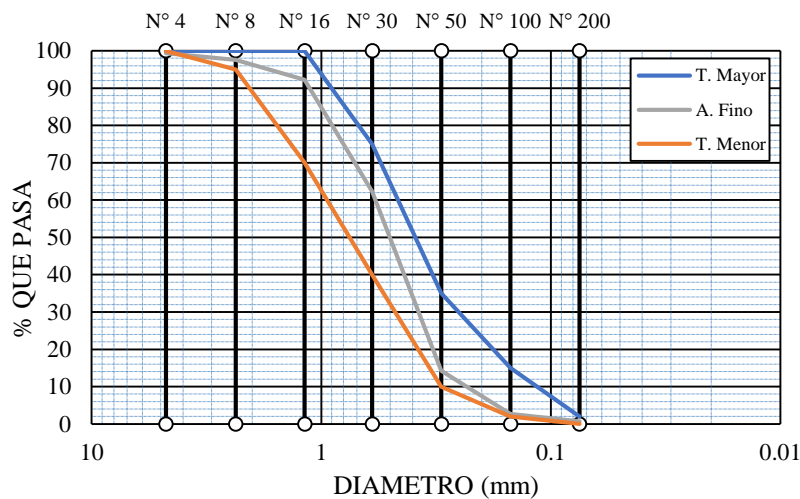


Figura 6. Curva granulométrica del agregado fino.

Tabla 5.

Características técnicas del cemento utilizado para mortero.

Requisitos físicos	Cemento portland tipo IP
Peso específico (gr/cm ³)	1.99
Resistencia a compresión 28 días (kgf/cm ²)	342

Nota: Fuente: Ficha técnica cemento tipo IP [marca rumi].

El mortero en los muretes cumple de adherir las unidades de albañilería. El mortero aplicado a las juntas vertical y horizontal de los muretes fue de 0.01 m a 0.015 m de acuerdo a la Norma E.070.

3.4.3. Muretes construidos

Se construyeron ocho muretes, cuatro de albañilería industrial y cuatro de albañilería artesanal, con dimensiones de 0.60 m por 0.60 m, espesor de 0.14 m (albañilería industrial) y espesor de 0.12 m (albañilería artesanal). Los ensayos de resistencia a compresión diagonal se realizaron a los 28 días.

En la construcción de los muretes, la primera fila de las unidades de albañilería fue debidamente alineada, para que sirvan de guías de las demás hiladas. Las herramientas que se utilizaron para verificar el alineamiento, las dimensiones y la horizontalidad fueron el cordel, el escantillón y la plomada.



Figura 7. Ensayo de resistencia a la compresión diagonal, albañilería industrial (izquierda) y albañilería artesanal (derecha).

3.4.4. Cálculo de resistencia al corte

La resistencia al corte se obtuvo de dividir la carga máxima aplicado a los muretes entre el área diagonal comprimida. Esto se representa mediante la siguiente expresión:

$$\tau_m = \frac{P_{Max}}{A_D} \quad (5)$$

donde: τ_m es la resistencia al corte (kg/cm^2), P_{Max} es la fuerza aplicada (kg), A_D es el área diagonal (diagonal por espesor) (cm^2).

La resistencia característica al corte τ'_m (kg/cm^2), se calcula como el resultado de la diferencia entre el promedio de las resistencias al corte halladas para cada murete τ_m y la desviación estándar σ .

$$\tau'_m = \tau_m - \sigma \quad (6)$$

Tabla 6.

Resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería industrial.

Espécimen	L (cm)	H (cm)	D (cm)	t (cm)	P_{Max}(kg)	A_D(cm²)	τ (kg/cm²)
M01	62.97	67.22	92.11	13.85	10606.71	1275.6857	8.31
M02	63.10	67.23	92.20	14.05	10090.75	1295.4590	7.79
M03	63.42	66.65	92.00	14.07	10455.80	1294.4644	8.08
M04	63.07	67.13	92.11	14.17	10563.88	1305.1994	8.09
Promedio de las resistencias al corte:					v_m	8.07	kg/cm ²
Desviación estandar:					σ	0.22	kg/cm ²
Resistencia característica al corte:					v'_m	7.85	kg/cm ²
Dispersión porcentual de resultados:					<i>Error</i>	2.67%	%

Tabla 7.

Resistencia a la compresión diagonal de muretes de albañilería artesanal.

Espécimen	L (cm)	H (cm)	D (cm)	t (cm)	P_{Max}(kg)	A_D(cm²)	τ (kg/m²)
M01	65.23	65.93	92.75	12.07	5808.10	1119.4375	5.19
M02	65.17	64.95	92.01	12.05	5550.12	1108.7068	5.01
M03	65.50	65.43	92.58	12.12	5704.09	1122.0878	5.08
M04	65.22	65.57	92.48	12.07	5887.63	1116.2677	5.27
Promedio de las resistencias al corte:					v_m	5.14	kg/cm ²
Desviación estandar:					σ	0.12	kg/cm ²
Resistencia característica al corte:					v'_m	5.02	kg/cm ²
Dispersión porcentual de resultados:					<i>Error</i>	2.29%	%

Según la Norma E-070, no es aceptable una dispersión de resultados mayor del 20% para unidades de albañilería producidas industrialmente, o mayor del 40% para unidades de albañilería producidas artesanalmente, y sobrepasan dicho límite son indicativos de la existencia de fallas en la mano de obra o los materiales carecen de calidad adecuada.

En los resultados de la investigación (Tabla 6 y 7), se observa los resultados, y que para los muretes construidos con albañilería de fabricación industrial se tiene una dispersión del 2.67% y para los muretes construidos con albañilería de fabricación artesanal se tiene una dispersión de 2.29%; de esta se confirma que cumplen con la Norma E.070.

3.5. Características de las edificaciones

En las ciudades del Perú la mayoría de las viviendas son de material noble según el INEI (2017), bajo este concepto se agrupan las viviendas de ladrillo y bloques de concreto. Para la presente investigación Juliaca tiene el 78.30% de viviendas de material noble (ladrillo y bloques de concreto), donde están englobados las edificaciones de albañilería confinada.

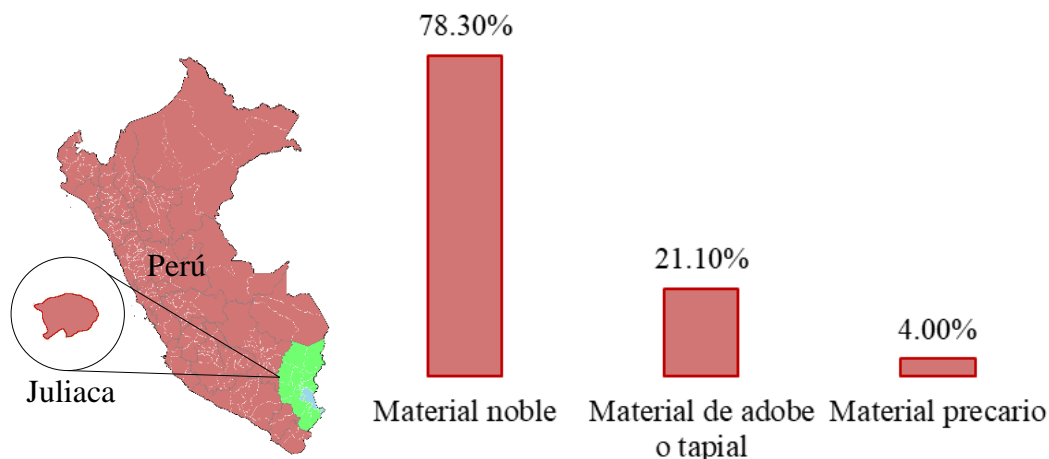


Figura 8. Tipo de material de las paredes en las viviendas de Juliaca.
Fuente: INEI, (2017).

La albañilería de ladrillos de arcilla confinada por elementos de concreto armado es considerado como “material noble” por los peruanos. El material noble es un sistema constructivo económico y es por lo tanto preferido para la construcción de viviendas en el Perú. Muchos pobladores peruanos no tienen la posibilidad de contratar profesionales y recurren a la construcción informal. La mayoría de estas viviendas tienen problemas graves y son sísmicamente vulnerables (Blondet et al., 2005).

3.5.1. Edificaciones por tipo de fabricación de albañilería y número de pisos

Para la clasificación de las edificaciones de albañilería confinada por el tipo de fabricación de las unidades ya sea industrial o artesanal y la clasificación por el número de pisos, se realizó una toma de datos sistemático, de acuerdo a la muestra calculada en la Sección 3.3.2., cuya ficha de reporte se encuentra en el Anexo C.

En la Figura 9 se observa los resultados de la muestra en porcentajes de la toma de datos realizado (Anexo C), de las edificaciones por el tipo de fabricación de la albañilería. Las edificaciones de albañilería artesanal tienen mayor porcentaje que las edificaciones de albañilería industrial, debido a que años atrás predominaba en el mercado local la albañilería artesanal; y la entrada al mercado local de la albañilería industrial es relativamente nueva.

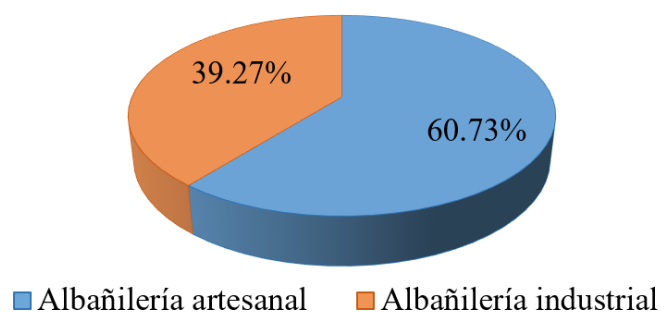


Figura 9. Edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca de acuerdo al tipo de fabricación de las unidades de albañilería.

En las Figuras 10 y 11 se observan los resultados de la muestra en porcentajes de la toma de datos realizado (Anexo C), sobre el número de pisos de las edificaciones de albañilería confinada. Donde se resalta que las edificaciones de dos y tres pisos predominan tanto en edificaciones de albañilería industrial y artesanal.

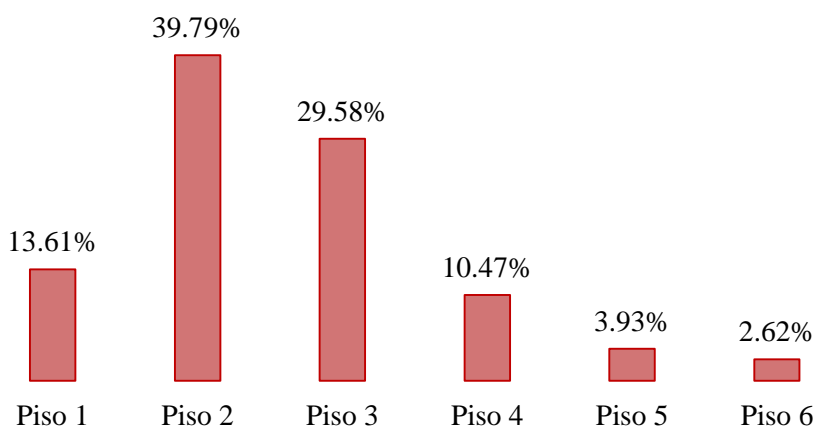


Figura 10. Edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca según el número de pisos.

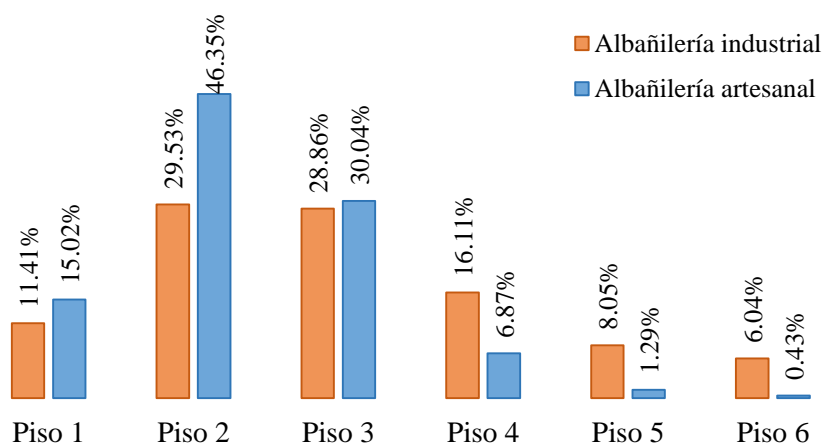


Figura 11. Edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca según el número de pisos y el tipo de fabricación de la albañilería.

3.5.2. Configuración en planta de las edificaciones

Para representar a las edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca, se ha planteado nueve modelos típicos, con diferentes dimensiones de cada uno de los elementos estructurales. En las Figuras 13, 16 y 19 se observan edificaciones de planta rectangular; en las Figuras 14, 17 y 20 se observan edificaciones de plantas más rectangulares debido a lotes de distancia corta en la dirección perpendicular a la vía de acceso y en las Figuras 15, 18 y 21 se observan edificaciones de plantas de forma cuadrada en planta.



Figura 12. Edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca.

El planteamiento de modelos típicos de edificaciones para la presente investigación obedece, a que otros investigadores realizaron encuestas donde plasmaron los planos de las edificaciones (e.g. Laucata (2013), Lovon (2017), Silva (2017)). En dichas investigaciones efectuadas en la ciudad de Trujillo, Lima y Cajamarca el área promedio de edificaciones oscila entre 95.00 m² y 115.00 m² y tienen pocos muros en la dirección perpendicular a la calle. Además, en las mismas investigaciones los autores indican que las dificultades para realizar las encuestas son la poca disposición de los propietarios de las viviendas a responder interrogantes, dejar medir los elementos estructurales de las edificaciones, propietarios que no se encuentran en sus viviendas y temor a que los investigadores sean trabajadores municipales que realizaran alguna intervención por alguna irregularidad.

De los modelos típicos de edificaciones planteadas se determinaron las variables requeridas para el cálculo de las curvas de capacidad. Las variables se muestran en las Tablas 8, 9 y 10 como resultados de los cálculos realizados (Anexo E).

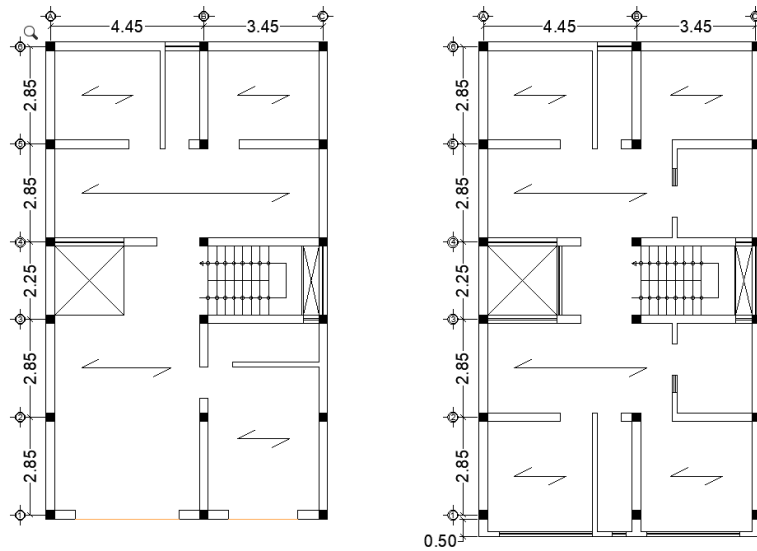


Figura 13. Primera configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

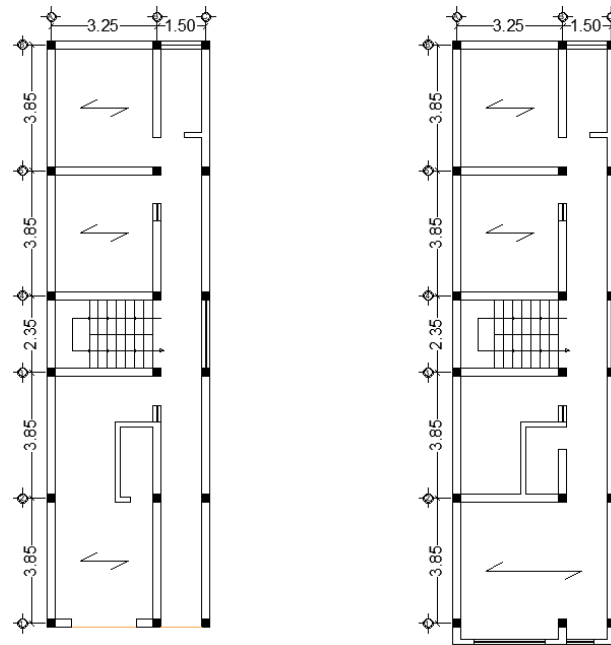


Figura 14. Segunda configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

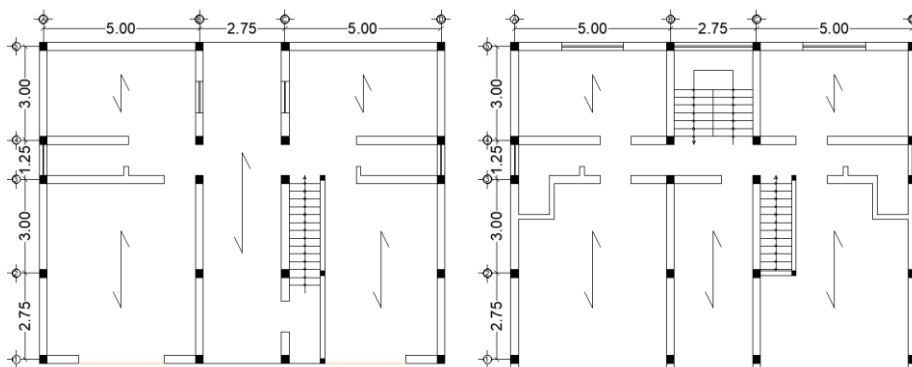


Figura 15. Tercera configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

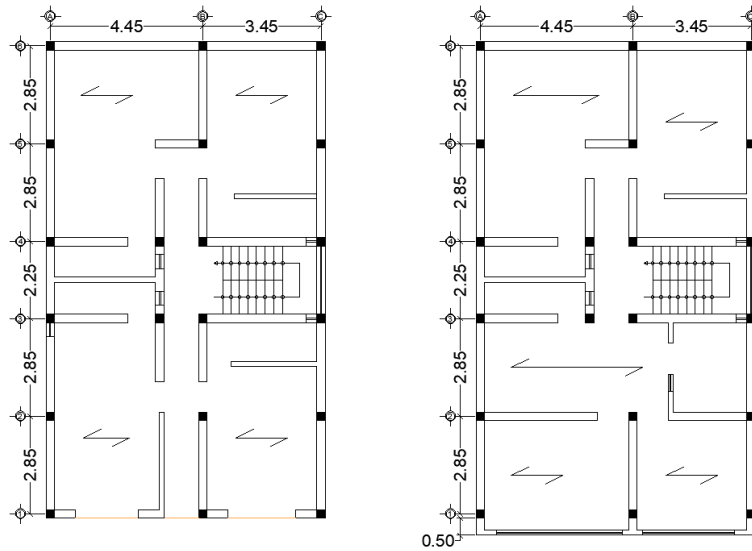


Figura 16. Cuarta configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

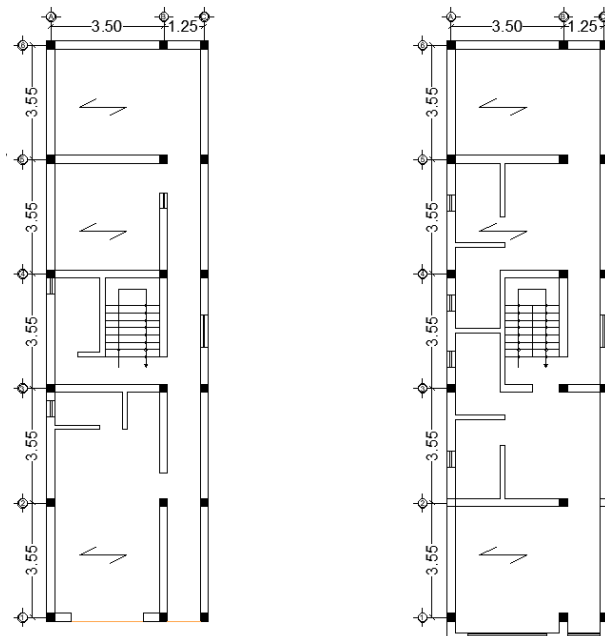


Figura 17. Quinta configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

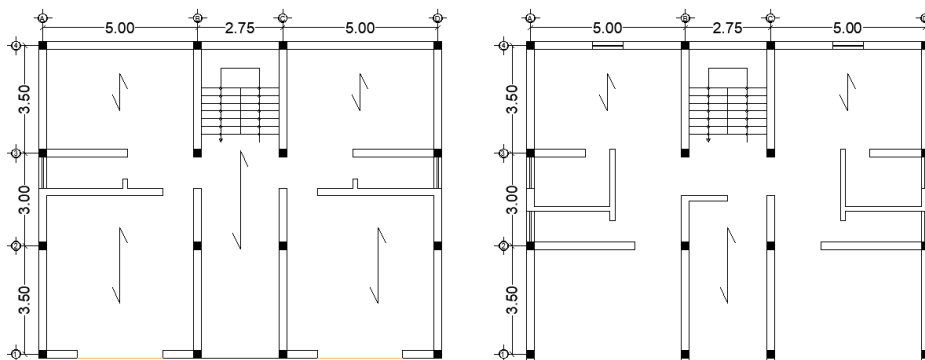


Figura 18. Sexta configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

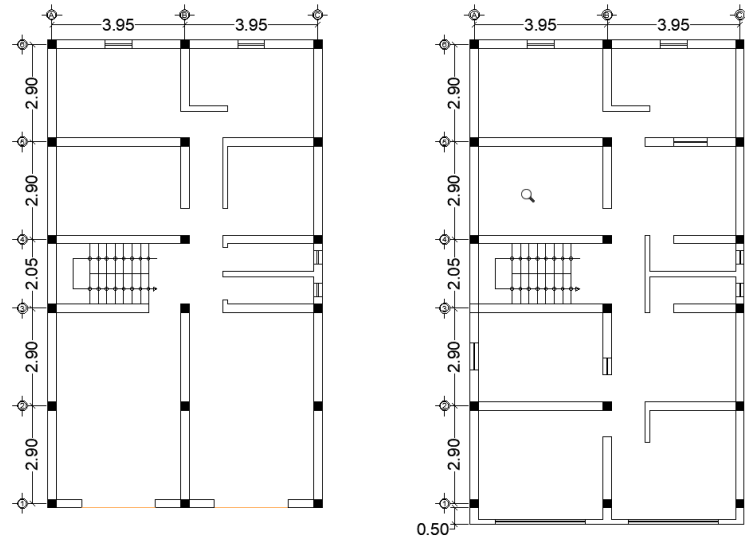


Figura 19. Octava configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

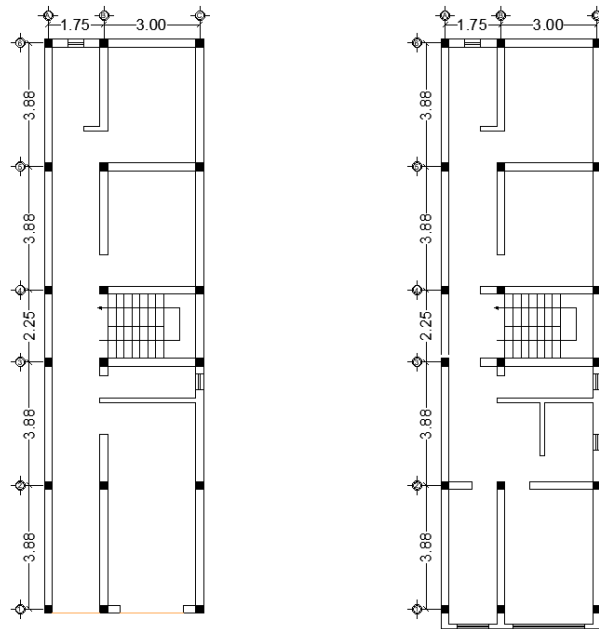


Figura 20. Novena configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

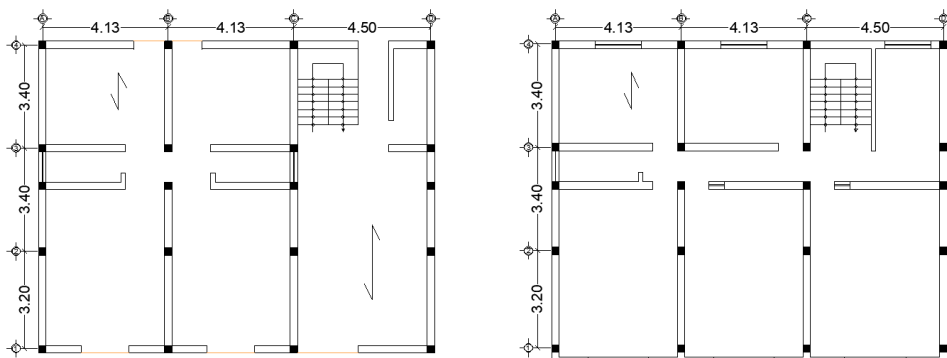


Figura 21. Décima configuración: primer piso (izquierda), segundo y tercer piso (derecha).

Tabla 8.

Variables de las edificaciones de albañilería confinado del primer piso.

Variable	Descripción	Unidad	Media	Desviación estándar
A_T	Área de construcción	m ²	112.18	18.75
h_i (m)	Altura	m	2.69	0.08
A_{i-d}	Área de corte confinada de pared x-x	m ²	1.90	0.35
	Área de corte confinada de pared y-y	m ²	4.35	1.01
	Área de corte parcialmente confinada de pared x-x	m ²	1.35	0.86
n_{i-d}	Área de corte parcialmente confinada de pared y-y	m ²	0.91	0.55
	Número de columnas de confinamiento x-x	NA	10	1
n_{i-d}	Número de columnas de confinamiento y-y	NA	17	2
	W_T	Peso de la edificación	kg	95873.41

Tabla 9.

Variables de las edificaciones de albañilería confinado del segundo piso.

Variable	Descripción	Unidad	Media	Desviación estándar
A_T	Área de construcción	m ²	112.18	18.75
h_i (m)	Altura	m	5.07	0.20
A_{i-d}	Área de corte confinada de pared x-x	m ²	1.76	0.88
	Área de corte confinada de pared y-y	m ²	4.60	0.84
	Área de corte parcialmente confinada de pared x-x	m ²	1.22	0.82
n_{i-d}	Área de corte parcialmente confinada de pared y-y	m ²	0.62	0.50
	Número de columnas de confinamiento x-x	NA	11	2
n_{i-d}	Número de columnas de confinamiento y-y	NA	17	2
	W_T	Peso de la edificación	kg	193191.57

Tabla 10.

Variables de las edificaciones de albañilería confinado del tercer piso.

Variable	Descripción	Unidad	Media	Desviación estándar
A_T	Área de construcción	m ²	112.18	18.75
h_i (m)	Altura	m	7.45	0.31
A_{i-d}	Área de corte confinada de pared x-x	m ²	1.76	0.88
	Área de corte confinada de pared y-y	m ²	4.60	0.84
	Área de corte parcialmente confinada de pared x-x	m ²	1.22	0.82
n_{i-d}	Área de corte parcialmente confinada de pared y-y	m ²	0.62	0.50
	Número de columnas de confinamiento x-x	NA	11	2
n_{i-d}	Número de columnas de confinamiento y-y	NA	17	2
	W_T	Peso de la edificación	kg	290509.72

3.6. Resistencia de albañilería confinada

Algunos estudios sobre la resistencia a carga lateral de albañilería confinada son: Tomažević y Klemenc (1997) investigan el comportamiento sísmico de dos modelos de estructura típica de albañilería confinada; Flores y Alcocer (2001) desarrollan un modelo histórico fuerza-distorsión para muros de albañilería confinada; Riahi, Elwood y Alcocer (2009) simulan el comportamiento sísmico de muros de albañilería confinada. En todos estos estudios llegan a definir la curva de capacidad analítica como una curva trilineal. Por lo tanto, Lovon (2017) adapta el método SP-BELA para el sistema de albañilería confinada ya que originalmente Borzi et al. (2008) empleó para edificaciones de albañilería no reforzada.

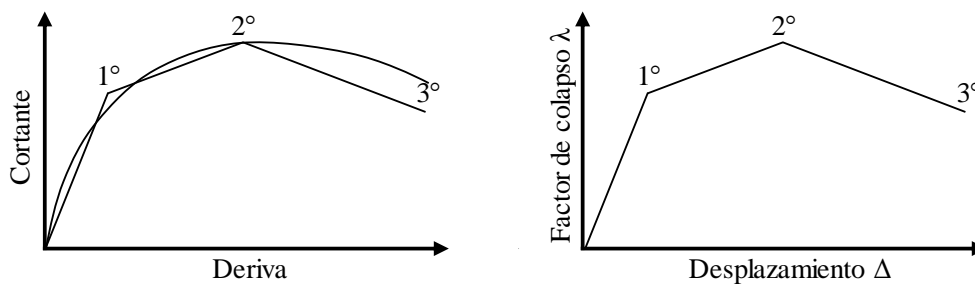


Figura 22. Curva de capacidad real y modelo trilineal para resistencia lateral de muros de albañilería confinada (izquierda), curva de capacidad analítica simplificada (derecha).

Fuente: Flores et al. (2001).

Los especímenes ensayados por Flores et al. (2001), fundamentan la curva de capacidad de albañilería confinada cuando se someten a ensayos de carga cíclica. La Figura 23 muestra el patrón de daño ante fuerzas horizontales.

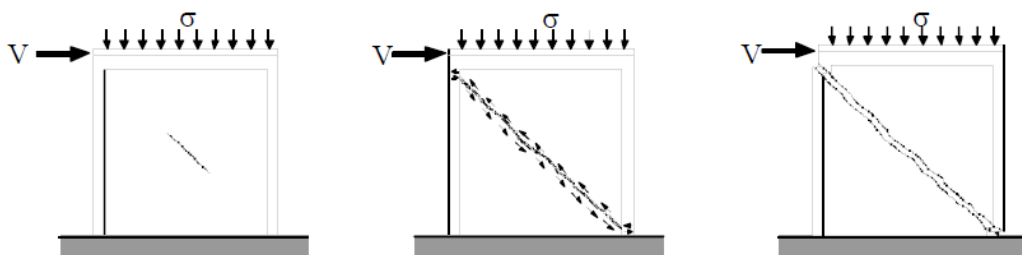


Figura 23. Patrón de daño ante fuerzas horizontales de carga cíclica.

Fuente: Flores et al., (2001).

Para calcular la curva de capacidad, las expresiones analíticas de resistencia lateral son modificadas ligeramente de acuerdo a pruebas experimentales. El primer punto de acuerdo al primer agrietamiento inclinado, el segundo de acuerdo a la contribución del confinamiento ambos propuestos por Flores et al. (2001) y el tercero es definido de acuerdo a la resistencia máxima recomendada en Tomažević et al. (1997).

Para estimar la capacidad de deriva máxima de los tres puntos de la curva se han adaptado de Astroza y Schmidt (2009). En dicha investigación se han estudiado muros de albañilería confinada bajo la acción de cargas cíclicas. En la investigación se propusieron cinco estados límite y sus respectivas derivas, así como se muestra en la Tabla 11.

Tabla 11.
Derivas de muros de albañilería confinada para cada estado límite.

Estado Límite	Deriva (%)
Servicio	0.02
Operacional	0.14
Daño controlado	0.25
Resistencia máxima	0.62
Último nominal	0.86

Nota: Fuente: Astroza et al. (2009). Capacidad de Deformación de Muros de Albañilería Confinada para Distintos Niveles de Desempeño. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 70, 59-75.

Al presentarse los estados asociados a la curva de capacidad de edificaciones de albañilería confinada solamente de tres puntos; estos corresponden primero a las derivas de estado operacional, segundo a la resistencia máxima y el tercero a la resistencia último nominal. Dichas derivas para estos estados límite se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12.
Deriva de muros de albañilería confinada para la curva de capacidad.

Punto de control	Deriva %
1°	0.14
2°	0.62
3°	0.86

Nota: Fuente: Astroza et al. (2009).

3.7. Capacidad estructural

Una curva de capacidad se define como la relación existente de la resistencia a la carga lateral de una estructura y su desplazamiento lateral característico. Usualmente la curva de capacidad se obtiene por medio de análisis estático no lineal o pushover. Este análisis se puede llevar a cabo aplicando un patrón de cargas laterales a la estructura, que represente las fuerzas sísmicas. El objetivo de este procedimiento es cuantificar la capacidad de la estructura para absorber una acción lateral (Barbat, 2007).

3.7.1. Mecanismo de colapso

El mecanismo de colapso describe el comportamiento secuencial de una estructura hasta antes de llegar a la falla. Priestley y Calvi (1991, 1997) proponen seguir los siguientes pasos con el fin de definir un mecanismo de colapso:

- Revisión de todos los posibles mecanismos de daño locales con un cálculo de la resistencia relativa de todos los elementos críticos para identificar posibles secuencias de eventos ante cargas sísmicas.
- Selección de mecanismo de respuesta no-lineal mediante la evaluación de rigidez equivalente, disipación de energía y capacidad de deformación.
- Definición de un modelo de un grado de libertad equivalente a la respuesta esperada real de la estructura.
- Comparación entre capacidad y demanda de desplazamiento tomando en cuenta la disipación de energía proveniente de desplazamientos inelásticos.

El enfoque de estimar vulnerabilidad sísmica a escala urbana clases de edificios a partir de la respuesta inelástica de una estructura mediante la asunción de un mecanismo de colapso fue propuesta y validada por Calvi (1999). Donde propuso la metodología para edificios de pórticos de concreto armado y edificios de albañilería no reforzada.

Los edificios de albañilería confinada presentan baja ductilidad. Su mecanismo de colapso corresponderá a modos de falla no dúctiles, mientras en muros se presentarán fallas por corte, el edificio en general presentará el mecanismo de piso blando. “Este mecanismo se debe a que la ductilidad de elementos verticales es mucho menor que la de los elementos horizontales, por lo que es de esperar que la falla se produzca primero en elementos verticales dando así lugar al mecanismo de daño concentrado” (Lovon, 2017, p.37).

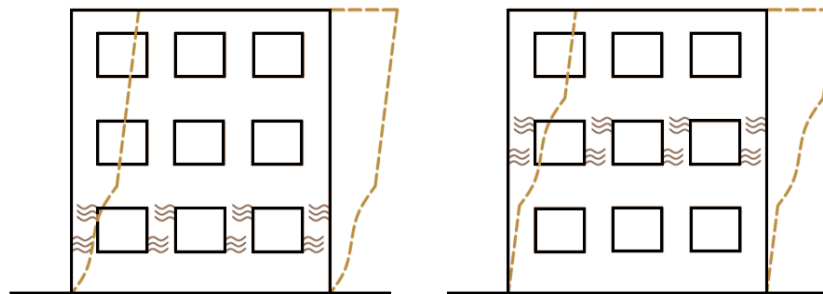


Figura 24. Mecanismo de daño concentrado.
Fuente: Lovon, (2017).

En función del mecanismo de daño concentrado es posible convertir el sistema de un grado único de libertad (SDOF), equivalente al sistema original multigrado de libertad (MDOF) en términos de masa, rigidez y capacidad de desplazamiento. El sistema MDOF tiene masas (m_i) que representan la masa de las losas del piso y la albañilería y está sujeta a fuerzas laterales (F_i), que para edificios de albañilería con menos de cinco pisos (límite superior como consecuencia de los límites estructurales en términos de capacidad de carga del material), se puede suponer linealmente distribuidos a lo largo de la altura del edificio.

Para definir la capacidad de desplazamiento del sistema SDOF, según Calvi (1999) se supone una forma deformada para cada condición de estado límite, dentro del rango elástico, se considera una forma deformada lineal, mientras que para los estados límite posteriores al rendimiento, se predice un mecanismo de piso blando. Por lo tanto se supone que el daño se concentrará dentro de una cierta altura (h_p) como se muestra en la Figura 25.

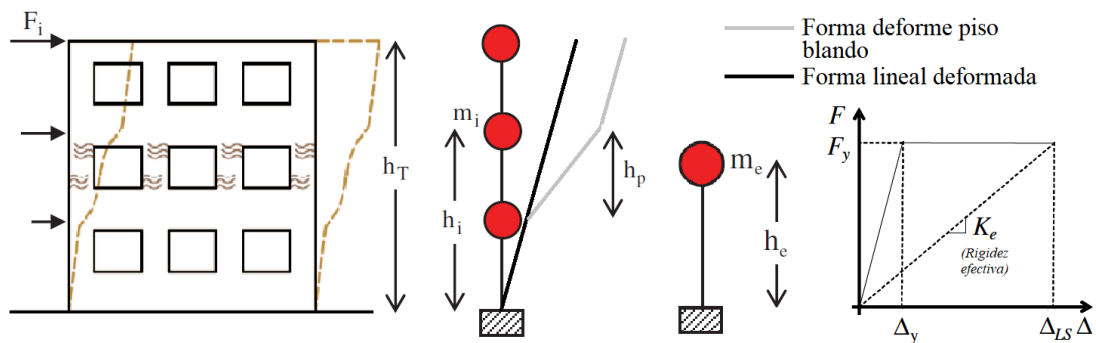


Figura 25. Sistema equivalente de varios grados de libertad (MDOF) y de un grado de libertad (SDOF).

Fuente: Restrepo-Velez et al. (2004).

Las edificaciones de albañilería confinada presentan losas aligeradas como entrepiso o techo. Estas losas cumplen la función de distribuir las deformaciones, que ocurren debido a la aplicación de cargas vivas, muertas y otras en los muros confinados. Así la resistencia de las edificaciones de albañilería confinada está en función de la densidad y la resistencia de los muros confinados. El confinamiento de muros en su contorno, hace que se descarte la falla fuera del plano; en contraste a los pórticos de concreto armado donde los muros son rellenos luego de construir las columnas y vigas.

3.7.2. Factor de colapso

El factor de colapso se define como la relación existente entre la fuerza de resistencia lateral y el peso del edificio. El factor de colapso en edificaciones de albañilería confinada se emplea para cuantificar la resistencia lateral y el peso del edificio.

Los muros de albañilería confinada usualmente no llevan refuerzo horizontal en el panel, debido a carencia de asesoramiento técnico. Para estos muros Flores et al. (2001) han propuesto una formulación analítica para cada punto de curva idealizada. Para el primer punto se considera que la resistencia del muro está dada únicamente por la resistencia de la albañilería al primer agrietamiento calculada mediante el criterio de Mohr-Coulomb:

$$F_1 = \left[0.5\tau + 0.3 * \frac{P}{A_T} \right] * A_T \quad (7)$$

dónde F_1 es el cortante para el primer punto, τ es la resistencia característica a tracción diagonal de muretes de albañilería, P es la fuerza normal actuante sobre el muro de albañilería, A_T es el área del muro de albañilería incluyendo columnas de confinamiento.

Para el segundo punto, el cálculo de resistencia a corte máxima alcanza después de que se ha generalizado el agrietamiento inclinado. Para esto Flores et al. (2001) propuso considerar la resistencia al corte de las columnas de confinamiento y la contribución de la albañilería agrietada. Entonces se puede considerar en conjunto: la resistencia a tensión diagonal de la albañilería más el concreto de las columnas y la acción de dovela del acero longitudinal de las columnas. Mediante calibración de resultados experimentales se asignó a la acción de dovela un factor de eficiencia $\beta = 0.3$. La resistencia máxima se puede expresar de la siguiente manera:

$$F_2 = F_1 + \beta * \left[1.26 * d_b^2 * \sqrt{f'_c * f_y} \right] \quad (8)$$

dónde F_2 es el cortante máximo, β factor de eficiencia, d_b diámetro de barras de refuerzo, f'_c resistencia a la compresión del concreto y f_y resistencia a la fluencia del acero.

El tercer punto de la curva analítica, la resistencia última según Tomažević (1999) se calcula como el 80% de la resistencia máxima F_2 .

$$F_3 = 0.8 * F_2 \quad (9)$$

Benedetti y Petrini (1984) propusieron cuantificar la resistencia de los edificios de albañilería mediante el factor de colapso, que es la relación de la fuerza lateral que una edificación puede resistir y su peso. Se calcularon dos factores de colapso en cada piso de análisis, uno en la dirección x-x y otro en la dirección y-y. El menor factor de colapso de todos los pisos de la edificación en cada dirección representará el comportamiento de la estructura.

La formulación para calcular el factor de colapso de viviendas de albañilería confinada, ha sido adaptado por Lovon (2017), sustituyendo la resistencia de los muros de albañilería sin reforzar por la resistencia de los muros de albañilería confinada:

$$\lambda_{i-d-1} = \frac{1}{W_T \frac{\sum_{k=1}^n h_k W_k}{\sum_{j=1}^n h_j W_j}} A_{i-d} \left[0.5\tau + 0.3 * \frac{\sum_{k=1}^n W_k}{A_i * (1 + \gamma_{AB})} \right] \quad (10)$$

$$\lambda_{i-d-2} = \lambda_{i-d-1} + \frac{1}{W_T \frac{\sum_{k=1}^n h_k W_k}{\sum_{j=1}^n h_j W_j}} * \beta * \left[1.26 * d_b^2 * \sqrt{f'_c * f_y} \right] * n_{i-d} \quad (11)$$

$$\lambda_{i-d-3} = 0.8 * \lambda_{i-d-2} \quad (12)$$

donde λ_{i-d-n} es el multiplicador de colapso en la dirección- d en el entrepiso- i para el punto de control- n (1° , 2° y 3°), W_T es el peso total del edificio (kg), W_i es el peso del entrepiso- i calculado como el peso por unidad de área y el área total del edificio, h_i es la altura del entrepiso- i (m), A_{i-d} es el área total de la pared de corte en el entrepiso- i en la dirección- d (en m^2), τ es la resistencia a la compresión diagonal de la mampostería (kg/cm^2), γ_{AB} es la relación entre A_{i-d} y B_{i-d} con B_{i-d} siendo el área máxima entre el área de muros de cortante en la dirección cargada y en la dirección ortogonal, β es el factor de eficiencia relacionado con las columnas de confinamiento (0.3), n_{i-d} es el número total de columnas en la dirección cargada en el piso- i , d_b es el diámetro de las barras de refuerzo, f'_c es la resistencia a la compresión del concreto (kg/cm^2), y f_y es la resistencia a la fluencia del acero de refuerzo (kg/cm^2).

Los muros con abertura mayor del 25% han sido considerados en el cálculo del área de muros de corte alterados por un factor de reducción. Fueron considerados como un factor de reducción, calculado en función de los estudios de muros de albañilería confinada con aberturas bajo cargas cíclicas realizados por Yáñez, Astroza, Holmberg y Ogaz (2004). Los resultados para diferentes tipos de abertura se muestran en la Figura 26, en dichos muros la ductilidad no se afecta de manera considerable por las aberturas, mientras que la resistencia se ve afectada en gran medida. La relación media encontrada entre los muros sin aberturas y los muros con aberturas es de 0.45 que luego se empleó como factor de reducción.

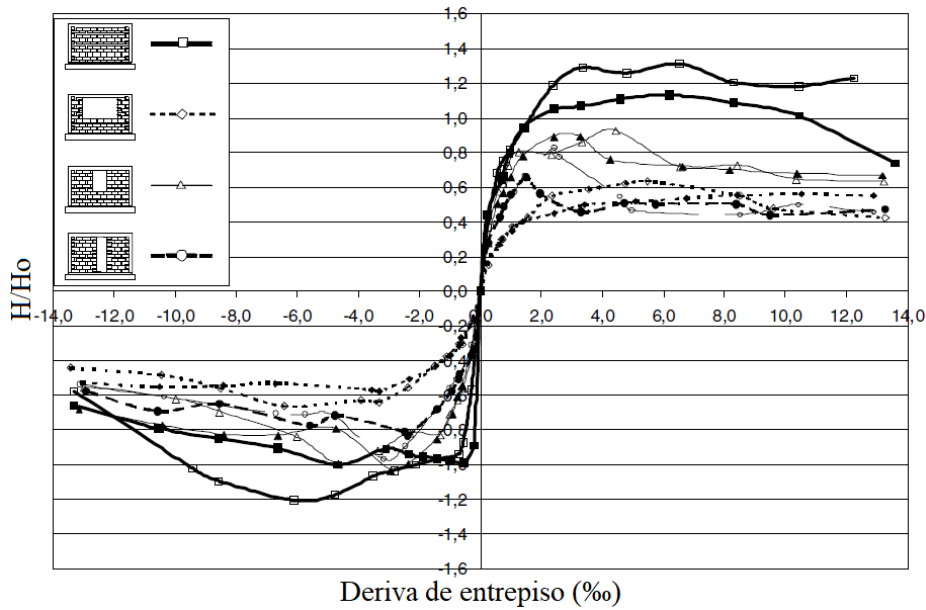


Figura 26. Envolvente de muros de albañilería confinada con aberturas.
Fuente: Yáñez et al., (2004).

3.7.3. Capacidad de desplazamiento

Considerando el mecanismo de daño concentrado y asumiendo la forma deformada de la Figura 22, se muestra la deformada en el rango lineal y no lineal. La forma lineal describe el desempeño de la estructura a lo largo de su altura. La capacidad de desplazamiento de SDOF en el límite elástico para el primer punto está dado por:

$$\Delta_y = k_1 h_T \delta_y \quad (13)$$

dónde h_T es la altura total del sistema de varios grados de libertad, k_1 es la relación entre altura total del sistema de varios grados de libertad (MDOF) y el sistema de un grado de libertad (SDOF) en el rango elástico, δ_y es la deriva máxima de entrepiso para comportamiento elástico.

Para calcular la capacidad de desplazamiento en el segundo y tercer punto, donde la estructura ingresa en el rango no lineal. La deformación puede representarse por la deformación elástica más la deformación no lineal del piso más débil:

$$\Delta_i = k_1 h_T \delta_y + k_2 (\delta_{CPn} - \delta_y) h_s \quad (14)$$

dónde k_2 es la relación entre la altura total del MDOF y el SDOF en el rango inelástico, h_s es la altura del entrepiso más débil (Definido como el piso con el menor factor de colapso), δ_{CPn} es la distorsión del punto de control n . Los valores de deriva asociados a los tres puntos están indicados en la Tabla 12.

Los valores de los factores k_1 y k_2 han sido propuestos por Restrepo-Velez (2003). Estos factores fueron calculados a través de un modelo dinámico simplificado. Para una distribución regular de masas y una altura uniforme k_1 es igual a 0.667, pero cuando la distribución de masas es irregular, como es común en edificaciones de albañilería, los edificios están mejor representados por la masa distribuida que representan las paredes de albañilería más las masas agrupadas que corresponden a los niveles de cada entrepiso. En este caso, k_1 y k_2 deben tener en cuenta la diferente distribución de masa.

Tabla 13.
Factores k_1 y k_2 según el número de pisos.

Número de pisos	k_1	k_2
1	0.790	0.967
2	0.718	0.950
3	0.698	0.918

Nota: Fuente: Restrepo-Velez L. F. (2003). *A simplified mechanics-based procedure for the seismic risk assessment of unreinforced masonry buildings*. Individual Study, Pavia, Italy: ROSE School.

Todos estos parámetros definen la curva de capacidad de las edificaciones de albañilería confinada, que se muestra esquemáticamente en la Figura 27. Sin embargo, para posteriormente emplearlo en la determinación de los estados límites de daño (LS), el desplazamiento estructural debe ser dado en términos de periodo.

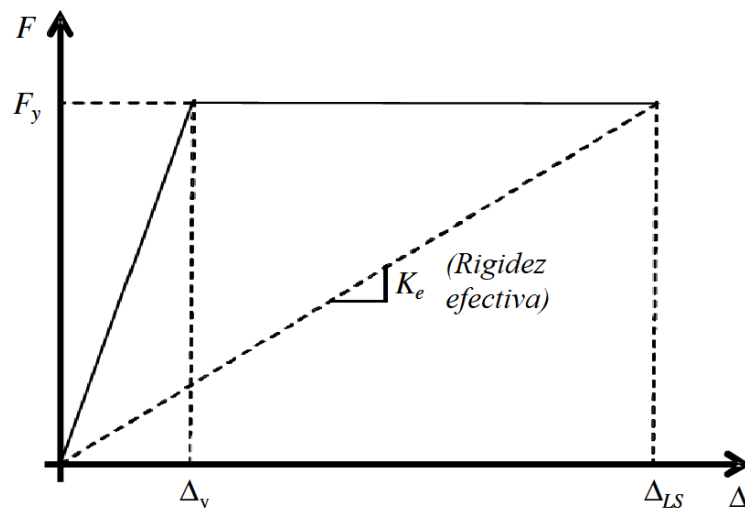


Figura 27. Esquema de la curva de capacidad para el análisis de edificios de albañilería confinada.

Fuente: Borzi et al., (2008).

3.7.4. Capacidad estructural de edificaciones en estudio

Para el cálculo de las curvas de capacidad de las edificaciones típicas planteadas en la investigación, se utilizaron las ecuaciones de la Sección 3.7.2. que representan el factor de colapso y las ecuaciones de la Sección 3.7.3 que representan el desplazamiento.

En las Figuras 28 y 29 se presentan como ejemplo las curvas de capacidad del primer modelo de configuración en planta (ver Figura 13) como una edificación de *albañilería industrial* confinada de dos y tres pisos. En dichas curvas se observa que el mecanismo de falla se presenta en el primer nivel y la dirección x-x (1-x), debido a que en dicho nivel concentra la mayor carga y la dirección x-x presenta menor cantidad de muros de corte.

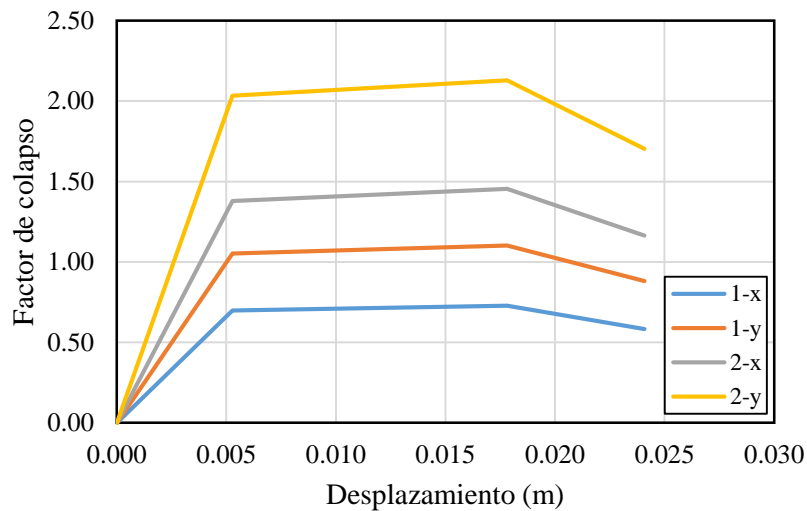


Figura 28. Curvas de capacidad para una edificación de dos pisos con unidades de albañilería de fabricación industrial.

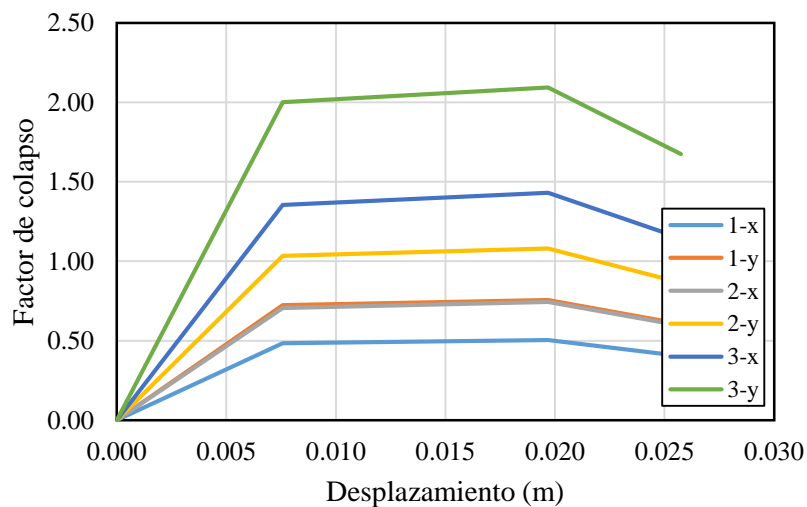


Figura 29. Curvas de capacidad para una edificación de tres pisos con unidades de albañilería de fabricación industrial.

En las Figuras 30 y 31 se presentan como ejemplo las curvas de capacidad del segundo modelo de configuración en planta (ver Figura 14) como una edificación de *albañilería artesanal* confinada de dos y tres pisos. En dichas se observa que el mecanismo de falla también se presenta en el nivel inferior y la dirección x-x (1-x), dado que dicho nivel concentra la mayor carga y la dirección x-x presenta menor cantidad de muros de corte.

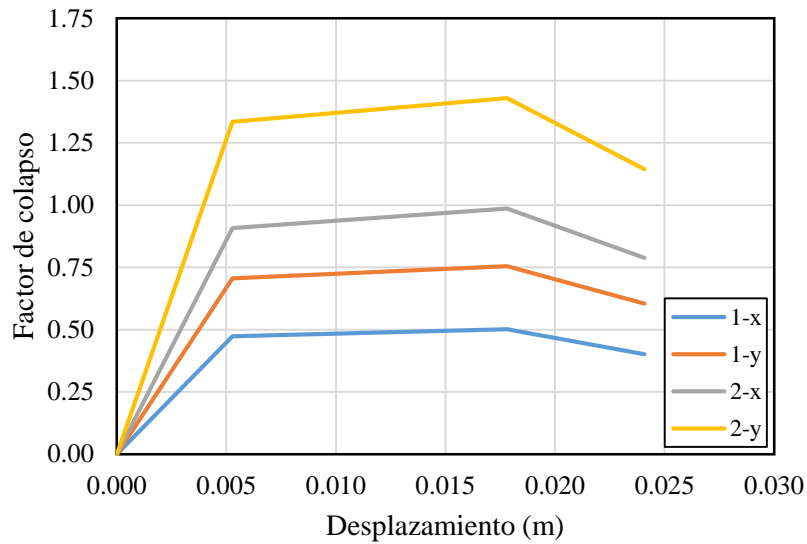


Figura 30. Curvas de capacidad para una edificación de dos pisos con unidades de albañilería de fabricación artesanal.

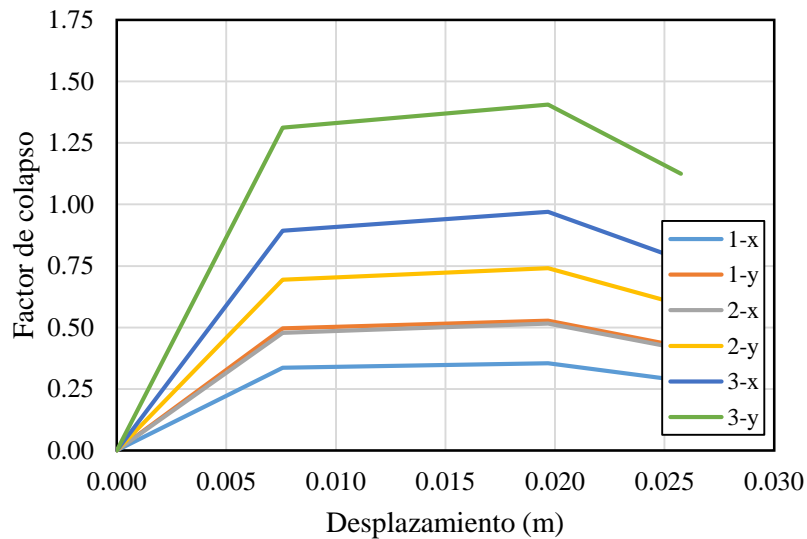


Figura 31. Curvas de capacidad para una edificación de tres pisos con unidades de albañilería de fabricación artesanal.

3.8. Simulación de Montecarlo

Se empleó la simulación de Montecarlo para tener una población de viviendas representativa de la población en estudio, de acuerdo a los modelos de edificaciones típicas planteadas. La simulación permitió valorar la incertidumbre en la capacidad estructural de las edificaciones, de acuerdo a las características de los materiales (resistencia al corte de muretes) y las características estructurales de las mismas edificaciones (Sección 3.5.2.).

La población sintética de edificaciones se generó según toma de datos efectuado a partir de una muestra (Figura 11). De acuerdo a dichos resultados se generaron 44 edificaciones de albañilería industrial confinado de dos pisos, 43 edificaciones de albañilería industrial confinada de tres pisos, 108 edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos pisos y 70 edificaciones de albañilería artesanal confinada de tres pisos.

Para evitar generar valores poco probables, se truncaron las funciones de probabilidad en ambos extremos, asumiendo una curva de distribución normal, de manera que el porcentaje de datos dentro de la función de probabilidad es del 95%.

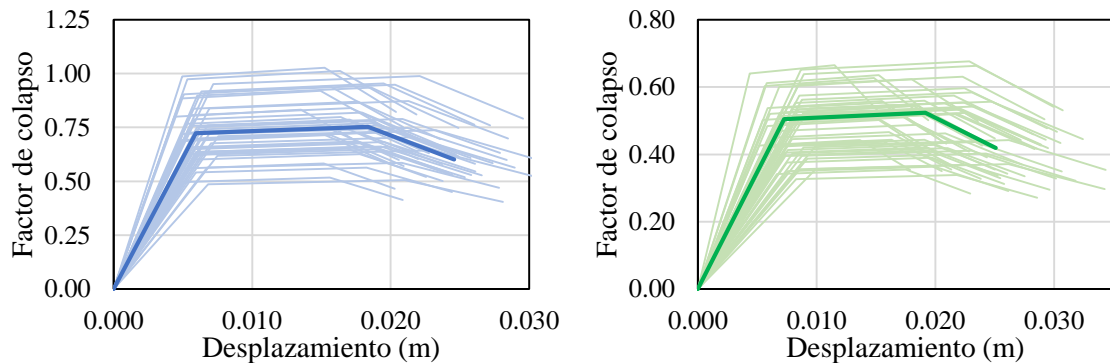


Figura 32. Población de las curvas de capacidad de edificaciones de albañilería industrial confinada, dos pisos (izquierda) y tres pisos (derecha). (Elaboración propia)

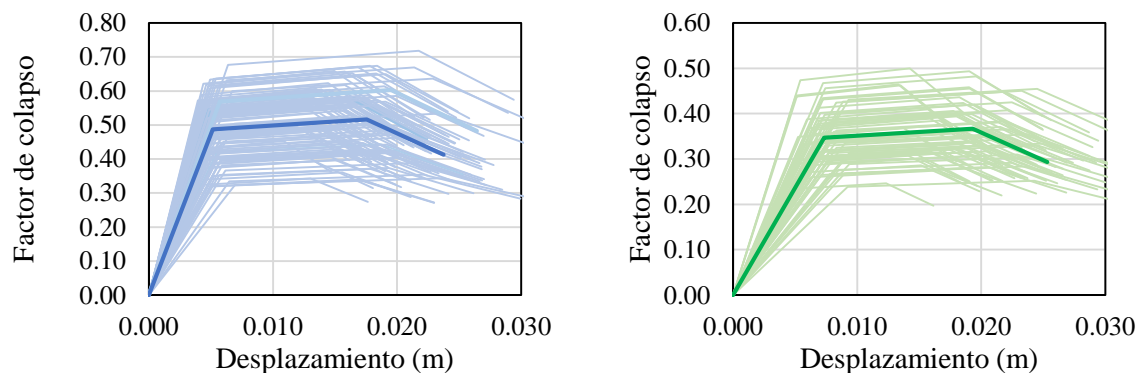


Figura 33. Población de las curvas de capacidad de edificaciones de albañilería artesanal confinada, dos pisos (izquierda) y tres pisos (derecha). (Elaboración propia)

3.9. Estados de daño

Al aplicarse cargas laterales a las edificaciones, sufren al pasar de la posición elástica a la posición inelástica. De acuerdo a FEMA P-58 (2012) el daño a los edificios ocurre como un continuo, con el alcance y la extensión de daño que aumenta a medida que también aumenta la demanda. Entonces el daño se caracteriza como una serie de estados de daño discretos. Cada estado de daño está asociado con un conjunto de consecuencias como son:

- Una acción de reparación probable única, con el costo de reparación asociado y las consecuencias del tiempo de reparación;
- Un potencial único para la rotulación insegura;
- Un efecto potencial único en el número de víctimas; o cualquier combinación de las anteriores.

D'Ayala et al. (2015), en un reporte técnico realizado para Global Earthquake Model sugiere cinco estados de daño estructural como se muestra en la Figura 34. Estos estados de daño en edificaciones de albañilería, según Tomažević (1999) son:

- Estado sin daño, presenta daños leves despreciables (sin daños estructurales) grietas finas en muy pocas paredes.
- Estado de daño leve, presenta daño moderado (daños estructurales leves y no estructurales moderados) grietas en muchas paredes.
- Estado de daño moderado, presenta daño sustancial (daño estructural moderado y no estructural intenso) grietas grandes y extensas en la mayoría de paredes.
- Estado de daño extensivo, presenta daño muy fuerte (daño estructural pesado y no estructural muy pesado) falla grave de las paredes.
- Estado de daño completo, (daño estructural muy pesado) colapso total o casi total.

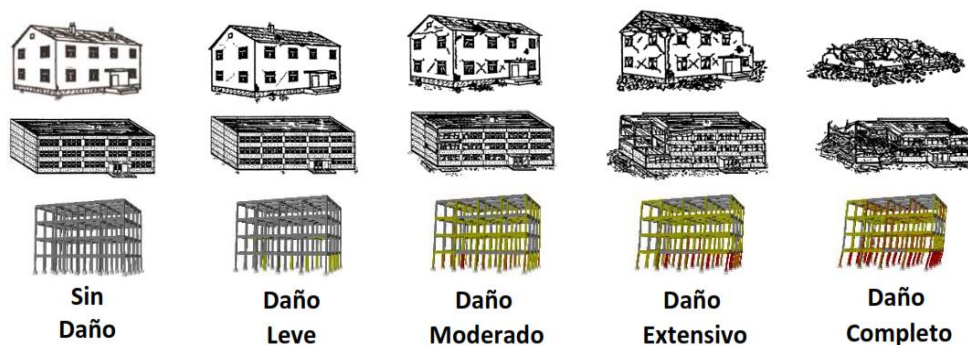


Figura 34. Definición de diferentes estados de daño.

Fuente: D'Ayala et al. (2015).

Los cinco estados de daño son limitados con los siguientes cuatro umbrales de daño:

- Límite de daño leve: es el límite de comportamiento elástico de los componentes.
- Límite de daño moderado: corresponde a la capacidad de carga lateral máxima más allá de la cual la estructura pierde parte de su resistencia o deformación fija a una velocidad constante de carga.
- Límite de daño extensivo: es el nivel máximo de deformación controlada para el cual se establece un valor determinado de ductilidad. Hasta ese punto, la estructura puede mantener su capacidad de carga por gravedad sin colapsar.
- Límite de daño completo: corresponde al umbral a partir del cual no se asegura la estabilidad de la estructura.

Los límites de estados de daño (LS) se definieron de acuerdo a la propuesta de Lagomarsino y Giovinazzi (2006). Dichos autores sugirieron estados límite en función de los puntos notables de la curva de capacidad y se puede corroborar en la Figura 22.

Vale notar que, diferente a la curva de capacidad simplificado, se presenta un comportamiento no lineal antes de que se alcance el límite elástico, en este punto se produce un daño leve. Por esta razón el primer estado límite es $0.7 \Delta_1$. Idéntico a esto según Lovon (2017), previo a la resistencia máxima se produciría un estado intermedio entre el daño leve y moderado, donde la mayoría de los elementos se encuentran en el comportamiento inelástico, pero no muchos fallan. Este segundo estado límite es $1.5 \Delta_1$.

Se produce daño extensivo cuando se presenta el desplazamiento para el corte máximo en la base (Δ_2). Finalmente, el daño completo se define en el último punto de control (Δ_3). Los umbrales para cada estado de daño se ilustran en la Figura 35.

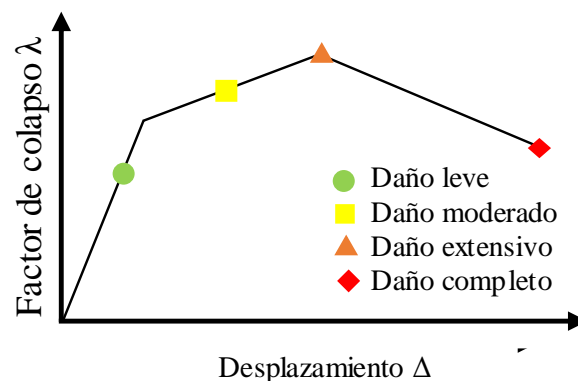


Figura 35. Estados de daño asociados al umbral de daño en la curva de capacidad.

Fuente: Lovon, (2017).

3.10. Definición de la acción sísmica

3.10.1. Peligro sísmico

Para la presente investigación, se consideró que las edificaciones tienen un tiempo de vida útil mucho menor que el tiempo de recurrencia de grandes sismos. Razón por la cual se empleó el método probabilístico como el instrumento de análisis.

En la investigación, para representar la acción sísmica de la zona de estudio se utilizaron los espectros de peligro sísmico uniforme elaborados por el Servicio Nacional de la Industria de la Construcción (SENCICO, 2016).

3.10.2. Fundamentos de la estimación del peligro sísmico

Bolaños y Monroy (2004) expresan que los modelos estadísticos permiten predecir la ocurrencia de eventos sísmicos con cierta precisión bajo la información. Algunos métodos conocidos son: Markov y Poisson. El primero difiere del segundo en que su predicción está dependiente de eventos sísmicos ocurridos antes. El segundo asume que los terremotos son espacial y temporalmente independientes, y dos eventos sísmicos no pueden ocurrir en el mismo lugar ni el mismo instante. A esta probabilidad se pone un valor cero.

El modelo Poisson se ajusta a la predicción de eventos sísmicos de gran magnitud que son los de mayor interés para los investigadores. La ecuación de Poisson es la siguiente:

$$P_n(t) = \frac{e^{-\lambda t} (\lambda t)^n}{n!} \quad (15)$$

dónde $P_n(t)$ es la probabilidad de que existan eventos sísmicos en un periodo t , n es el número de eventos y λ es la tasa anual de excedencia.

Un evento sísmico puede ocurrir de forma aleatoria, razón por la cual la teoría de probabilidades es aplicable para analizar la posibilidad de su ocurrencia. Bajo la aplicación de esta teoría se puede demostrar que si la ocurrencia de un evento sísmico A depende de la ocurrencia de otros eventos: E_1, E_2, \dots, E_n , que no depende uno del otro y que en conjunto forman un todo; permitirá estimar que la probabilidad de ocurrencia del evento A este dada por la siguiente formulación:

$$P(A) = \sum_i^n P(A/E_i) \cdot P(E_i) \quad (16)$$

dónde A es la probabilidad condicional de que A ocurra, dado que E_i ocurra.

La intensidad (I) de un sismo de un determinado lugar puede considerarse dependiente del tamaño del sismo (i.e., magnitud o intensidad epicentral) y la distancia al lugar de interés. Si se asume el tamaño del sismo (S) y su localización (R), son definidas por funciones de densidad de probabilidad, $f_S(s)$ y $f_R(r)$. Entonces el peligro sísmico está definido por la probabilidad que la intensidad sísmica I sea igual o mayor que una intensidad dada.

$$P(A \geq a) = \iint P[A/s, r] f_S(s) f_R(r) ds dr \quad (17)$$

3.10.3. Data sísmica

Fue elaborado por Sencico, que recurrió al catálogo sísmico para el Perú, un compilado de catálogos del Instituto Geofísico del Perú (IGP), del International Seismological Centre (ISC), del National Earthquake Information Center (NEIC), del National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), y del Global Centroid Moment Tensor (Global CMT); actualizado hasta el primero de enero de 2016. El catálogo sísmico fue analizado gráfica y estadísticamente considerando tiempo, profundidad y magnitud de eventos sísmicos registrados en el área de estudio. Los datos son homogenizados, depurados y los duplicados son eliminados.

3.10.4. Distribución Espacial Sísmica

La sismicidad con foco a profundidad superficial se localiza en la zona oceánica, dirección paralela a la línea de costa, produciendo terremotos de magnitud elevada y relativa frecuencia, donde los terremotos son producidos por la subsidencia del escudo brasileño bajo la Cordillera Andina. La mayor parte de estos sismos se localizan en la zona de transición entre Cordillera Oriental y el margen occidental de la zona Subandina ($3^\circ - 13^\circ\text{S}$). En esta zona altiplánico existen sismos superficiales menos numerosos y más dispersos. Existen zonas de bajo índice de sismicidad entre la línea de costa, la Cordillera Occidental ($4^\circ\text{S}-13^\circ\text{S}$) y la región Sur del Perú ($13^\circ\text{S}-16^\circ\text{S}$), en estas zonas la deformación cortical probablemente es menor o existen períodos mayores de recurrencia para grandes sismos.

La sismicidad con foco a profundidad intermedia ($60 < h \leq 350$) se distribuye de manera irregular y se define en cinco secciones (Figura 36). La primera se localiza pegada a la zona norte del Perú y se caracteriza por terremotos frecuentes de magnitud elevada. La segunda se localiza en el interior en la zona norte y centro, se caracteriza por presentarse en la zona continental y cercana a la costa dejando un relativo vacío en la zona central. Desde la tercera sección al centro se aprecia un pequeño incremento de densidad de sismos, aunque

aún muy disperso. La cuarta y quinta sección, al sur del Perú, son la de mayor índice de sismicidad. En las tres secciones iniciales los sismos alcanzan profundidades de 100 – 120 km; en las dos últimas profundidades máximas de 300 km. La actividad sísmica más profunda ($h > 350$ km) se localiza al Centro y Sur del Llano Amazónico; esta actividad es mayor en la región central ($6^\circ - 11^\circ\text{S}$) y se alinea en dirección N-S cubriendo un área aproximada de 500 km de longitud (borde Perú-Brasil); y en el sur es menos numeroso y más dispersa (borde Perú Bolivia).

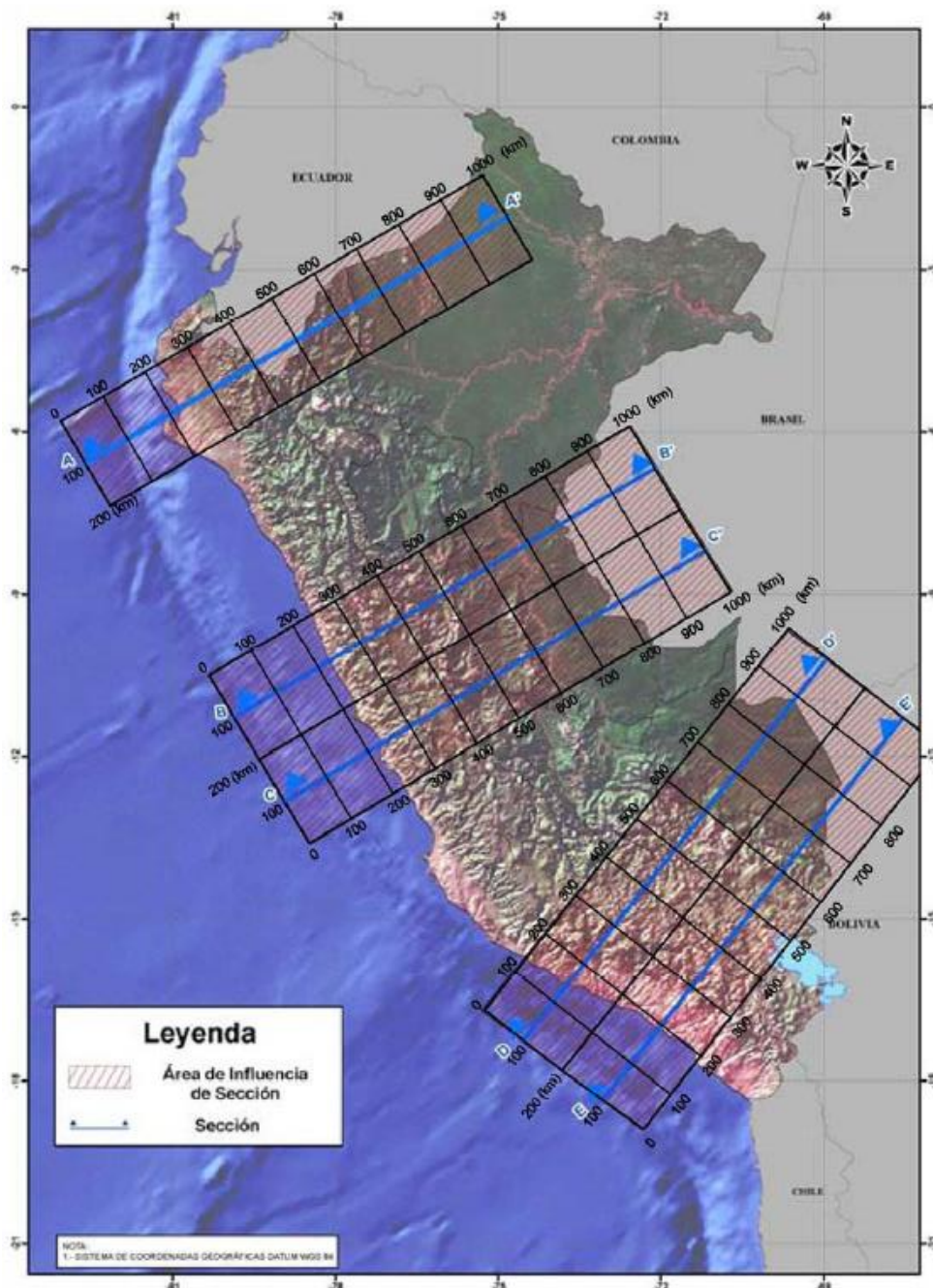


Figura 36. Sismicidad para el Perú, periodo 1963 - 2015, Mw (magnitud de momento) > 4. (SENCICO, 2016)

3.10.5. Fuentes sismogénicas

Las fuentes sismogénicas están basados en el mapa de distribución de epicentros y las características tectónicas. La sismicidad en el Perú es el resultado de la interacción de placas de Nazca y Sudamericana y los reajustes tectónicos del aparato andino. Las fuentes continentales y de subducción modelan la interacción de las placas Sudamericana y Nazca. Las fuentes corticales o continentales están relacionados con la actividad sísmica superficial andina. La determinación de estas fuentes se basa en conceptos regionales de sismotectónica, y el aporte de las fuentes sismogénicas locales es un problema, ya que no existen metodologías exactas para darle solución, por falta de información reciente no admite estudios de recurrencia y no puede incluirse en un método probabilístico. Las ecuaciones de atenuación son inaplicables para representar la atenuación de aceleraciones en el campo realmente cercano, correspondiente a la distancia puramente local y el sitio de interés.

SENCICO (2016) considera fuentes sismogénicas regionales para la evaluación de la peligrosidad sísmica y utilizó veintinueve fuentes sismogénicas de subducción, donde se han diferenciado los mecanismos de interfase (Tabla 14) y la de intraplaca superficial e intermedias (Tabla 15). Así mismo utilizó nueve fuentes sísmicas continentales (Tabla 16).

Tabla 14.
Coordenadas geográficas de las fuentes de interfase.

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (Km)	Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (Km)
	Longitud	Latitud (°S)			Longitud	Latitud (°S)	
F1	-79.928	-1.314	50	F3	-79.267	-7.740	60
F1	-79.697	-2.447	50	F4	-75.800	-15.800	25
F1	-81.742	-2.217	25	F4	-74.360	-16.880	25
F1	-81.670	-1.163	25	F4	-73.430	-16.039	65
F1	-80.380	2.110	25	F4	-75.834	-13.548	65
F1	-78.778	1.666	50	F4	-77.155	-14.392	25
F2	-81.851	-3.458	25	F5	-73.430	-16.039	70
F2	-82.054	-5.322	25	F5	-74.360	-16.880	30
F2	-80.991	-8.528	25	F5	-72.727	-18.100	30
F2	-79.267	-7.740	50	F5	-71.602	-19.101	30
F2	-80.368	-5.595	50	F5	-70.517	-18.082	75
F2	-79.699	-2.439	50	F6	-71.602	-19.101	30
F2	-81.236	-2.274	25	F6	-71.334	-19.475	30
F3	-80.991	-8.528	25	F6	-71.377	-22.999	50
F3	-80.022	-10.322	25	F6	-69.266	-22.999	85
F3	-77.184	-14.412	25	F6	-69.623	-20.786	75
F3	-75.856	-13.563	60	F6	-69.900	-18.564	70
F3	-77.824	-10.464	60				

Nota: Fuente: SENCICO. (2016).

Tabla 15.
Coordenadas geográficas de las fuentes de intraplaca.

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (Km)	Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (Km)
	Longitud	Latitud (°S)			Longitud	Latitud (°S)	
F7	-79.033	-2.129	125	F13	-75.255	-2.911	150
F7	-76.989	0.998	125	F14	-76.441	-10.831	130
F7	-79.222	1.809	50	F14	-74.775	-12.871	120
F7	-80.031	0.162	50	F14	-73.794	-12.219	130
F7	-80.600	-1.400	50	F14	-76.472	-8.763	130
F8	-81.334	-3.969	50	F14	-77.474	-6.920	120
F8	-80.840	-5.926	50	F14	-78.423	-7.352	120
F8	-79.881	-8.015	50	F15	-75.116	-10.513	145
F8	-77.474	-6.920	120	F15	-73.794	-12.219	130
F8	-78.667	-4.725	120	F15	-72.577	-11.410	135
F8	-77.716	-2.798	200	F15	-73.319	-10.572	150
F8	-80.017	-1.630	90	F15	-74.417	-9.331	150
F9	-78.423	-7.352	100	F15	-75.489	-8.120	140
F9	-79.881	-8.015	60	F15	-76.472	-8.763	130
F9	-78.003	-11.728	60	F16	-73.119	-13.635	120
F9	-76.381	-13.899	60	F16	-71.584	-14.405	150
F9	-74.775	-12.871	120	F16	-70.646	-13.766	135
F9	-76.441	-10.831	130	F16	-72.575	-11.405	135
F10	-73.778	-16.347	70	F16	-74.584	-12.77	125
F10	-71.584	-14.405	140	F17	-77.716	-2.798	200
F10	-73.127	-13.631	125	F17	-76.245	-2.865	170
F10	-74.555	-12.725	120	F17	-75.638	-1.914	170
F10	-76.381	-13.899	60	F17	-77.119	-0.922	200
F10	-75.782	-14.883	60	F17	-78.4	-1.161	125
F10	-74.709	-15.75	60	F17	-79.033	-2.129	125
F11	-71.66	-17.328	70	F18	-75.489	-8.12	140
F11	-70.558	-18.134	70	F18	-74.417	-9.331	150
F11	-69.8	-17.4	140	F18	-73.051	-8.124	185
F11	-71.584	-14.405	140	F18	-74.558	-6.771	180
F11	-73.778	-16.347	65	F19	-70.592	-16.07	150
F12	-70.48	-22.999	70	F19	-69.8	-17.4	140
F12	-69.275	-22.999	100	F19	-69	-18.55	150
F12	-67.872	-22.999	150	F19	-68	-18.155	200
F12	-67.911	-21.766	150	F19	-67	-17.724	250
F12	-68.56	-19.61	155	F19	-71	-13.766	250
F12	-69.02	-18.55	150	F19	-71.584	-14.405	175
F12	-69.8	-17.4	140	F20	-65.943	-22.999	270
F12	-70.558	-18.143	100	F20	-66.254	-19.522	270
F13	-77.716	-2.798	200	F20	-66.745	-17.388	285
F13	-78.667	-4.725	120	F20	-69.02	-18.55	150
F13	-76.472	-8.763	130	F20	-68.56	-19.61	155
F13	-75.489	-8.12	140	F20	-67.911	-21.766	150
F13	-74.558	-6.771	150	F20	-67.873	-22.999	150
F13	-76.164	-4.332	130				

Nota: Fuente: SENCICO. (2016).

Tabla 16.
Coordenadas geográficas de las fuentes continentales.

Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (Km)	Fuente	Coordenadas Geográficas		Profundidad (Km)
	Longitud	Latitud (°S)			Longitud	Latitud (°S)	
F21	-79.173	-7.916	30	F25	-76.797	1.211	30
F21	-77.365	-7.009	30	F25	-77.897	1.730	30
F21	-78.581	-4.449	30	F26	-79.083	-2.408	30
F21	-80.368	-5.595	30	F26	-78.581	-4.449	30
F22	-79.173	-7.916	30	F26	-78.152	-5.348	30
F22	-77.824	-10.464	30	F26	-76.293	-4.598	30
F22	-76.318	-12.881	30	F26	-76.661	-3.088	30
F22	-75.677	-13.764	30	F26	-77.139	-1.595	30
F22	-74.411	-12.807	30	F27	-78.152	-5.348	30
F22	-75.315	-12.019	30	F27	-77.365	-7.009	30
F22	-76.798	-8.551	30	F27	-76.798	-8.551	30
F22	-77.365	-7.009	30	F27	-75.145	-7.359	30
F23	-75.677	-13.764	30	F27	-75.430	-6.292	30
F23	-73.090	-16.383	30	F27	-76.304	-4.610	30
F23	-72.106	-14.949	30	F28	-76.798	-8.551	30
F23	-73.789	-13.349	30	F28	-75.315	-12.019	30
F23	-74.411	-12.807	30	F28	-73.789	-13.349	30
F24	-73.090	-16.383	30	F28	-72.276	-11.656	30
F24	-70.517	-18.096	30	F28	-73.668	-10.523	30
F24	-69.9	-18.564	30	F28	-74.957	-8.744	30
F24	-69.174	-17.909	30	F28	-75.145	-7.359	30
F24	-70.484	-15.743	30	F29	-73.789	-13.349	30
F24	-72.106	-14.949	30	F29	-72.106	-14.949	30
F25	-79.367	-0.036	30	F29	-70.484	-15.743	30
F25	-79.083	-2.408	30	F29	-69.414	-12.956	30
F25	-77.139	-1.595	30	F29	-72.276	-11.656	30

Nota: Fuente: SENCICO. (2016).

3.10.6. Parámetros sismológicos de las fuentes simogénicas

Fijadas las fuentes simogénicas, fueron distribuidos espacialmente los sismos del catálogo sísmico sobre volúmenes de influencia de las fuentes simogénicas, definiéndose así los eventos delimitados en cada fuente. Las fuentes simogénicas fueron caracterizados mediante el cálculo de sus parámetros sismológicos, considerando en modelo exponencial no truncado de Gutenberg y Richter. La magnitud máxima fue definida como el valor máximo reportado por la información histórica para cada fuente simogénica. Para el cálculo de la tasa, fueron determinados los periodos de completitud del catálogo sísmico por rangos de magnitudes.

Los parámetros de recurrencia sísmica, para diferentes magnitudes y periodos de observación fueron determinados con el método de Weichert, que se basa en la estimar la máxima probabilidad de parámetros N_o y β , de la relación $Log(N) = N_o \exp(-\beta m)$, que es extendida a un grupo de eventos de magnitud con periodos diferentes de observación.

En la Tabla 17 se presentan los parámetros de sismicidad de las fuentes sismogénicas.

Tabla 17.
Parámetros sismológicos de las fuentes sismogénicas.

Fuente	Parámetros Sismológicos				Fuente	Parámetros Sismológicos			
	M _{mín}	M _{máx}	β	Tasa		M _{mín}	M _{máx}	β	Tasa
F1	4.3	8.1	1.286	3.100	F16	4.1	6.9	1.307	1.250
F2	4.5	8.0	1.302	4.200	F17	4.4	7.3	1.697	3.870
F3	4.8	8.4	1.732	3.980	F18	4.8	7.1	2.413	3.130
F4	4.4	8.4	1.730	6.620	F19	4.8	7	2.307	2.920
F5	4.8	8.4	1.473	2.580	F20	4.5	7.7	2.352	11.700
F6	4.5	8.4	1.344	3.530	F21	4	7.1	0.580	0.461
F7	4.1	7.9	0.991	1.300	F22	4.1	7.2	1.068	1.320
F8	4.4	6.6	1.990	3.380	F23	4.5	7	1.384	0.675
F9	4.5	7.9	1.939	6.510	F24	4.4	7.4	1.314	1.280
F10	4.5	7.0	1.805	6.570	F25	4.2	7	1.133	2.040
F11	4.8	7.8	2.251	4.850	F26	4.6	6.7	1.384	0.889
F12	4.8	7.7	2.580	19.000	F27	4.8	6.8	2.162	1.270
F13	4.3	7.4	1.491	3.710	F28	4.5	7	1.667	2.850
F14	4.2	6.6	1.280	2.070	F29	4.3	7.1	1.259	1.420
F15	4.6	6	2.334	2.520					

Nota: Fuente: SENCICO. (2016).

3.10.7. Leyes de atenuación de ondas sísmicas

Las leyes de atenuación fueron empleadas para estimar el movimiento del suelo en una locación determinada. Estas leyes relacionan la magnitud y la intensidad del sismo en un determinado lugar.

Para estimar el peligro sísmico en el Perú fueron utilizados leyes de atenuación para ordenadas espectrales de Youngs, Chiou, Silva y Humphrey (1997), Zhao, Zhu et al. (2006), McVerry y Zhao (2006), Atkinson y Boore (2003) y BC HYDRO (Abrahamson, Gregor y Addo, 2015) que diferencian los mecanismos focales para sismos de subducción de interfase e intraplaca en la estimación de la máxima aceleración del suelo, y modelo de atenuación sísmico propuesto por Sadigh, Chang, Egan, Makdisi y Youngs (1997) para sismos

continentales. Los resultados obtenidos sobre el análisis de peligro sísmico del Perú son valores de aceleración esperados sobre suelo tipo roca.

a) Modelo de Atenuación Sísmica de Young et al. (1997)

Youngs et al. (1997) desarrollaron leyes de atenuación para zonas de subducción de sismos de interfase e intraplaca, utilizando datos de sismos registrados en Alaska, Chile, Cascadia, Japón, México y Perú y las Islas de Salomón, para distancias entre 10 y 500 km, considerando las características locales.

Definieron las características del sitio en tres grupos: roca, suelo duro poco profundo y suelo profundo. Utilizaron la magnitud de momento (M_w) como medida del evento. Fue propuesta para ordenadas espectrales por Young et al. (1997) para roca y es la siguiente:

$$\ln(A) = 0.2418 + 1.414M + C_1 + C_2(10 - M)^3 + C_3 \ln(r_{rup} + 1.7818e^{0.554M}) + 0.00607H + Z_T \quad (18)$$

Con desviación estándar de $\ln(Sa) = C_4 + C_5M$

Donde Sa es la aceleración espectral expresada en g, M es la magnitud de momento sísmico M_w , r_{rup} es la distancia más cercana al área de ruptura en km, H es la profundidad focal en km y Z_T 0 para sismos de interfase y 1 para sismos de intraplaca

b) Modelo de Atenuación Sísmica de Zhao et al. (2006)

Zhao et al. (2006) propusieron una ley de atenuación para zonas de subducción de sismos de interfase e intraplaca, utilizando datos de sismos registrados en Japón (data sísmica hasta 2003), Irán y la zona oeste de Estados Unidos con un total de 4726 registros.

Utilizaron cinco clasificaciones de sitio: roca dura, roca, suelo duro, suelo medio y suelo suelto. La relación de atenuación que propusieron para ordenadas espectrales Zhao et al. (2006) en roca es lo siguiente:

$$\log_e(y_{i,j}) = aM_{wi} + bx_{i,j} - \log_e(r_{i,j}) + e(h - h_c)\delta_h + F_R + S_I - S_S + S_{SL} \log_e(x_{i,j}) + C_k + \xi_{i,j} + n_i \quad (19)$$

$$r_{i,j} = x_{i,j} + c \exp(dM_{wi})r_i \quad (20)$$

donde y es el valor del PGA (en gals) considerando el 5% de amortiguamiento de aceleración en espectro de respuesta para un periodo espectral T , M_W es la magnitud de momento, x es la distancia a la fuente (km) y z es la profundidad focal (km). El parámetro F_R de falla reversa se aplica únicamente para eventos continentales o de corteza superficial con mecanismo de falla reversa y es cero para cualquier otro tipo de evento.

c) Modelo de Atenuación Sísmica de McVerry et al. (2006)

McVerry et al. (2006) desarrollaron ecuaciones de atenuación para diferentes tipos tectónicos de sismos continentales en Nueva Zelanda, la propuesta fue para interfase de subducción e intraplaca, y las diferentes fuentes mecánicas para sismos continentales.

Utilizaron datos de movimientos de eventos sísmicos disponibles en acelerógrafos de Nueva Zelanda hasta 1995, complementando con datos seleccionados de sismógrafos digitales, que proveen registros de zonas de roca y movimientos de trayectorias de propagación mediante regiones volcánicas. Tomaron de forma diferente las zonas de sismos continentales y de subducción debido al efecto del mecanismo de la fuente. Para sismos continentales, los eventos con mecanismos inversos producen movimientos más fuertes, seguidos de eventos de rotura y normales. Para sismos de subducción, el mecanismo inverso de eventos en interfase tienen movimientos lentos, al menos en rangos de periodos hasta un segundo, mientras los eventos de intraplaca, tienen mecanismos normales, generalmente más fuertes.

La propuesta de atenuación de McVerry et al. (2006) para sismos continentales (Ecuación 19) fue basado en el modelo de Abrahamson y Silva (1997) y para sismos en zonas de subducción (Ecuación 20) en el modelo de Youngs et al. (1997):

$$\ln SA'_{A/B}(T) = C'_1(T) + C_{4AS}(M - 6) + C_{3AS}(T)(8.5 - M)^2 + C'_5(T)R + (C'_5(T) + C_{6AS}(M - 6))\ln(r^2 + C_{10AS}^2(T))^{1/2} + C'_{46}(T)r_{VLO} + C_{32}CN + C_{33AS}(T)CR + F_{HW}(M, r) \quad (21)$$

$$\ln SA'_{A/B}(T) = C'_{11}(T) + (C_{12Y} + (C'_{15}(T) - C'_{17}(T))C_{19Y})(M - 6) + C_{13Y}(T)(10 - M)^3 + C'_{17}(T)\ln(r + C_{18Y}\exp(C_{19Y}M)) + C'_{20}(T)H_C + C'_{24}(T)SI + C'_{46}(T)r_{VOL}(1 - DS) \quad (22)$$

donde:

$$C'_{15}(T) = C_{17Y}(T) \quad (23)$$

Para los dos modelos de zona de subducción y continental:

$$\ln SA'_{C,D}(T) = \ln SA'_{A/B}(T) + C'_{29}(T)\delta_C + (C_{30AS}(T)\ln(PGA'_{A/B} + 0.03) + C_{43}'(T))\delta_D \quad (24)$$

donde

$$PGA'_{A/B} = SA'_{A/B}(T = 0) \quad (25)$$

Las expresiones para $PGA_{A/B,C,D}$ toman la misma forma que las de $PGA'_{A/B,C,D}$, pero se diferencian mediante el uso de versiones no desarrollados de los coeficientes. Finalmente.

$$SA_{A/B,C,D}(T) = SA'_{A/B,C,D}(T) * (PGA_{A/B,C,D}/PGA'_{A/B,C,D}) \quad (26)$$

Donde los parámetros de los modelos son: M la magnitud de momento; r es la distancia más pequeña en km desde la fuente; r_{VOL} es la longitud en km de la trayectoria de la fuente en la zona volcánica; H_C es la profundidad del centroide en km; C_N igual a -1 es para mecanismos normales de sismos continental y 0 para lo demás; C_R es igual a 0.5 para mecanismo inverso/oblicuo de sismos continentales, 1.0 para mecanismos inversos de sismos continentales y 0 para lo demás; S_I es 1 para sismos de subducción en interfase y 0 para los demás; D_S es 1 para sismos intraplaca y 0 para lo demás; δ_C es 1 para sitio de clase C y 0 para lo demás; δ_D es 1 para sitio de clase D y 0 para lo demás; C es el coeficiente de la ley de atenuación de aceleración a nivel de roca (suelo tipo B).

d) Modelo de Atenuación Sísmica de Atkinson y Boore (2003)

Atkinson et al. (2003) utilizaron datos basados en investigaciones pasadas y datos de nuevos registros de movimientos que han estado disponibles en la última década antes de la publicación. Hicieron una base de registros de sismos de subducción.

Los resultados determinados por Atkinson et al. (2003) difieren notablemente de análisis previos basados en data más limitada y contiene más detalles de análisis de vulnerabilidad de movimientos con clases de suelo, tipo de evento y región. El modelo de función propuesto es:

$$\log Y = fn(M) + c_3 h + c_4 R - g \log R + c_5 sl S_C + c_6 sl S_D + c_7 sl S_E \quad (27)$$

donde Y PGA o pseudoaceleración con 5% de amortiguamiento en cm/s componente horizontal aleatoria, M es la magnitud de momento, $fn(M) = c_3 + c_2$, h profundidad focal en kilómetros, $R = \sqrt{D_{fault}^2 - \Delta^2}$, S_C es igual a 1 para suelo muy denso o roca suelta y 0 para lo

demás, S_D es igual a 1 para suelo firme y 0 para lo demás, S_E es igual a 1 para suelo blando y 0 para lo demás, g para eventos de interfase es $10^{(1.2-0.18M)}$ y para eventos de intraplaca es $10^{(0.301-0.01M)}$, sl entre 1 y 0 dependiente de PGA.

e) Modelo de Atenuación Sísmica de BC HYDRO (Abrahamson et al. 2015)

El año 2007, BC Hydro, principal dueño de presas en Columbia Británica, Canadá inició la mayor actualización de evaluación de peligro sísmico en las zonas de presas. Un aspecto clave fueron los movimientos de sismos de zonas largas de subducción en Cascadia. Las ecuaciones de predicción de movimiento están desarrolladas como parte del estudio de Abrahamson et al. (2015).

El total de los datos consistieron de 9946 registros de pares de movimiento. El 3557 de pares de registros son de 162 eventos de interfase y 6389 pares de registros son de 129 eventos de intraplaca. La forma funcional usado para el análisis de regresión fue:

$$\ln(Sa_{Interfase}) = \theta_1 + \theta_4 \Delta C_1 + (\theta_2 + \theta_3(M - 7.8)) \ln(R_{rup} + C_4 \exp(\theta_9(M - 6))) + \theta_6 R_{rup} + f_{mag}(M) + f_{FABA}(R_{rup}) + f_{site}(PGA_{1100}, V_{S30}) \quad (28)$$

$$\ln(Sa_{slab}) = \theta_1 + \theta_4 \Delta C_1 + (\theta_2 + \theta_{14} F_{event} + \theta_3(M - 7.8)) \ln(R_{hypo} + C_4 \exp(\theta_9(M - 6))) + \theta_6 R_{hypo} + \theta_{10} F_{event} + f_{mag}(M) + f_{depth}(Z_h) + f_{FABA}(R_{hypo}) + f_{site}(PGA_{1100}, V_{S30}) \quad (29)$$

dónde: Sa es la aceleración espectral (g), M es la magnitud de momento, Z_h es la profundidad hipocentral (km), F_{event} es 0 para eventos de interfase y 1 para eventos de intraplaca, F_{FABA} es 0 para ante-arco o sitio desconocido y 1 para tras arco.

f) Modelo de Atenuación Sísmica de Sadigh et al. (1997)

Sadigh et al. (1997) propusieron relaciones de atenuación para la máxima aceleración del suelo y aceleraciones espectrales de respuesta horizontal (5% de amortiguamiento) para sismos continentales. Estas relaciones están basadas en datos de movimientos sísmicos intensos de California (Estados Unidos), Gazli (Rusia), Tabas (Irán) y la URSS, por medio de un análisis de regresión utilizando datos de 121 acelerogramas de terremotos de magnitud de momento.

La relación de atenuación que presentan fue desarrollada para roca. Demostraron que las ecuaciones de atenuación muestran una esperada tendencia para movimientos entre

suelos y roca, las amplitudes de suelos son más largas que las rocas, los movimientos en roca son bajas por la amplificación en capas de suelo a velocidades bajas. Cuando los movimientos de roca son altos, los movimientos de suelo se vuelven más lentos que los movimientos de rocas, debido a los efectos no lineales de respuesta de lugar. La ley de atenuación propuesta de Sadigh et al. (1997) para roca fue desarrollada mediante la combinación de ecuaciones para dos etapas de ordenadas espectrales muestra a continuación:

$$\ln(y) = C_1 + C_2M + C_3(8.5M)^{2.5} + C_4\ln(r_{rup} + e(C_5 + C_6M)) + C_7\ln(r_{rup} + 2) \quad (30)$$

donde y es la aceleración espectral en g , M es la magnitud de momento (M_w) y r_{rup} es la distancia más cercana al área de ruptura (km).

3.10.8. Determinación de peligro sísmico

Al conocerse la sismicidad de las fuentes y patrones de atenuación de las ondas generadas en cada una de ellas. El peligro sísmico fue calculado como la suma de efectos de la totalidad de las fuentes sísmicas y la distancia entre cada fuente y el sitio donde se proyecta en el Perú. La determinación de peligro sísmico para el Perú fue efectuada por SENCICO (2016) y se presenta resumido en esta sección.

El peligro sísmico del Perú fue definido utilizando la información pertinente en la literatura técnica y el programa de cómputo CRISIS 2015 versión 2.2, desarrollado por Ordaz, Aguilar y Arboleda (2015). El peligro es expresado en términos de tasas de excedencia de intensidades S_a , se calcula mediante la ecuación (Esteva, 1970):

$$v(S_a/R_0, p) = \sum_{n=1}^{n=M} \int_{M_0}^{M_u} -\frac{\partial \lambda}{\partial \lambda} \Pr(A > s_a/M, R_0) dM \quad (31)$$

dónde la sumatoria abarca las fuentes sísmicas N . $\Pr(A > s_a/M, R)$, es la probabilidad que la intensidad exceda cierto valor, dadas la magnitud del sismo M , y la distancia entre la i -ésima fuente y el sitio R . Las funciones $\lambda(M)$ son las tasas de actividad de fuentes sísmicas.

La Ecuación 31 sería exacta si las fuentes sísmicas fueran puntos. Sin embargo, la realidad es que son volúmenes, razón por la cual los epicentros no sólo pueden ocurrir en los centros de las fuentes, sino, también en cualquier punto dentro del volumen correspondiente. En el momento del cálculo fue tomado en cuenta esta situación, donde las fuentes sísmicas fueron divididos en formas geométricas y en su centro de gravedad se considera concentrada la sismicidad de la fuente. Dadas la magnitud y distancia, la intensidad tiene una distribución log normal y se calcula mediante la siguiente relación:

$$\Pr(A > sa/M, R_0) = 1 - \phi \left[\frac{1}{\sigma_{Lnsa}} \ln \frac{sa}{med(A/M, R_i)sa} \right] \quad (32)$$

donde $\phi[\cdot]$ la distribución normal estándar, $med(A/M, R_i)$ es la mediana de la intensidad, determinado por la ley de atenuación correspondiente, y σ_{Lnsa} es la desviación estándar del logaritmo natural de Sa .

3.10.9. Amenaza sísmica de la ciudad de Juliaca

Para estimar la amenaza sísmica de la ciudad de Juliaca, se utilizó la data de SENCICO (2016), analizado gráfica y estadísticamente considerando tiempo, profundidad y magnitud de eventos sísmicos de las fuentes seleccionados para el Perú. Como parte del análisis probabilístico de peligro sísmico, son tomados datos de fuentes de interfase, intraplaca superficial e intraplaca intermedia y continentales o de corteza. Dichos parámetros de sismicidad son evaluados utilizando la máxima verosimilitud y el patrón de atenuación.

La curva de peligro sísmico y el espectro de aceleración son calculados para un amortiguamiento crítico de 5% y un suelo tipo B (roca) para periodos de retorno de 100, 200, 475, 1000 y 2500 años.

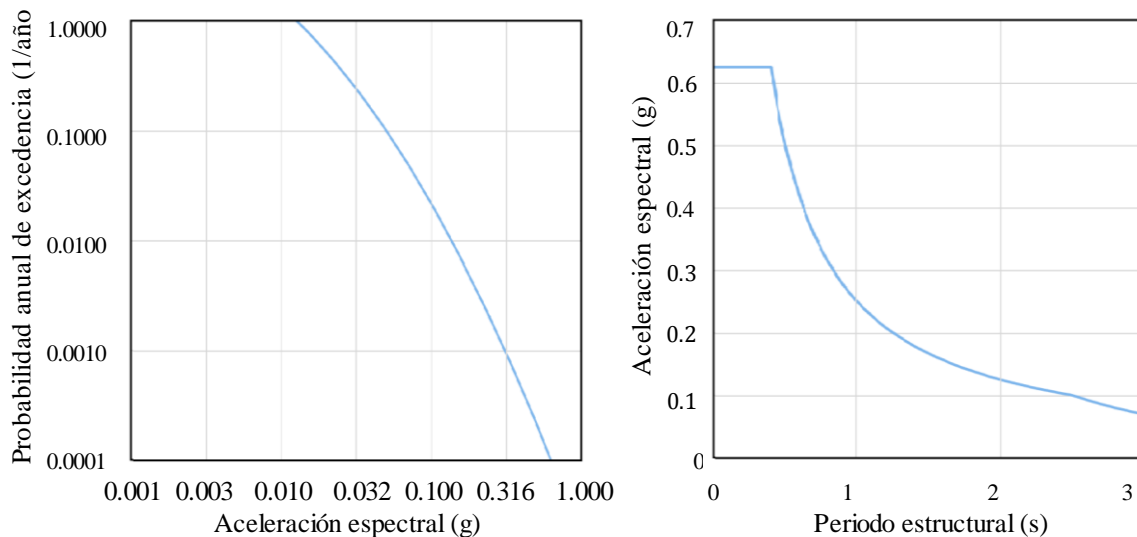


Figura 37. Excedencia y espectro de aceleración espectral.
Fuente: SENCICO, (2016).

3.10.10. Definición de acción sísmica

La acción sísmica para la investigación fue representada por espectros de peligro sísmico uniforme. Estos espectros son estimados en base a valores de espectro a través de

análisis estadístico sin usar algún factor de escala que considere la dependencia de la forma espectral con la magnitud del evento y la distancia.

Este espectro de peligro sísmico uniforme, provee parámetros de respuesta que pueden ser usados directamente en la estimación de las demandas sísmicas para el diseño de estructuras y son preferibles y considerados superiores al espectro derivado de fijar una forma espectral al valor estimado probabilísticamente de la aceleración máxima del suelo. (EERI Committee on Seismic Risk 1989)

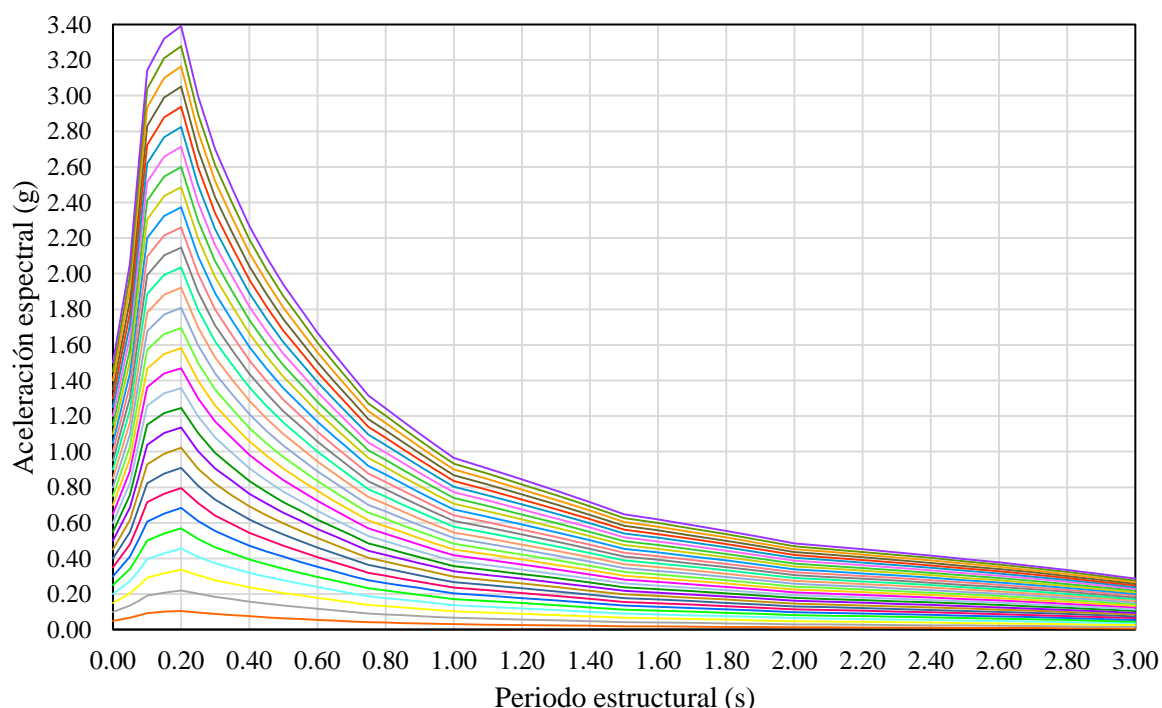


Figura 38. Espectros de peligro sísmico uniforme seleccionados para Juliaca.
Fuente: SENCICO, (2016).

3.11. Elaboración de matriz de probabilidad de daño

Para elaborar la matriz de probabilidad de daño se determina la demanda sísmica a través de análisis dinámico no lineal. El objetivo es determinar el estado de daño de las estructuras. Los estados de daño se determinan comparando la capacidad de desplazamiento de las edificaciones con la capacidad de demanda de desplazamiento en cada estado límite de daño (ver Figura 39).

- El primer paso se realiza para confirmar si la estructura excede o no el primer límite de daño. Se compara la capacidad de desplazamiento y la demanda de

desplazamiento. Si la capacidad de desplazamiento es mayor, la estructura no excede el primer límite de daño. Esto significa que la edificación no sufre daño.

- El segundo paso es verificar, si la estructura excede el primer límite de daño, se realiza una verificación, de si la estructura excede o no el segundo límite de daño. Si la capacidad de desplazamiento es mayor, la estructura no sobrepasa el segundo límite de daño. Esto indica que la edificación se encuentra en el estado de daño leve.
- Si la estructura excede el segundo límite de daño, se efectúa la comparación similar al anterior para determinar si la edificación que excedió el segundo límite de daño, exceda también el tercer límite de daño. Igualmente, para el cuarto límite de daño.

La capacidad de desplazamiento se representa por la curva de capacidad en el eje de las abscisas. El desplazamiento de demanda para cada estado es la máxima respuesta elástica calculada mediante análisis tiempo-historia para el periodo correspondiente a dicho límite de daño. El periodo para cada estado límite, puede determinarse a través de la siguiente ecuación:

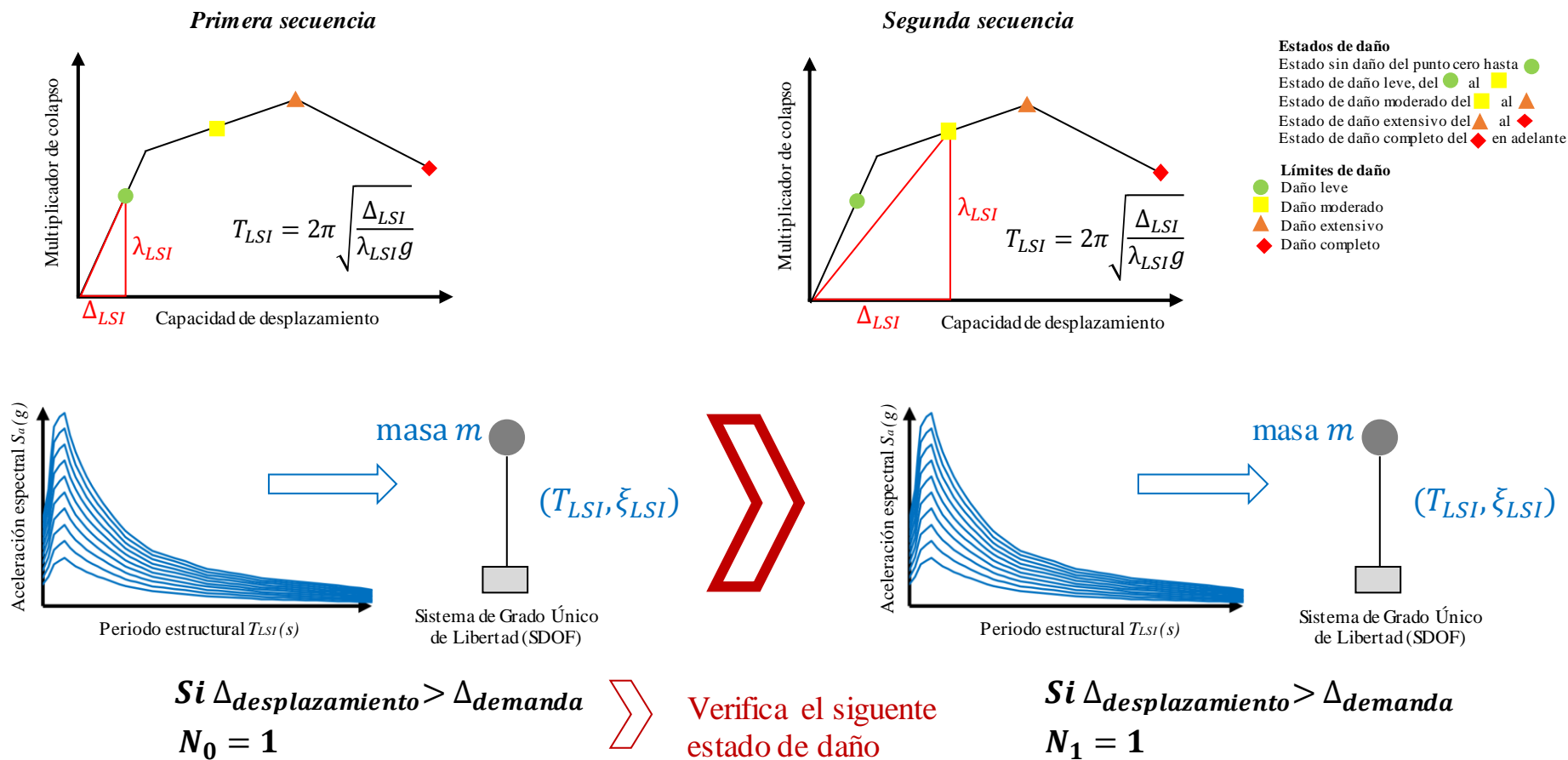
$$T_{LSi} = 2\pi \sqrt{\frac{\Delta_{LSi}}{\lambda \times g}} \quad (33)$$

dónde Δ_{LSi} es el desplazamiento para el límite de daño i , λ es el factor de colapso para el estado límite de daño i , g es el valor de la gravedad.

El factor de colapso es la relación de fuerza lateral sobre el peso y se expresa en el eje de ordenadas de las curvas de capacidad. Este factor se convierte a aceleración espectral (Sa), en los mismos términos de la acción sísmica. Para comparar la capacidad de desplazamiento y capacidad de demanda de desplazamiento. La conversión se realiza con la siguiente ecuación:

$$Sa = \left(\frac{2\pi}{T_{LSi}}\right)^2 * Sd \quad (34)$$

dónde Sa es la aceleración espectral, T_{LSi} es el periodo y Sd es el pseudo desplazamiento



Nº Espectro de	Sin Daño	Daño Leve	Daño Moderado	Daño Extensivo	Daño completo
0.05	N_0	N_1	N_4
0.1					
-					
n					

Figura 39. Proceso de elaboración de Matriz de Probabilidad de Daño.
Fuente: Lovon, (2017).

Para efectuar el análisis tiempo-historia, el amortiguamiento se considera como un parámetro muy importante, debido a que representa la energía disipada por la estructura sometido a la acción sísmica. Una forma de considerar el valor total de la energía disipada es mediante la razón de amortiguamiento equivalente, que se determina como la suma del amortiguamiento elástico ζ_{el} y el amortiguamiento histerético ζ_{hist} .

$$\zeta_{eq} = \zeta_{el} + \zeta_{hist} \quad (35)$$

Ahmad, Crowley Pinho y Ali (2010) sugiere calcular el amortiguamiento equivalente mediante la siguiente ecuación:

$$\zeta_{eq} = 0.05 + c/\pi \cdot (\mu - 1)/\mu \quad (36)$$

donde ζ_{eq} es el amortiguamiento equivalente, μ es la ductilidad de la estructura que es calculada como la relación del desplazamiento último y el desplazamiento de fluencia, c es una constante obtenida mediante análisis de regresión no lineal. La regresión no lineal se realizó a partir de datos calibrados obtenidos de ensayos de carga cíclica. El valor de la constante c es de 0.2725.

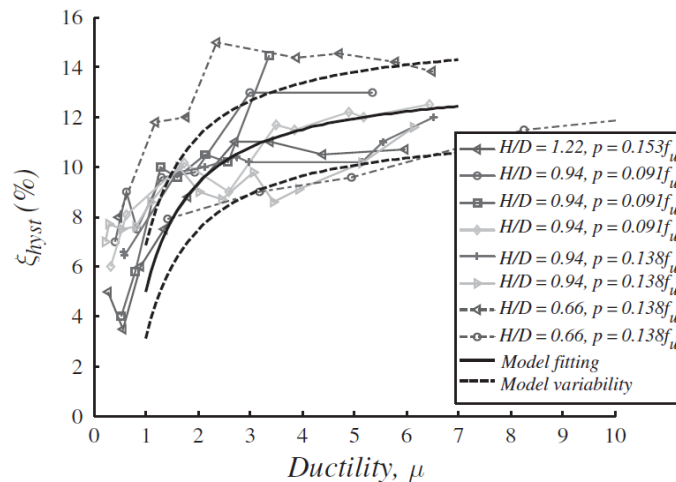


Figura 40. Amortiguamiento de muros de albañilería confinada como una función de la ductilidad.

Fuente: Ahmad et al. (2010).

3.12. Desarrollo de las curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad muestran la probabilidad de que una edificación pueda exceder un determinado estado límite de daño, dado una intensidad de sismo. A partir de la Matriz de Probabilidad de Daño se puede obtener la Matriz de Probabilidad de Daño Acumulado que se interpreta como un grupo de puntos ajustado a través de una función de distribución acumulativa lognormal (Ecuación 2), para cada estado límite.

Este grupo de puntos aun no expresa la probabilidad de exceder un límite de daño, debido a que las curvas de fragilidad deben ser calculadas para una medida de intensidad sísmica. Esto se puede lograr asignando una medida de intensidad (i.e. aceleración espectral, desplazamiento espectral, velocidad espectral, aceleración pico o velocidad pico). En la presente investigación se utilizó la aceleración espectral, ya que la mayoría de las herramientas para el análisis de peligro sísmico, como leyes de atenuación, utilizan este parámetro.

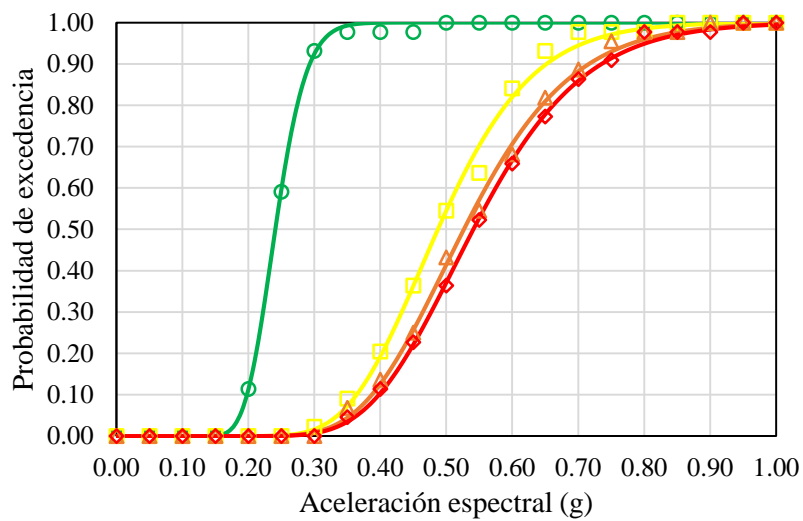


Figura 41. Curvas de fragilidad para edificaciones de albañilería industrial confinada de dos pisos.

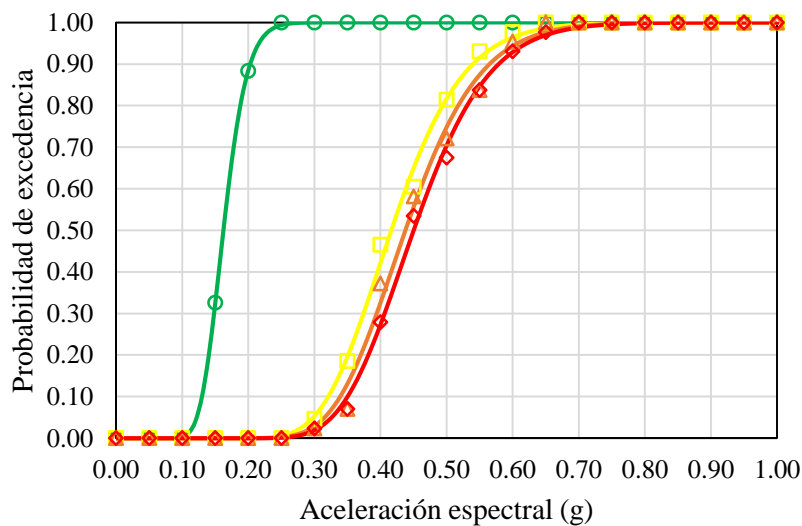


Figura 42. Curvas de fragilidad para edificaciones de albañilería industrial confinada de tres pisos.

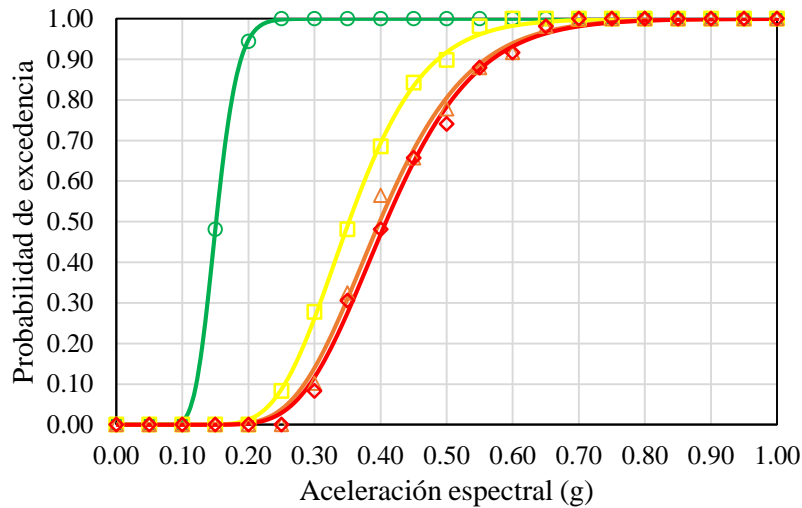


Figura 43. Curvas de fragilidad para edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos pisos.

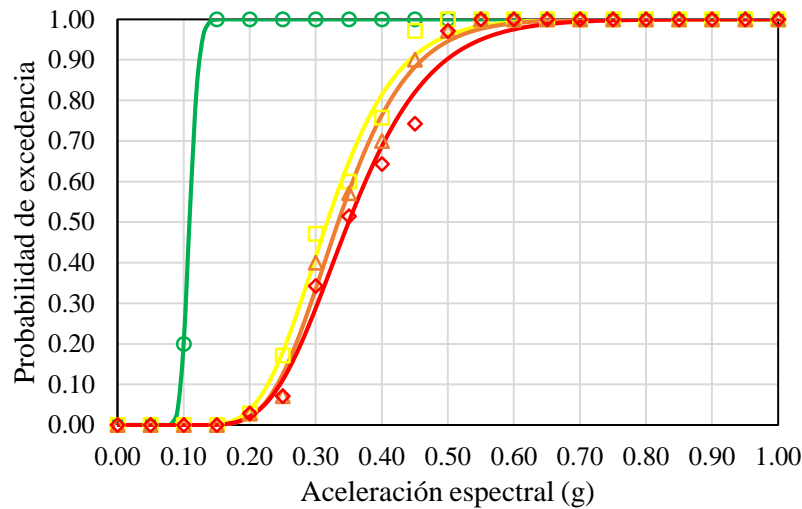


Figura 44. Curvas de fragilidad para edificaciones de albañilería artesanal confinada de tres pisos.

3.13. Vulnerabilidad de las edificaciones

Las curvas de vulnerabilidad sirven para calcular las pérdidas por sismos. Dichas curvas expresan la probabilidad de daño, que pueden alcanzar una población de edificaciones evaluadas bajo la acción sísmica. El daño se puede expresar de distintas formas (i.e. ratio de daño o costo a moneda nacional). Así también una intensidad de sismo se puede expresar en aceleración espectral, aceleración pico, desplazamiento espectral, etc.

En la presente investigación el daño se expresará en ratio de daño, que es la relación del costo de reemplazo en caso de colapso o de restauración desde el estado límite de daño al que haya alcanzado. Se expresa en ratio de daño debido a que la investigación es

generalizada para la ciudad de Juliaca. Si el daño se expresara en términos monetarios, estos estarían sujetos a la incertidumbre de las variaciones del mercado, por lo tanto, los costos estimados sólo tendrían validez para un tiempo específico.

Las curvas de vulnerabilidad se generan a través de un proceso de convolución de curvas de fragilidad. Por lo que es necesario adoptar factores de daño. Dichos factores relacionan el costo de reemplazo o de restauración de edificaciones hasta el grado de daño alcanzado dada una intensidad de sismo y se expresa por la ecuación adaptado de D' Ayala et al. (2015):

$$E(C | ds_i) = ED * FD \quad (37)$$

dónde $E(C | ds_i)$ es el ratio de daño, ED es el estado de daño y FD es el factor de daño.

El estado de daño en que puedan incurrir las edificaciones, están dadas principalmente por el daño estructural, debido a la degradación generada en elementos estructurales por su incursión en el rango inelástico. Dichas pérdidas están sujetas al desplazamiento ocasionado por acción del sismo al que se encuentran sometidos las estructuras. También se deben valorar las pérdidas no estructurales que pueden ocurrir con sismos de baja intensidad. Sin embargo, las edificaciones incluso pueden superar pérdidas estructurales, llegando a colapsar (Lovon, 2017).

3.13.1. Factores de daño para edificaciones

El programa HAZUS-MH (FEMA, 1999) presentó una metodología general para la estimación de pérdidas en viviendas de Estados Unidos. Como parte de esta metodología se han estimado factores de daño para el cálculo de pérdidas en edificios. De acuerdo a las recomendaciones realizadas para su aplicación por D'ayala et al. (2015) los factores muestran en la Tabla 18.

Tabla 18.
Factores de daño totales para edificaciones de HAZUS 99.

Tipo de Ocupación	Estado de Daño			
	Leve	Moderado	Extensivo	Completo
Vivienda	2.0%	10.0%	50.0%	100.0%

Nota: Fuente: D'ayala et al. (2015).

3.13.2. Curvas de vulnerabilidad

Teniendo los puntos de la curva de fragilidad generado con la matriz de probabilidad de daño acumulada y los espectros de peligro sísmico uniforme, se realiza la convolución para obtener los puntos que definen las curvas de vulnerabilidad. Para aceleración espectral (S_a) 0.35g de la zona, con una probabilidad de 10% de ser excedida en 50 años y un periodo de retorno de 475 años (según norma E.030 [Norma Técnica “Diseño Sismorresistente” Reglamento Nacional de Edificaciones], 2018), los estados de daño de edificaciones se multiplicaron por el factor de daño respectivo, para finalmente sumar y obtener el ratio de daño.

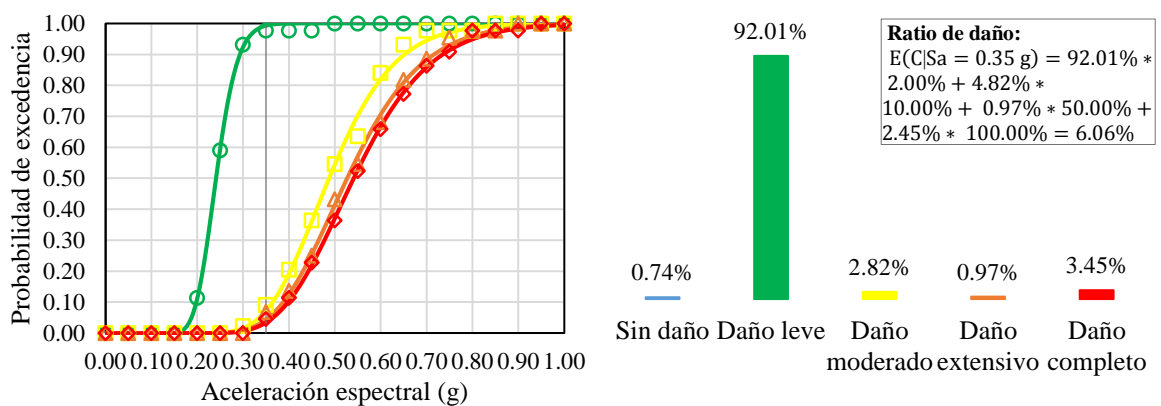


Figura 45. Convolución de curvas de fragilidad y factores de daño en S_a de 0.35g, para edificaciones de albañilería industrial confinada de dos pisos de la ciudad de Juliaca.

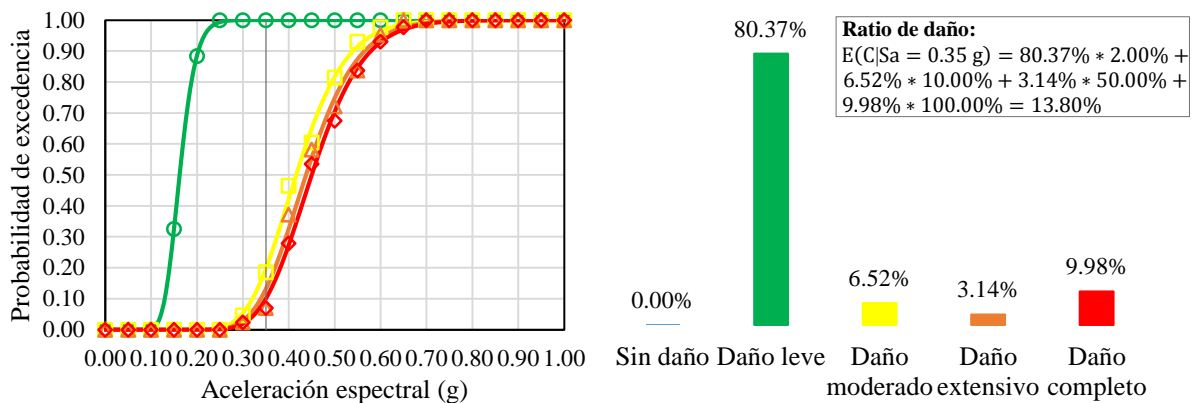


Figura 46. Convolución de curvas de fragilidad y factores de daño en S_a de 0.35g, para edificaciones de albañilería industrial confinada de tres pisos de la ciudad de Juliaca.

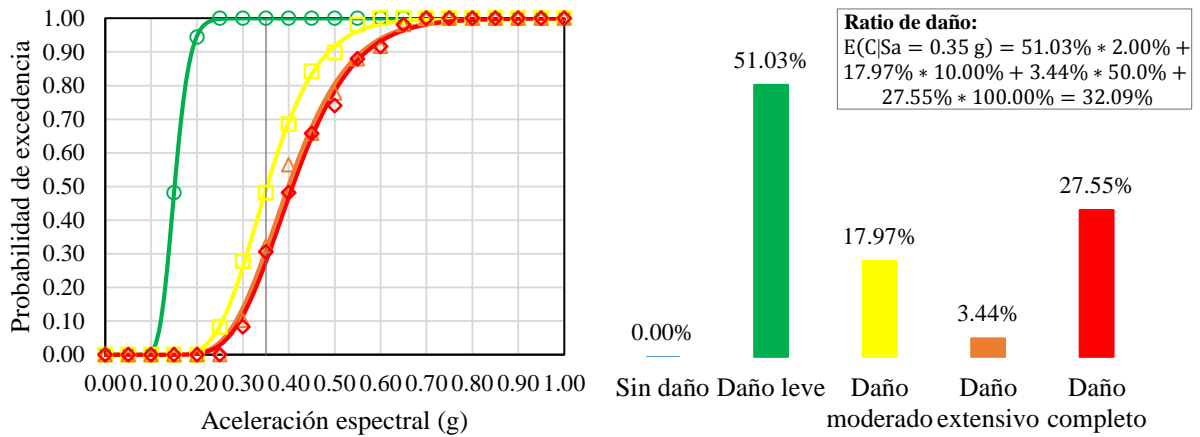


Figura 47. Convolución de curvas de fragilidad y factores de daño en S_a de 0.35g, para edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos pisos de la ciudad de Juliaca.

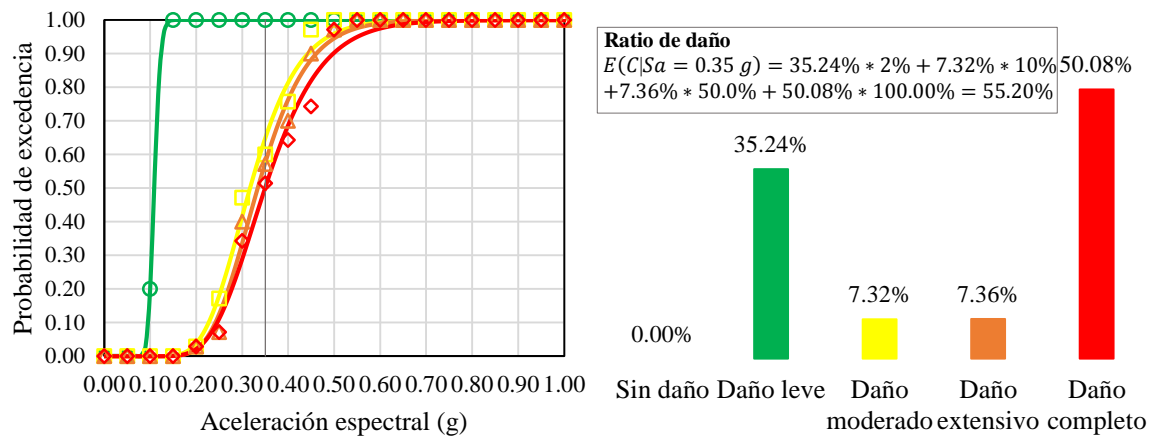


Figura 48. Convolución de curvas de fragilidad y factores de daño en S_a de 0.35g, para edificaciones de albañilería artesanal confinada de tres pisos de la ciudad de Juliaca.

Las curvas de vulnerabilidad son definidos por las ratios de daño, para diferentes niveles de aceleración espectral de la zona donde se ubican la población de las edificaciones, para el caso estudiado la ciudad de Juliaca y las edificaciones de albañilería industrial y artesanal confinado de dos y tres pisos.

En las curvas de vulnerabilidad los ratios de daño son expresadas de forma continua acorde diferentes niveles de aceleración espectral (Figura 49 y 50).

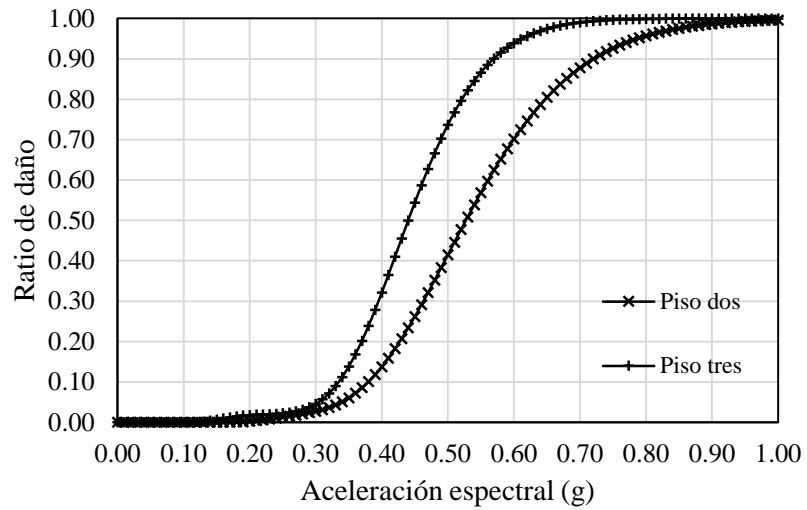


Figura 49. Curvas de vulnerabilidad de edificaciones de albañilería industrial confinada de dos y tres pisos.

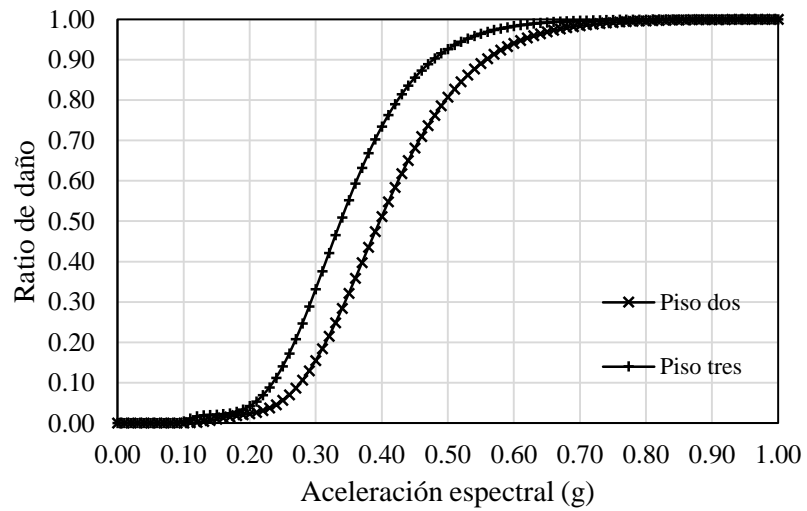


Figura 50. Curvas de vulnerabilidad de edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos y tres pisos.

Capítulo IV. Discusión de resultados

4.1. Vulnerabilidad sísmica

4.1.1. Edificaciones de albañilería industrial confinada de dos pisos

Para edificaciones de albañilería confinada industrial de dos pisos que representan el 29.53% (Figura 11) de edificaciones de albañilería industrial y la actividad sísmica de la zona, representado como intensidad sísmica por la aceleración espectral de 0.35g (norma E.030), según la Figura 45 y el significado de los estados de daño (Sección 3.9.):

- Existe un 92.01% de probabilidad de que las edificaciones sufran daño estructural leve y daño no estructural moderado con la presencia de grietas en muchas paredes. En este caso se requerirán la reparación en los elementos no estructurales.
- Existe un 2.82% de probabilidad de que las edificaciones presenten daño estructural moderado y daño no estructural intenso de grietas grandes en la mayoría de paredes. En este caso se requerirán reparar o reemplazar algunos elementos estructurales, asociado a un daño importante en elementos no estructurales.
- Existe un 0.97% de probabilidad de que las edificaciones sufran daño estructural extensivo y daño no estructural pesado de falla grave en las paredes. En este caso se requerirá reparar o reemplazar muchos elementos estructurales y los daños no estructurales requerirán una mayor reparación.
- Existe un 3.45% de probabilidad de que las edificaciones presenten daño estructural muy pesado llegando al colapso total o casi total. En este caso es más conveniente demoler las estructuras que reparar.

El ratio de daño de estas edificaciones de albañilería industrial de dos pisos para aceleración espectral 0.35g según la Figura 48 sería de 6.06% como la relación del costo de reemplazo y el costo de restauración.

4.1.2. Edificaciones de albañilería industrial confinada de tres pisos

Para edificaciones de albañilería confinada industrial de tres pisos que representan el 28.86% (Figura 11) de edificaciones de albañilería industrial y la actividad sísmica de la

zona, representado como intensidad sísmica por la aceleración espectral de 0.35g (norma E.030), según la Figura 45 y el significado de los estados de daño (Sección 3.9.):

- Existe un 80.37% de probabilidad de que las edificaciones sufran daño estructural leve y daño no estructural moderado con la presencia de grietas en muchas paredes. En este caso se requerirán la reparación en los elementos no estructurales.
- Existe un 6.52% de probabilidad de que las edificaciones presenten daño estructural moderado y daño no estructural intenso de grietas grandes en la mayoría de paredes. En este caso se requerirán reparar o reemplazar algunos elementos estructurales, asociado a un daño importante en elementos no estructurales.
- Existe un 3.14% de probabilidad de que las edificaciones sufran daño estructural extensivo y daño no estructural pesado de falla grave en las paredes. En este caso se requerirán reparar o reemplazar muchos elementos estructurales y los daños no estructurales requerirán una mayor reparación.
- Existe un 9.98% de probabilidad de que las edificaciones presenten daño estructural muy pesado llegando al colapso total o casi total. En este caso es más conveniente demoler las estructuras que reparar.

El ratio de daño de estas edificaciones de albañilería industrial de tres pisos para aceleración espectral 0.35g según la Figura 48 sería de 13.80% como la relación del costo de reemplazo y el costo de restauración.

4.1.3. Edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos pisos

Para edificaciones de albañilería confinada artesanal de dos pisos que representan el 46.35% (Figura 11) de edificaciones de albañilería artesanal y la actividad sísmica de la zona, representado como intensidad sísmica por la aceleración espectral de 0.35g (norma E.030), según la Figura 46 y el significado de los estados de daño (Sección 3.9.):

- Existe un 51.03% de probabilidad de que las edificaciones sufran daño estructural leve y daño no estructural moderado con la presencia de grietas en muchas paredes. En este caso se requerirán la reparación en los elementos no estructurales.

- Existe un 17.97% de probabilidad que las edificaciones presenten daño estructural moderado y daño no estructural intenso de grietas grandes en la mayoría de paredes. En este caso se requerirán reparar o reemplazar algunos elementos estructurales, asociado a un daño importante en elementos no estructurales.
- Existe un 3.44% de probabilidad de que las edificaciones sufran daño estructural extensivo y daño no estructural pesado de falla grave en las paredes. En este caso se requerirá reparar o reemplazar muchos elementos estructurales y los daños no estructurales requerirán una mayor reparación.
- Existe un 27.55% de probabilidad de que las edificaciones presenten daño estructural muy pesado llegando al colapso total o casi total. En este caso es más conveniente demoler las estructuras que reparar.

El ratio de daño de estas edificaciones de albañilería artesanal de dos pisos para aceleración espectral 0.35g según la Figura 49 sería de 32.09% como la relación del costo de reemplazo y el costo de restauración.

4.1.4. Edificaciones de albañilería artesanal confinada de tres pisos

Para edificaciones de albañilería confinada artesanal de tres pisos que representan el 30.04% (Figura 11) de edificaciones de albañilería artesanal y la actividad sísmica de la zona, representado como intensidad sísmica por la aceleración espectral de 0.35g (norma E.030), según la Figura 47 y el significado de los estados de daño (Sección 3.9.):

- Existe un 35.24% de probabilidad de que las edificaciones sufran daño estructural leve y daño no estructural moderado con la presencia de grietas en muchas paredes. En este caso se requerirán la reparación en los elementos no estructurales.
- Existe un 7.32% de probabilidad de que las edificaciones presenten daño estructural moderado y daño no estructural intenso de grietas grandes en la mayoría de paredes. En este caso se requerirán reparar o reemplazar algunos elementos estructurales, asociado a un daño importante en elementos no estructurales.
- Existe un 7.36% de probabilidad de que las edificaciones sufran daño estructural extensivo y daño no estructural pesado de falla grave en las paredes. En este caso

se requerirá reparar o reemplazar muchos elementos estructurales y los daños no estructurales requerirán una mayor reparación.

- Existe un 50.08% de probabilidad de que las edificaciones presenten daño estructural muy pesado llegando al colapso total o casi total. En este caso es más conveniente demoler las estructuras que reparar.

El ratio de daño de estas edificaciones de albañilería artesanal de tres pisos para aceleración espectral 0.35g según la Figura 49 sería de 55.20% como la relación del costo de reemplazo y el costo de restauración.

4.2. Verificación de hipótesis

Debido a la afirmación de las tres hipótesis específicas, se acepta la hipótesis general de que las edificaciones de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca sí son vulnerables frente a la acción sísmica.

a) Verificación de la primera hipótesis específica

El mecanismo consistió en la verificación de la primera hipótesis específica, que indica que: “La resistencia a la compresión diagonal de los muretes influye en la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones típicas de albañilería confinada”.

La resistencia al corte de los muretes de albañilería industrial fue de 7.85 kg/cm² (Tabla 6) y de los muretes de albañilería artesanal fue de 5.02 kg/cm² (Tabla 7). En la comparación de estados de daños de las edificaciones (Figuras 51 y 52) se observa que las edificaciones de albañilería artesanal, son más susceptibles al colapso. Por lo tanto, se confirma la primera hipótesis específica.

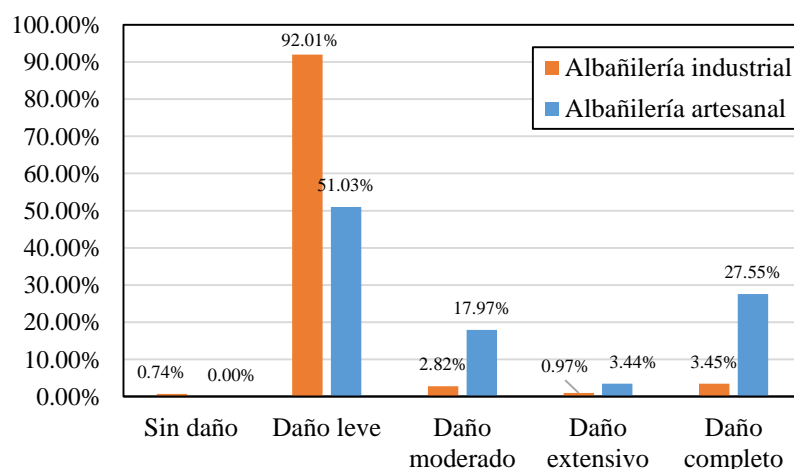


Figura 51. Comparación de estados de daño de edificaciones de albañilería industrial y artesanal confinada de dos pisos.

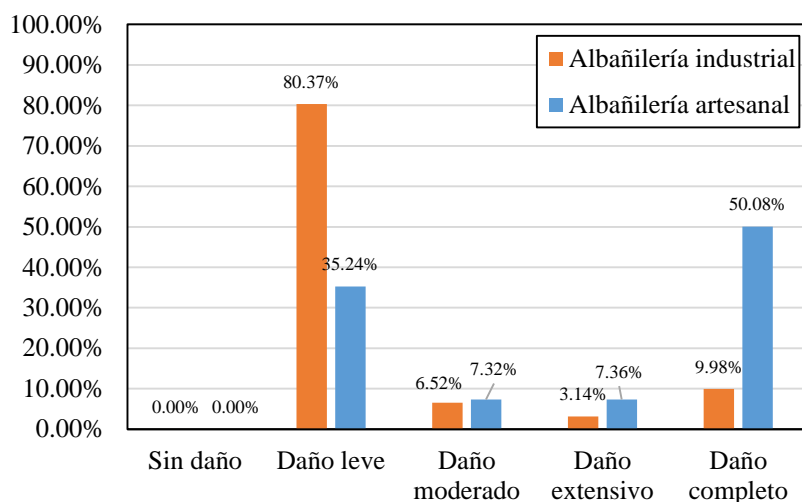


Figura 52. Comparación de estados de daño de edificaciones de albañilería industrial y artesanal confinada de tres pisos.

b) Verificación de la segunda hipótesis específica

El mecanismo consistió en la verificación de la segunda hipótesis específica, que indica que: “Las edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca presentan probabilidad de colapso frente a la acción sísmica”.

Se muestra en la Figura 53, los porcentajes de daño completo o colapso de las edificaciones de albañilería industrial y artesanal confinados de dos y tres pisos, dichas cifras son extraídas de las curvas de fragilidad calculados (Sección 3.12), donde se observa que en diferentes porcentajes las edificaciones estudiadas si presentan probabilidad de colapso. Por lo tanto, se confirma la segunda hipótesis específica.

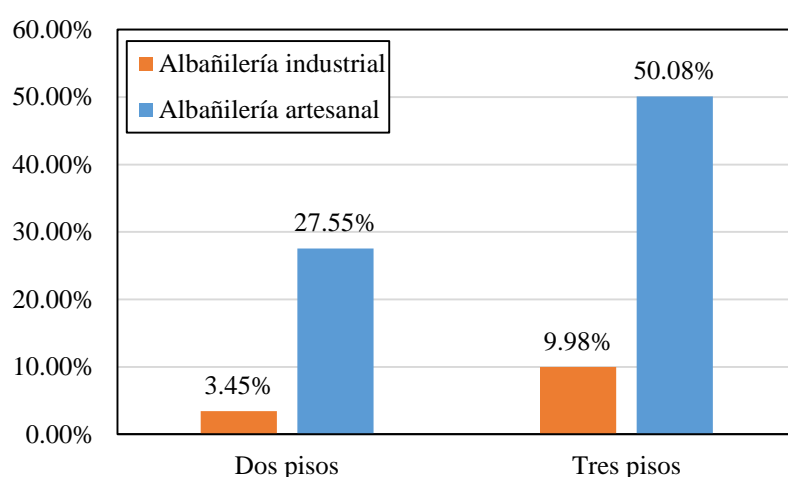


Figura 53. Porcentajes de colapso de edificaciones de albañilería industrial y artesanal confinados de dos y tres niveles.

c) Verificación de la tercera hipótesis específica

El mecanismo consistió en la verificación de la tercera hipótesis específica, que indica que: “Las edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca presentan riesgo sísmico frente a la acción sísmica”.

El riesgo sísmico en la presente investigación se ha expresado en ratios de daño. Según se muestra en las curvas de vulnerabilidad (Figuras 49 y 50), las edificaciones de albañilería industrial confinada de dos pisos tienen el ratio de daño de 6.06%, las edificaciones de albañilería industrial confinada de tres pisos tienen el ratio de daño de 13.80%, las edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos pisos tienen el ratio de daño de 32.09% y las edificaciones de albañilería artesanal confinada de tres pisos tienen el ratio de daño de 52.20%. Por lo tanto, se afirma la tercera hipótesis específica ya que todas las edificaciones presentan un nivel de riesgo sísmico.

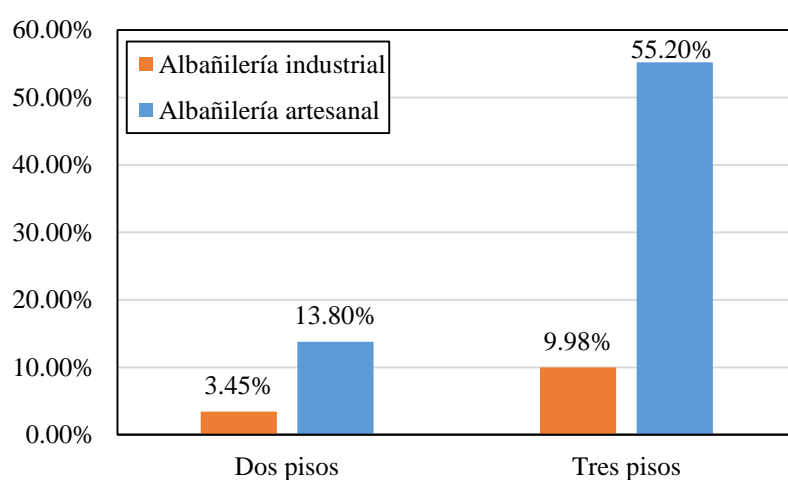


Figura 54. Ratios de daño de las edificaciones albañilería industrial y artesanal confinados de dos y tres pisos. (Elaboración propia)

Capítulo V. Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

5.1.1. Conclusión general

Se evaluó la vulnerabilidad sísmica para edificaciones típicas de albañilería confinada de la ciudad de Juliaca de dos pisos que representan el 39.79% y de tres pisos que representan el 29.58%, tanto para los construidos con albañilería de fabricación industrial y artesanal. Esta información de evaluación de la vulnerabilidad permitirá a la ciudadanía y las autoridades tomar acciones para mejorar las políticas de mitigación del riesgo sísmico.

5.1.2. Conclusiones específicas

- La resistencia característica al corte obtenido mediante ensayos de resistencia a la compresión diagonal de cuatro muretes de albañilería de industrial fue de 7.85 kg/cm² y de cuatro muretes de albañilería artesanal fue de 5.02 kg/cm², ambos no superaron el 20% y 40% de dispersión en los resultados exigido por la Norma E.070.
- Se han calculado curvas de capacidad de nueve modelos típicos de configuración en planta de edificaciones de albañilería confinada, a través de una metodología simplificada. Dicho método simplificado permitió considerar varias tipologías de edificaciones, en contraste al estudio individual de una sola edificación. Se empleó el método simplificado, debido a que analizar varias edificaciones con la respectiva acción sísmica tomaría gran esfuerzo computacional y largos periodos de cálculo.
- La acción sísmica de la zona de estudio se ha representado mediante espectros de peligro sísmico uniforme elaborado por SENCICO el año 2016, para lo cual la intensidad del sismo se representó por diferentes valores de aceleración espectral, para diferentes periodos de retorno.
- Para la aceleración espectral de 0.35g de la zona de estudio, con una probabilidad de 10% de excedencia en 50 años de acuerdo a la norma E.030, se determinó que el 3.45% de edificaciones de dos pisos y el 9.98% de edificaciones de tres pisos construidos con albañilería industrial presentan probabilidad de colapso y el

27.55% de edificaciones de dos pisos y el 50.08% de edificaciones de tres pisos construidos con albañilería artesanal también presentan probabilidad de colapso.

- El riesgo sísmico se estimó en ratios de daño, donde para las edificaciones de albañilería industrial confinada de dos pisos es de 6.06% y para los de tres pisos es del 13.80% y para las edificaciones de albañilería artesanal confinada de dos pisos es de 32.09% y para los de tres pisos es del 55.20%.

5.2. Recomendaciones

Futuros estudios que empleen la metodología aquí aplicado, deben comprender una mayor población de edificaciones, lo cual permitiría representar de manera más amplia la vulnerabilidad de las edificaciones.

Para representar el daño que puedan sufrir las edificaciones, bajo la acción de sismos, se deberían estudiar el costo de reemplazo o de construcción, con sus respectivas variaciones acorde al crecimiento de la economía o zonas económicas para así tener cifras aproximadas para mitigar los riesgos.

Similar al estudio realizado en el presente trabajo, futuros estudios deben llevarse a cabo para otros sistemas estructurales, que no solo abarquen edificaciones de viviendas particulares, si no instituciones educativas, centros de salud, entre otros.

Referencias

- Abanto, T. F. (2017). *Análisis y diseño de edificaciones de albañilería confinada*. Lima, Perú: Editorial San Marcos.
- Abrahamson, N. A., y Silva, W. J. (1997). Empirical response spectral attenuation relations for shallow crustal earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(1), 94 - 127.
- Abrahamson, N., Gregor, N., y Addo, K. (2015). BC Hydro ground motion prediction equations for subduction earthquakes. *Earthquake Spectra Journal of the Earthquake Engineering Research Institute*, 32(01), 23 - 44.
- Ahmad, N., Crowley, H., Pinho, R., y Ali, Q. (2010). Displacement-based earthquake loss assessment of masonry buildings in Mansehra city, Pakistan. *Journal of Earthquake Engineering*, 14(S1), 1-37.
- Atkinson, G., y Boore, D. (2003). Empirical ground-motion relations for subduction-zone earthquakes and their application to Cascadia and other regions. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 93(04), 1703 - 1729.
- Arango, J. (2002). *Análisis, diseño y construcción en albañilería*. Lima, Perú: Editorial ACI Perú.
- Astroza M., y Schmidt A. (2009). Capacidad de deformación de muros de albañilería confinada para distintos niveles de desempeño. *Revista de Ingeniería Sísmica*, 70, 59-75.
- Barbat, A. H. (Ed.). (2007). *Herramientas necesarias para la evaluación sísmica de edificios*. Escuela Técnica Superior de Ingenieros de Caminos, Canales y Puertos de Barcelona, Barcelona, España.
- Bouillon, C. P. (Ed.). (2012). *Un espacio para el desarrollo: Los mercados de vivienda en América Latina y el Caribe*. Banco Interamericano de Desarrollo.
- Benedetti, D., y Petrini, V. (1984). Sulla vulnerabilità sismica di edifici in muratura: Proposta su un metodo di valutazione. *L'industria delle Costruzioni*, 149, 66-74.

- Blondet, M., Muñoz, A., Tarque, N., y Mosqueira, M. (2005). Estimación del riesgo sísmico de viviendas informales de albañilería confinada. *Congreso Chileno de Sismología e Ingeniería Antisísmica*. IX Jornadas Asociación Chilena de Sismología e Ingeniería Antisísmica, Concepción, Chile.
- Bolaños, A., y Monroy, O. (2004). *Espectro de Peligro Sísmico Informe* (Tesis de maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Borja, M. (2012). *Metodología de la investigación científica*. Chiclayo, Perú.
- Borzi, B., Pinho, R., y Crowley, H. (2008a). Simplified pushover-based vulnerability analysis for large-scale assessment of RC buildings. *Engineering Structures*, 30(3), 804-820.
- Borzi, B., Crowley, H., y Pinho, R. (2008b). Simplified pushover-based earthquake loss assessment (SP-BELA) method for masonry buildings. *International Journal of Architectural Heritage*, 2(4), 353-376.
- Calvi, G. M. (1999). A displacement-based approach for vulnerability evaluation of classes of buildings. *Journal of Earthquake Engineering*, 3(03), 411-438.
- Cattari, S., Lagomarsino, S., y Ottonelli, D. (2014). Fragility curves for masonry buildings from empirical and analytical models. In *Proceedings of the 2nd Conference on Earthquake Engineering and Seismology, Istanbul* (pp. 25-29).
- Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2013). *Reducción de la vulnerabilidad y atención de emergencias por desastres*. Universidad Nacional de Ingeniería. Lima, Perú. Recuperado de <http://sigrid.cenepred.gob.pe/>
- Cornell, C. A. (1968). Engineering seismic risk analysis. *Bulletin of the seismological society of America*, 58(5), 1583-1606.
- D'Ayala, D. (2013). Assessing the seismic vulnerability of masonry buildings. In *Handbook of Seismic Risk Analysis and Management of Civil Infrastructure Systems* (pp. 334-365). Woodhead Publishing.

- D'Ayala, D., Meslem, A., Vamvatsikos, D., Porter, K., Rossetto, T., y Silva, V. (2015). *Guidelines for Analytical Vulnerability Assessment of Low/Mid-Rise Buildings*. Technical Report V1.0.0, Global Earthquake Model, Pavia, Italia.
- EERI Committee on Seismic Risk. (1989). The basics of seismic risk analysis. *Earthquake Spectra*, 5(4), 675 - 702.
- Esteva, L. (1970). Criterios para la Construcción de Espectros de Diseño. *Publicación N° 19 del Instituto de Ingeniería*. Universidad Nacional Autónoma de México.
- FEMA. (1999) *HAZUS MH-99 Technical Manual*, Federal Emergency Management Agency, Washington, D.C., US.
- FEMA-NIBS. (2009). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology*. Earthquake Model, Technical Manual. Federal Emergency Management Agency (FEMA) and National Institute of Building Sciences (NIBS). Washington D.C., US.
- FEMA P-58. (2012). *Seismic Performance Assessment of Buildings*. Federal Emergency Management Agency (FEMA). Washington D.C., US.
- Gallegos, H., y Csabonne, C. (2005). *Albañilería estructural*. Lima, Perú: Fondo Editorial PUCP.
- Flores, L.E., y Alcocer, S.R. (2001). *Estudio Analítico de estructuras de mampostería confinada*. Informe Técnico. Centro Nacional de Prevención de Desastres (Mexico), Sistema Nacional de Protección Civil, México, pp. 109.
- Kappos, A.J., Panagopoulos, G. y Penelis, G.G. (2008). Development of a seismic damage and loss scenario for contemporary and historical buildings in Thessaloniki, Greece, *Soil Dynamics and Earthquake Engineering*, 28(10–11), 836–850.
- Hwang. H.H.M., y Huo, J.R. (1994). *Generation of hazard-consistent fragility curves for seismic loss estimation studies*. Technical Report NCEER-94-0015. National Center for Earthquake Engineering Research, State University of New York at Buffalo, Buffalo, USA.

- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2006). *Manual básico para la estimación del riesgo*. Lima, Perú.
- Instituto Nacional de Estadística e Informática. (2017). *Censos Nacionales 2017: XII de Población y VII de Vivienda*. Recuperado de <https://www.inei.gob.pe/>
- Lagomarsino, S., y Giovinazzi, S. (2006). Macro seismic and Mechanical Models for the Vulnerability and Damage Assessment of Current Buildings. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4(4), 415-443.
- Laucata, J. E. (2013). *Análisis de la vulnerabilidad sísmica de las viviendas informales en la ciudad de Trujillo*. (Tesis de pregrado). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- Lovon, H. M. (2017). *Estimación de la vulnerabilidad sísmica de viviendas de albañilería confinada de Lima* (Tesis de Maestría). Pontificia Universidad Católica del Perú, Lima, Perú.
- McVerry G., y Zhao J, (2006). New Zealand Acceleration Response Spectrum Attenuation Relations for Crustal and Subduction Zone Earthquakes. *Bulletin of the New Zealand Society for Earthquake Engineering*, 1(39), 1 - 58.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento | Gobierno del Perú, (SF). *Reglamento Nacional de Edificaciones*.
- Norabuena, E., Dixon, T., Stein, S., y Harrison, C. G. A. (1999). Decelerating Nazca- South America and Nazca- Pacific plate motions. *Geophys. Res. Lett.*, 26, 3405-3408, 1999.
- Norma E.030. (2018). *Diseño sismorresistente – Reglamento Nacional de Edificaciones*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Norma E.070. (2006). *Albañilería – Reglamento Nacional de Edificaciones*. Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Priestley, M. N., y Calvi, G. M. (1991). Towards a capacity-design assessment procedure for reinforced concrete frames. *Earthquake Spectra*, 7(3), 413-437.

- Priestley, M. J. N. (1997). Displacement-based seismic assessment of reinforced concrete buildings. *Journal of earthquake engineering*, 1(01), 157-192.
- Reiter, L. (1990). *Earthquake hazard analysis: issues and insights*. New York, US: Columbia University Press, c1990.
- Restrepo-Velez L. F. (2003). *A simplified mechanics-based procedure for the seismic risk assessment of unreinforced masonry buildings*. Individual Study, Pavia, Italy: ROSE School.
- Restrepo-Velez L. F., y Magenes G. (2004). Simplified procedure for the seismic risk assessment of unreinforced masonry buildings. Proceedings of the Thirteenth World Conference on Earthquake Engineering, Vancouver, Canadá, paper N°. 2561.
- Riahi, Z., Elwood, K., y Alcocer, S. (2009). Backbone Model for Confined Masonry Walls for Performance-Based Seismic Design. *Journal of Structural Engineering*, 135(6), 644-654.
- Sadigh, K., Chang, C. Y., Egan, J. A., Makdisi, F., y Youngs, R. R. (1997). Attenuation relationships for shallow crustal earthquakes based on California strong motion data. *Seismological research letters*, 68(1), 180-189.
- San Bartolomé, A. (1994). *Construcciones de albañilería: Comportamiento sísmico y diseño estructural*. Fondo Editorial PUCP. Lima, Perú.
- Servicio Nacional de la Industria de la Construcción. (2016). *Actualización del programa de cómputo orientado a la determinación del peligro sísmico en el País*. Lima, Perú, Recuperado de <http://www.sencico.gob.pe/investigacion/publicaciones.php?id=492>
- Servicio Nacional de la Industria de la Construcción. (2005). *Comentarios a la norma técnica de edificación E.070 Albañilería informe final*. Elaborado por Ángel San Bartolomé.
- Silva, G. F. (2017). *Riesgo sísmico de las viviendas de albañilería confinada de la Urbanización Las Almendras de la Ciudad de Jaen*. (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Cajamarca, Cajamarca, Perú.

- Silva, V., Yepes-Estrada, C. y Weatherill, G. (2017). Earthquake Hazard and Risk Assessment. *Evaluación Nacional de Riesgo de Desastres*. Unidet Nations Office for Disaster Risk Reduction.
- Sirumbal, L. F. (2011). *Comportamiento sísmico de edificaciones de albañilería confinada de baja altura*. Universidad Nacional de Ingeniería.
- Spence, R., Coburn, A.W., y Pomonis, A. (1992) Correlation of ground motion with building damage: the definition of a new damage-based seismic intensity scale, *Proceedings of the Tenth World Conference on Earthquake Engineering*, 1(01), 551–556.
- Tavara, H. (2014). *Evaluación del peligro asociado a los sismos y efectos secundarios en Perú*. Lima, Perú: Instituto Geofísico del Perú.
- Tomažević, M. (1999). *Earthquake-Resistant Design of Masonry Buildings*. London, England: Imperial College Press.
- Tomažević, M., y Klemenc, I. (1997). Verification of seismic resistance of confined masonry buildings. *Earthquake engineering & structural dynamics*, 26(10), 1073-1088.
- Weichert, D. (1980), Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 70(4), 1337 – 1346.
- Yáñez, F., Astroza, M., Holmberg, A., y Ogaz, O. (2004, August). Behavior of confined masonry shear walls with large openings. In *Proceedings of the 13th world conference on earthquake engineering, Vancouver, Canada, Paper*, No. 3438.
- Youngs, R. R., Chiou, S. J., Silva, W. J., y Humprey, J. R. (1997). Strong Ground Motion Attenuation Relationships for Subduction Zone Earthquakes. *Seismological Research Letters*, 68(01), 58 – 73.
- Zhao, J., Zhang, J., Asano, A., Ohno, Y., Oouchi, T., y otros. (2006). Attenuation Relations of Strong Ground Motion in Japan Using Site Classification Based on Predominant Period, *Bulletin of the Seismological Society of America*, 96(03), 898 – 913, June 2006. doi: 10.1785/0120050122.

Anexos

Anexo A. Ensayos de resistencia a compresión diagonal



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

HACE CONSTAR

Que los señores Bachilleres en Ingeniería Civil:

WINDER ILLACUTIPA PEREZ

Código universitario N° 201322718

AYDA MARIBEL ILLACUTIPA PEREZ

Código universitario N° 201322745

Han realizado ensayos en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales para completar su trabajo de tesis denominado: **“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca”** con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos efectuados por los tesisistas fueron los siguientes:

- ✓ 08 Ensayos de Compresión Diagonal de Muros de Albañilería

Los trabajos se realizaron en el Laboratorio de Estructuras, llevándose a cabo el 13 de diciembre del 2018.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen por conveniente.

Juliaca, Villa Chullunquiani, 13 de mayo del 2019

Ing. Herson Duberly Pari Cusi
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil

Bach. Wildo Alexis Supo Gutierrez
Jefe de Laboratorio



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



FICHA DE REPORTE DE ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN DIAGONAL

“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca”

Investigadores: Winder Illacutipa Perez

Fecha: 13/12/2018

Ayda Maribel Illacutipa Perez

Cuadro: Resistencia a la compresión diagonal albañilería king kong 18 huecos

Espécimen	L (cm)	H (cm)	D (cm)	t (cm)	P _{Max} (kg)	A _D (cm ²)	τ (kg/cm ²)
M01	62.97	67.22	92.11	13.85	10606.71	1275.6857	8.31
M02	63.10	67.23	92.20	14.05	10090.75	1295.4590	7.79
M03	63.42	66.65	92.00	14.07	10455.80	1294.4644	8.08
M04	63.07	67.13	92.11	14.17	10563.88	1305.1994	8.09
					v _m	8.07	kg/cm ²
					σ	0.22	kg/cm ²
					v' _m	7.85	kg/cm ²
					Error	2.67%	%

Cuadro: Resistencia a la compresión diagonal albañilería artesanal sólido

Espécimen	L (cm)	H (cm)	D (cm)	t (cm)	P _{Max} (kg)	A _D (cm ²)	τ (kg/m ²)
M01	65.23	65.93	92.75	12.07	5808.10	1119.4375	5.19
M02	65.17	64.95	92.01	12.05	5550.12	1108.7068	5.01
M03	65.50	65.43	92.58	12.12	5704.09	1122.0878	5.08
M04	65.22	65.57	92.48	12.07	5887.63	1116.2677	5.27
					v _m	5.14	kg/cm ²
					σ	0.12	kg/cm ²
					v' _m	5.02	kg/cm ²
					Error	2.29%	%

Anexo B. Ensayo de granulometría de agregados finos



ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

CONSTANCIA

El que suscribe Ing. Herson Duberly Pari Cusi; Coordinador de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Peruana Unión – Filial Juliaca.

HACE CONSTAR

Que los señores Bachilleres en Ingeniería Civil:

WINDER ILLACUTIPA PEREZ

Código universitario N° 201322718

AYDA MARIBEL ILLACUTIPA PEREZ

Código universitario N° 201322745

Han realizado ensayos en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales para completar su trabajo de tesis denominado: **“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca”** con la finalidad de obtener el título profesional de Ingeniero Civil.

Los ensayos efectuados por los tesisistas fueron los siguientes:

- ✓ 01 Ensayo de Análisis Granulométrico.

Los trabajos se realizaron en el Laboratorio de Tecnología del Concreto y Ensayos de los Materiales, llevándose a cabo el 15 de mayo del 2018.

Se expide la presente constancia a solicitud de los interesados para los fines que estimen por conveniente.

Juliaca, Villa Chullunquiani, 17 de mayo del 2019



Ing. Herson Duberly Pari Cusi
Coordinador E.P. de Ingeniería Civil



Ing. Yesenia Apaza Pinto
Jefe de Laboratorio



FICHA DE REPORTE DE ENSAYO DE GRANULOMETRÍA DE AGREGADOS FINOS

“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca”

Investigadores: Winder Illacutipa Perez
 Ayda Maribel Illacutipa Perez

Descripción:

Cantera: Cabanillas (Coordenadas: -15.644072 Este, -70.354076 Norte. Altitud: 3885 msnm), Distrito Cabanillas, Provincia San Román.

Peso inicial: 1000.00 gr

Peso final: 996.10 gr

Pérdida: 0.39%

Análisis granulométrico por tamizado:

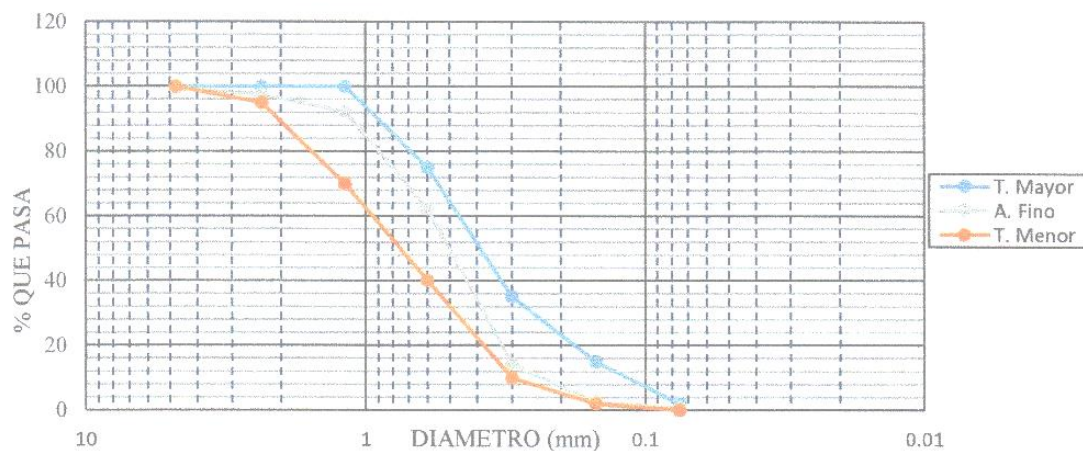
Malla		Retenido	% Retenido parcial	% Retenido acumulado	% Que pasa	Especificación E.070	
No	mm					Menor	Mayor
3/8"	9.5				100.00		
N° 04	4.75	6.10	0.61	0.61238831	99.39	100	100
N° 08	2.36	17.93	1.80	2.41240839	97.59	95	100
N° 16	1.18	53.08	5.33	7.74119064	92.26	70	100
N° 30	0.6	298.50	29.97	37.7080614	62.29	40	75
N° 50	0.3	478.25	48.01	85.7203092	14.28	10	35
N° 100	0.15	115.61	11.61	97.3265736	2.67	2	15
N° 200	0.075	19.21	1.93	99.2550949	0.74	0	2
Fondo		7.42	0.74	100	0		
Total		996.10	100.00				

Datos calculados:

MF: 2.32

Tamaño máximo nominal: N° 4

Curva granulométrica:



Anexo C. Ficha de reporte de toma de datos de edificaciones



UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
Escuela Profesional de Ingeniería Civil



FICHA DE REPORTE DE EDIFICACIONES DE ALBAÑILERÍA CONFINADA

“Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca”

Investigadores: Winder Illacutipa Perez

Fecha: 28-03-19

Ayda Maribel Illacutipa Perez

N°	Número de pisos						Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5	Otro	Industrial	Artesanal	Este	Norte
01			X					X	378493.20	8286888.5
02				X				X	378510.6	8286912.7
03					X			X	378494.6	8286907.8
04				X			X		378470.8	8286916.4
05			X					X	378493.1	828659.3
06		X						X	378468.9	8286977.7
07			X				X		378460.0	8287029.1
08			X					X	378450.3	8287046.7
09		X					X		378439.2	8287049.2
10	X							X	378424.9	8287125.6
11				X			X		378413.5	8287095.7
12			X					X	378426.7	8287107.4
13		X						X	378414.6	8287102.2
14			X					X	378424.6	8287116.9
15	X						X		378422.1	8287127.6
16	X							X	378415.0	8287137.5
17		X						X	378410.6	8287150.5
18		X						X	378403.6	8287155.2
19				X			X		378374.6	8287195.4
20			X					X	378390.9	8287191.2
21			X					X	378385.5	8287212.6
22		X						X	378382.2	8287221.4
23			X					X	378359.3	8287246.5
24		X						X	378366.9	8287267.1
25				X				X	378352.3	8287264
26				X			X		378354.3	8287301.8
27		X						X	378342.8	8287294.2
28		X						X	378336.8	8287299.9

Nº	Número de pisos						Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5	Otro	Industrial	Artesanal	Este	Norte
29			X					X	378328.9	8287309.4
30		X						X	378322	8287327.4
31	X							X	378313.4	8287331.5
32		X						X	378305.5	8287340.3
33			X				X		378296.6	8287346
34		X						X	378233.5	8287386.3
35		X						X	378229.8	8287422.6
36				X			X		378202.9	8287401.9
37	X						X		378207.0	8287430.9
38					X		X		378202.9	8287403.6
39		X						X	378193.8	8287437.4
40		X						X	378187.0	8287447.6
41					X		X		378185.9	8287458.1
42		X						X	378184.1	8287478.7
43				X				X	378068.1	8287491.8
44		X						X	378157.2	8287505.9
45		X						X	378168.9	8287685.8
46		X						X	378167.6	8287695.0
47				X				X	378168.7	8287758.7
48	X							X	378160.3	8287746.4
49		X						X	378167.7	8287692.9
50		X						X	378165.0	8287707.9
51			X				X		378116.9	8287926.3
52				X			X		378116.8	8287944.4
53				X				X	378240.9	8287977.3
54			X					X	378118.2	8287965.0
55			X				X		378223.3	8288013.3
56		X					X		378118.2	8287972.4
57		X					X		378240.6	8287965.4
58			X					X	378112.4	8287986.7
59			X					X	378225.7	8288048.1
60		X						X	378104.6	8287998.6
61		X						X	378114.2	8288004.9
62		X						X	378113.0	8288019.5
63		X					X		378114.1	8288026.6
64		X						X	378103.1	8288037.1
65			X				X		378112.9	8288039.4
66			X				X		378217.2	8288050.6

Nº	Número de pisos						Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5	Otro	Industrial	Artisanal	Este	Norte
67		X						X	378221.6	8288063.8
68			X					X	378209.4	8288067.5
69			X				X		378108.7	8288063.0
70	X							X	378215.5	8288090.2
71		X						X	378216.8	8288139.9
72		X						X	378196.7	8288150.3
73			X					X	378103.4	8288139.1
74		X						X	378101.9	8288208.4
75		X						X	378091.6	828272.7
76	X							X	378090.0	8288292.7
77		X						X	378093.6	8288340.1
78				X			X		378094.0	8288324.8
79		X					X		378088.8	8288355.0
80		X						X	378088.2	8288265.9
81			X				X		378082.4	8288389.3
82				X			X		378076.4	8288379.2
83	X							X	378080.8	8288398.3
84	X							X	378080.8	8288441.3
85			X				X		378150.3	8288440.0
86			X					X	378143.0	8288477.5
87		X						X	378059.2	8288511.4
88			X				X		378142.9	8288532.0
89	X							X	378059.4	8288528.6
90		X						X	378139.7	8288548.7
91	X						X		378121.4	8288683.6
92		X						X	378030.9	8288668.3
93			X					X	378138.8	8288705.2
94		X						X	378026.2	8288694.6
95			X				X		378018.3	8288705.4
96	X						X		378120.5	8288682.0
97			X				X		378090.2	8288914.2
98		X					X		377988.7	8288948.9
99		X					X		378072.9	8288964.4
100	X						X		378071.3	8288976.8
101		X						X	377969.6	8289059.4
102	X							X	377977.3	8289006.8
103			X				X		377959.2	8289060.0
104		X						X	377966.1	8289092.3

Nº	Número de pisos						Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5	Otro	Industrial	Artesanal	Este	Norte
105			X				X		377958.5	8289110.8
106		X					X		378045.8	8289119.1
107		X						X	378045.2	8289137.4
108		X						X	377950.7	8289145.5
109		X					X		377944.6	8289155.1
110			X				X		377947.7	8289186.4
111		X					X		377941.1	8289202.5
112	X							X	377939.4	8289222.9
113				X			X		378023.9	8289267.1
114			X				X		378017.8	8289282.2
115		X					X		377933.1	8289290.9
116		X					X		378015.2	8289333.0
117		X					X		377925.4	8289309.1
118		X						X	377921.0	8289326.5
119		X						X	377917.0	8289357.7
120			X				X		377911.2	8288291.3
121			X				X		377910.1	8288311.2
122	X						X		377997.5	8289428.7
123			X				X		377905.8	8289426.1
124		X						X	377925.3	8290412.2
125		X						X	377925.5	8290428.6
126		X					X		377915.7	8290458.5
127					X		X		377995.4	8289438.4
128	X						X		377998.7	8289405.0
129			X				X		377908.4	8289434.1
130		X					X		377993.8	8289450.0
131		X						X	377903.7	8289431.7
132		X						X	377904.5	8289450.4
133	X							X	377986.5	8289501.3
134	X							X	377985.2	8289447.6
135		X					X		377984.1	8289498.7
136		X						X	377898.6	8289516.2
137			X				X		377977.6	8289536.8
138			X				X		377882.9	8289562.6
139		X						X	377876.5	8289585.9
140		X						X	377870.7	8289654.2
141	X							X	377953.5	8289695.6
142		X					X		377863.4	8289689.9

N°	Número de pisos						Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5	Otro	Industrial	Artesanal	Este	Norte
143		X						X	377868.4	8290218.1
144	X						X		377864.2	8290216.9
145					X		X		377775.3	8290218.3
146				X			X		377857.4	8290243.4
147		X					X		377776.3	8290227.3
148		X						X	377742.7	8290266.4
149	X							X	377854.5	8290287.1
150		X					X		377854.5	8290307.2
151		X					X		377851.1	8290320.4
152		X					X		377845.1	8290324.8
153			X					X	377812.0	8290506.7
154		X						X	377812.7	8290535.1
155					X		X		377730.0	8290523.4
156		X						X	377804.1	8291650.6
157		X					X		377722.7	8292008.5
158				X			X		377714.2	8290544.2
159		X					X		377722.9	8290543.7
160		X						X	377730.4	8290554.0
161		X						X	377722.2	8290573.4
162			X				X		377729.6	8290558.9
163	X						X		377808.8	8290534.5
164		X					X		377807.9	8290551.2
165		X					X		377819.5	8290615.9
166	X							X	377722.1	8290594.9
167				X			X		377718.9	8290598.7
168			X				X		377805.3	8290573.8
169		X						X	377800.8	8290589.4
170		X						X	377805.0	8290595.9
171			X					X	377820.1	8290617.5
172	X							X	377818.2	8290647.5
173	X						X		377714.3	8290631.9
174	X						X		377818.7	8290663.7
175		X						X	377703.9	8290657.8
176				X			X		376704.9	8290737.4
177		X					X		376698.6	8290782.0
178			X					X	377683.0	8290824.8
179		X						X	376693.1	8290806.7
180			X					X	378328.9	8287156.1

Nº	Número de pisos						Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5	Otro	Industrial	Artesanal	Este	Norte
181			X					X	378324.3	8287176.0
182			X					X	378339.2	8287169.2
183			X				X		378348.4	8287171.8
184	X							X	378351.8	8287185.5
185			X					X	378364.5	8287177.5
186		X						X	378359.5	8287189.4
187		X						X	378369.2	8287192.0
188			X				X		378381.7	8287181.9
189		X						X	378391.9	8287200.4
190		X						X	378399.5	8287190.7
191				X				X	378413.4	8287260.6
192			X				X		378419.3	8287196.8
193		X						X	378437.8	828703.2
194			X					X	378451.4	8287211.4
195			X					X	378448.2	8287220.5
196			X					X	378453.8	8287212.4
197					X		X		378454.4	8287225.7
198			X					X	378463.5	8287216.8
199			X					X	378458.1	8287228.2
200		X					X		378468.3	8287229.4
201						6	X		378478.9	8287220.8
202				X			X		378488.3	8287226.5
203			X					X	378485.3	8287236.7
204				X				X	378485.4	8287227.4
205		X						X	378499.7	828741.9
206			X					X	378515.4	8287247.8
207		X						X	378520.8	8287237.1
208			X					X	378533.0	8287243.4
209			X					X	378530.8	8287253.1
210			X					X	378542.8	8287246.4
211		X						X	378552.7	8287249.6
212				X			X		378551.0	8287263.8
213				X				X	378563.5	8287252.7
214	X							X	378569.3	8287268.8
215			X					X	378582.6	8287272.0
216			X					X	378585.3	8287260.9
217		X						X	378606.7	8287281.3
218				X				X	378614.9	8287272.5

N°	Número de pisos					Otro	Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5		Industrial	Artesanal	Este	Norte
219			X				X		378736.0	828718.2
220			X				X		378764.4	8287182.2
221		X						X	378763.1	828735.6
222			X					X	378795.5	8287214.4
223				X			X		378687.2	8287203.1
224			X					X	378714.5	8287185.8
225			X					X	378716.3	8287215.8
226		X						X	378755.4	8287201.4
227			X					X	378757.2	8287227.6
228			X					X	378786.6	8287211.3
229		X						X	378792.3	8287241.4
230		X						X	378811.0	8287223.0
231		X						X	378838.4	8287233.9
232	X						X		378826.5	8287254.2
233		X						X	378848.8	8287266.9
234			X					X	378881.3	8287252.5
235			X						378898.6	8287283.7
236				X			X		378917.3	8287262.4
237		X						X	378927.8	828704.3
238		X						X	378970.2	8287268.5
239			X					X	378999.9	8287297.4
240				X			X		379016.1	8287332.4
241	X							X	379028.2	8287313.0
242			X				X		379023.2	8287336.3
243			X					X	379053.6	8287339.3
244			X					X	379066.2	8287322.9
245					X		X		379082.1	8287351.1
246						X	X		379098.7	8287364.8
247				X			X		379118.1	8287348.4
248		X						X	379124.9	8287383.3
249		X					X		379129.9	8287358.2
250			X				X		379132.8	8287373.7
251		X					X		379148.6	8287366.1
252			X					X	379148.4	8287384.4
253			X					X	379167.8	8287400.7
254		X						X	379175.6	8287403.8
255				X				X	379176.6	8287402.3
256			X				X		379174.7	8287393.3

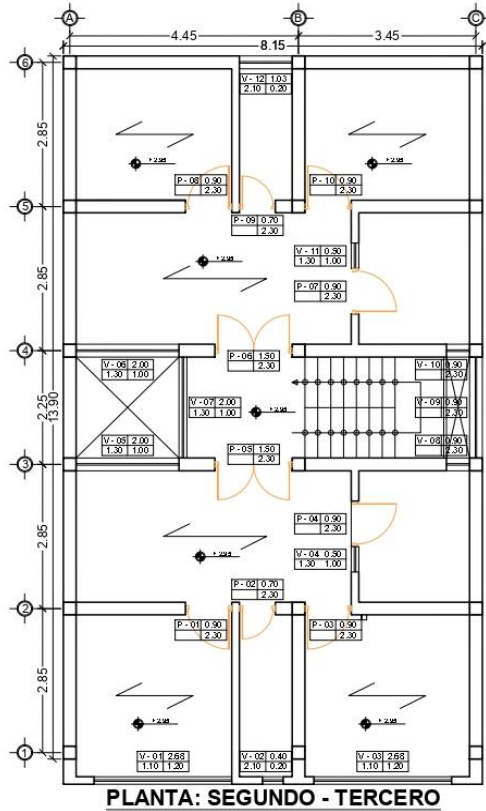
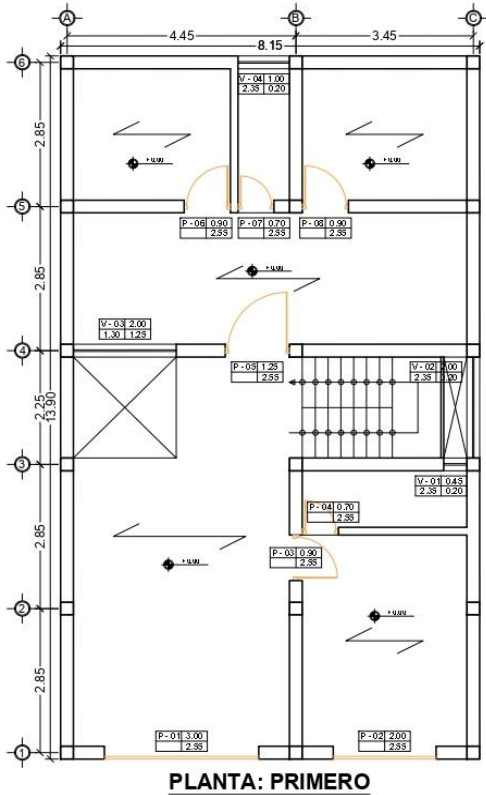
Nº	Número de pisos						Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5	Otro	Industrial	Artesanal	Este	Norte
257			X					X	379194.3	8287394.3
258				X			X		379211.9	8287382.8
259		X						X	379228.5	8287390.6
260	X						X		379204.9	8287404.1
261					X		X		379235.4	8287351.9
262						6	X		379190.10	8287486.1
263						6	X		379225.4	8287458.2
264						6	X		379260.7	8287386.9
265		X						X	379297.6	8287406.4
266		X						X	379315.1	8287414.3
267					X		X		379306.1	8287436.6
268			X					X	379334.5	8287424.1
269					X			X	379321.7	8287447.4
270		X						X	379365.7	8287432.9
271		X						X	379347.00	8287453.3
272		X						X	379370.5	8287431.1
273						6	X		379362.5	8287469.7
274			X					X	379422.8	8287482.7
275		X						X	379535.3	8287372.8
276	X							X	379478.00	8287348.3
277						6	X		379516.7	8287421.0
278						6	X		379498.1	8287451.9
279					X			X	379493.00	8287474.1
280	X						X		379480.1	8287516.5
281			X				X		379489.7	8287534.9
282				X			X		379403.1	8287542.2
283			X					X	379453.5	8287582.1
284			X					X	379394.2	8287564.4
285		X						X	379387.2	8287585.6
286		X						X	379392.00	8287606.9
287		X						X	379375.3	8287640.8
288				X			X		379441.7	8287616.0
289			X				X		379373.5	8287615.5
290			X					X	379427.6	8287663.2
291			X					X	379377.4	8287623.4
292		X						X	379370.4	8287639.8
293	X							X	379418.00	8287667.1
294	X							X	379412.10	8287681.6


N°	Número de pisos					Otro	Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5		Industrial	Artesanal	Este	Norte
295		X					X		379176.7	8288120.6
296		X						X	379188.00	8288103.5
297		X						X	379199.7	8288085.0
298		X						X	379210.1	8288070.0
299		X					X		379215.80	8288061.1
300					X		X		379257.10	8288094.8
301			X					X	379228.3	8288034.4
302			X				X		379223.5	8288027.4
303				X			X		379246.00	8287962.2
304			X					X	379303.4	8287958.4
305	X						X		379333.5	8287887.8
306			X				X		379286.00	8287853.9
307			X					X	379347.7	8287867.7
308		X					X		379306.00	8287826.8
309	X							X	379352.7	8287837.9
310			X					X	379304.4	8287830.4
311		X						X	379308.1	8287812.5
312	X							X	379348.6	8287841.5
313				X			X		379307.00	8287808.4
314						X	X		379336.5	8287870.1
315				X				X	379363.7	8287814.00
316		X						X	379446.1	8287783.4
317			X					X	379446.10	8287783.4
318			X				X		379471.00	8287808.7
319		X					X		379462.6	8287857.5
320			X				X		379519.5	8287849.7
321		X						X	379536.8	8287885.4
322		X					X		379526.9	8287929.8
323		X					X		379555.7	8287901.2
324				X				X	379575.5	8287923.9
325	X							X	379607.7	8287956.00
326		X						X	379612.6	8287962.00
327	X							X	379602.1	8288008.4
328		X						X	379648.5	8287995.0
329		X						X	379641.6	8288040.9
330			X				X		379669.6	8288015.4
331		X						X	379646.5	8288049.4
332		X						X	379657.9	8288061.8

Nº	Número de pisos					Otro	Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5		Industrial	Artesanal	Este	Norte
333			X				X		379673.8	8288079.2
334			X					X	379704.7	8288047.0
335			X					X	379700.6	8288108.6
336		X						X	379745.2	8288148.9
337				X				X	379761.2	8288164.1
338			X					X	379842.9	8288249.4
339	X							X	37981.3	8288239.5
340					X			X	379721.8	8288282.6
341			X				X		379953.5	8288307.1
342			X				X		379961.0	8288384.1
343	X							X	379985.0	8288342
344		X						X	380013.5	8288374.8
345		X					X		380039.5	8288398.3
346		X						X	380071.6	8288430.9
347			X				X		380067.4	8288483.7
348			X					X	380100.00	8288461.9
349						6	X		380205.7	8288526.2
350	X							X	380173.10	8288549.7
351		X					X		380175.00	8288593.9
352		X						X	380204.6	8288626.7
353			X					X	380247.00	8288618.3
354		X						X	380234.9	8288658.9
355	X							X	380275.6	8288645.0
356	X							X	380279.9	8288706.4
357		X						X	380313.00	8288680.6
358			X					X	380318.9	8288746.4
359			X					X	380378.1	8288751.5
360		X						X	380351.00	8288779.1
361				X			X		380362.4	8288790.1
362			X				X		380382.3	8288818.4
363		X					X		380415.4	8288791.1
364	X						X		380400.9	8288853.0
365		X						X	380441.9	8288853.1
366		X					X		380457.2	8288853.3
367			X				X		380464.7	8288843.9
368		X					X		380406.00	8288894.0
369			X					X	380483.8	8288921.6
370		X						X	380500.6	828881.9

Nº	Número de pisos						Tipo de albañilería		Coordenadas	
	1	2	3	4	5	Otro	Industrial	Artesanal	Este	Norte
371	X						X		380512.4	8288895.5
372		X					X		380520.9	8288903.4
373			X					X	380498.7	8288940.2
374				X			X		380509.7	8288949.9
375		X					X		380541.00	8288927.5
376	X						X		380554.8	8288941.1
377					X			X	380589.4	8288977.1
378			X				X		380564.4	8289003.6
379	X						X		380603.8	8288993.5
380		X					X		380585.6	8289028.9
381	X						X		380596.00	8289040.3
382		X					X		380618.00	8289008.3

Anexo D. Planos de las edificaciones típicas planteadas





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
ESCUOLA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

"Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Jullaca"

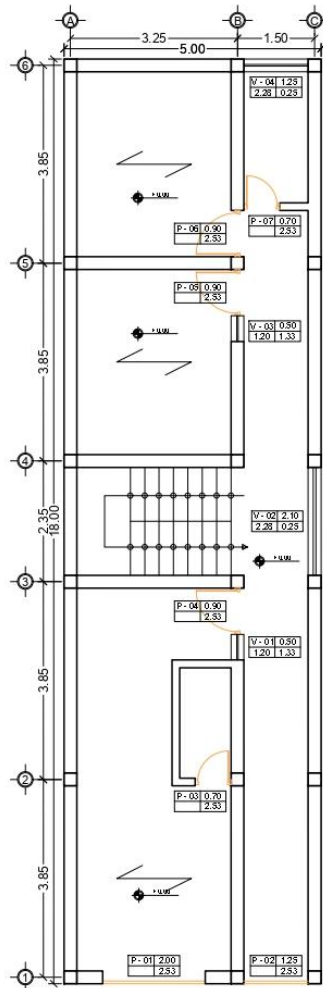
NOMBRES: **Winder Ilacutipa Perez
Ayda Maribel Ilacutipa Perez**

FECHA: **1:75**

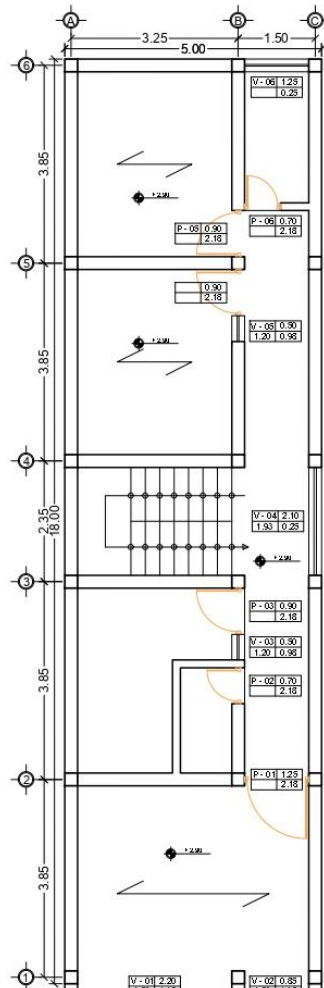
PERIODO: **Mayo 2019**

LAMINA:


PC

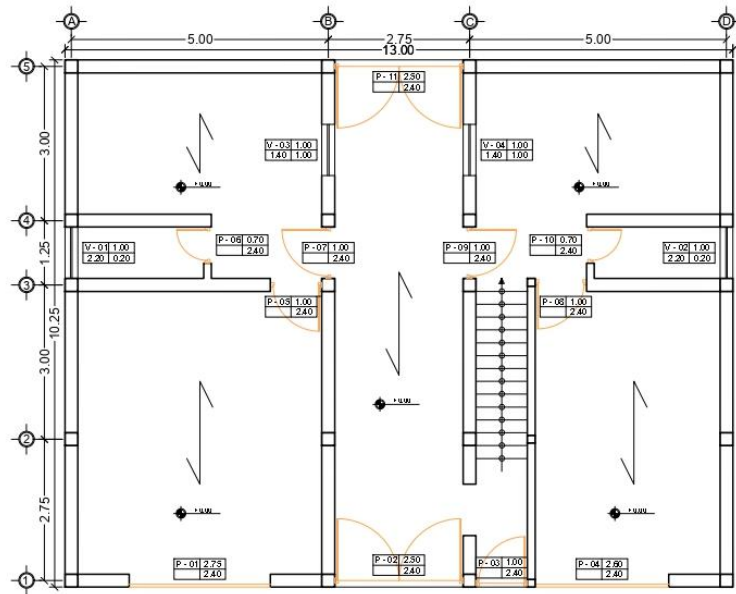


PLANTA: PRIMERO

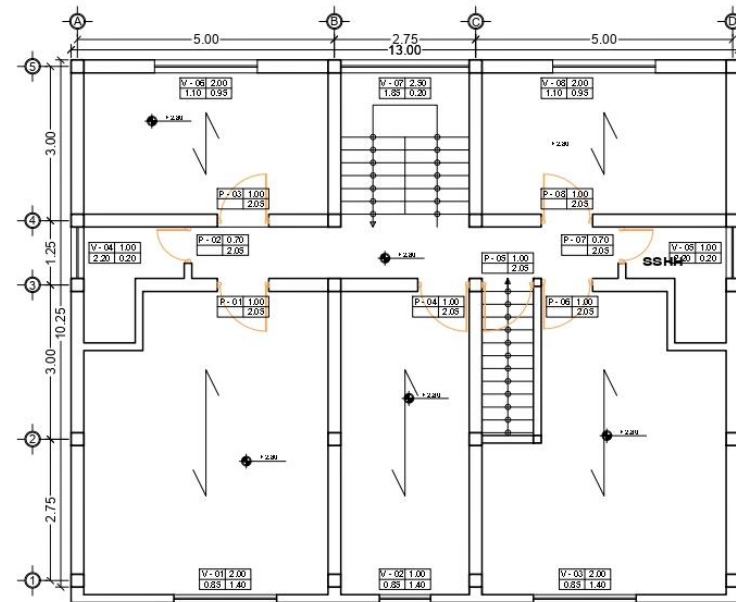


PLANTA: SEGUNDO - TERCERO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		LAMINA: <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; text-align: center; line-height: 40px;">SC</div>
	"Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca"		
	INGENIEROS:	MODALIDAD:	
	Winder Ilacutipa Perez Ayda Maribel Ilacutipa Perez	1:75 FUNDADA:	
	Mayo 2019		

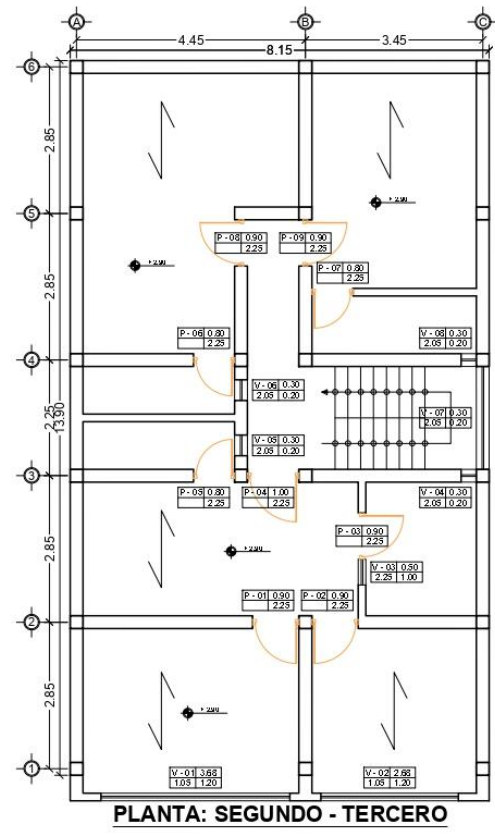
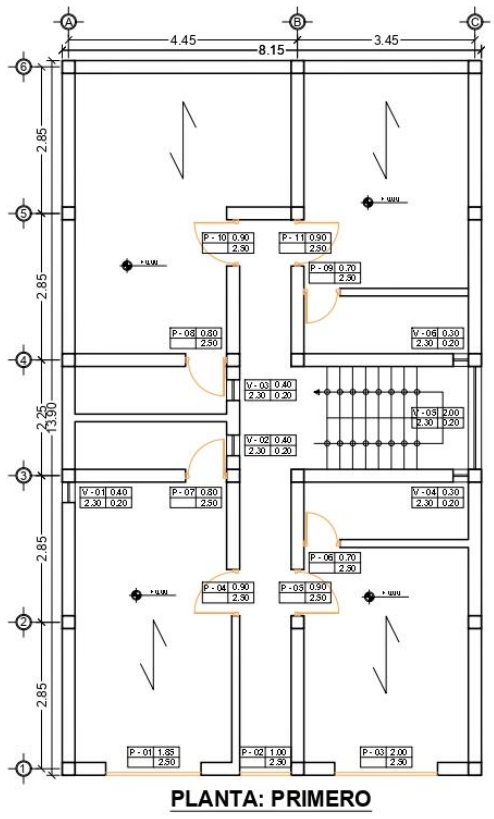



PLANTA: PRIMERO



PLANTA: SEGUNDO - TERCERO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		LÁMINA:	
	"Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca"			TC
	INGENIEROS:		ESCALAS:	
	Winder Ilacutipa Perez Ayda Maribel Ilacutipa Perez		1:75 FECHA: Mayo 2019	





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL

LAMINA:

CC

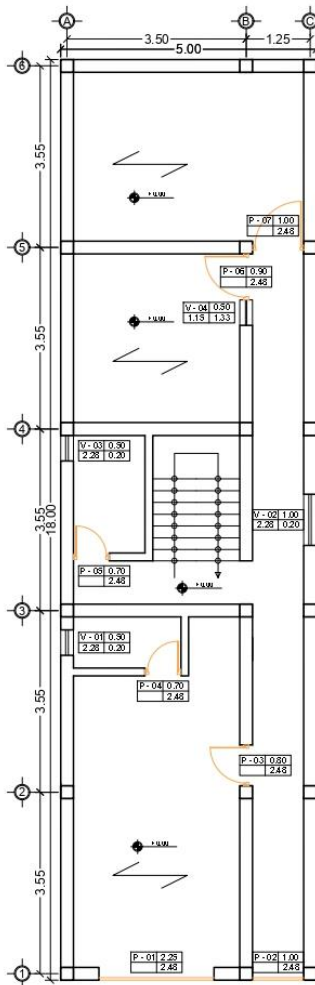
"Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca"

INTEGRANTES:
INGENIERO:

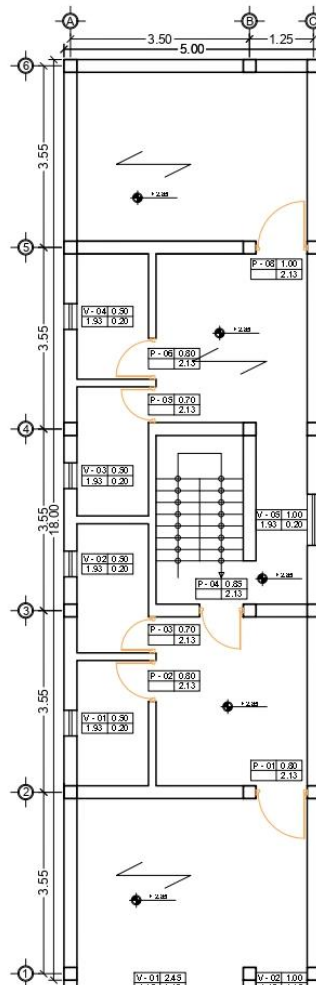
Winder Ilacutipa Perez
1:75

Ayda Maribel Ilacutipa Perez
PROFESORAL


MAYO 2019

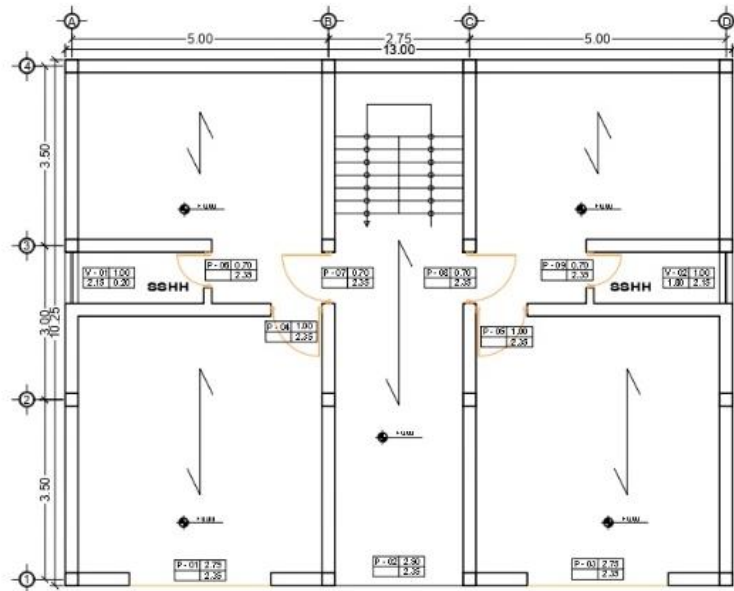


PLANTA: PRIMERO

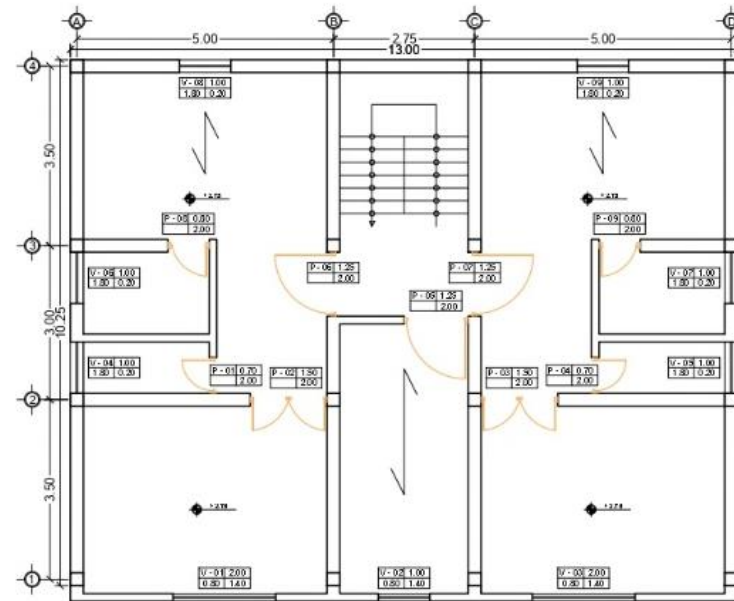


PLANTA: SEGUNDO - TERCERO


	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	LAMINA: <div align="center" style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto;"> QC </div>	
	"Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca"		
	NOMBRES: Winder Ilacutipa Perez Ayda Maribel Ilacutipa Perez		ESCALA: 1:75
	FECHA: Mayo 2019		

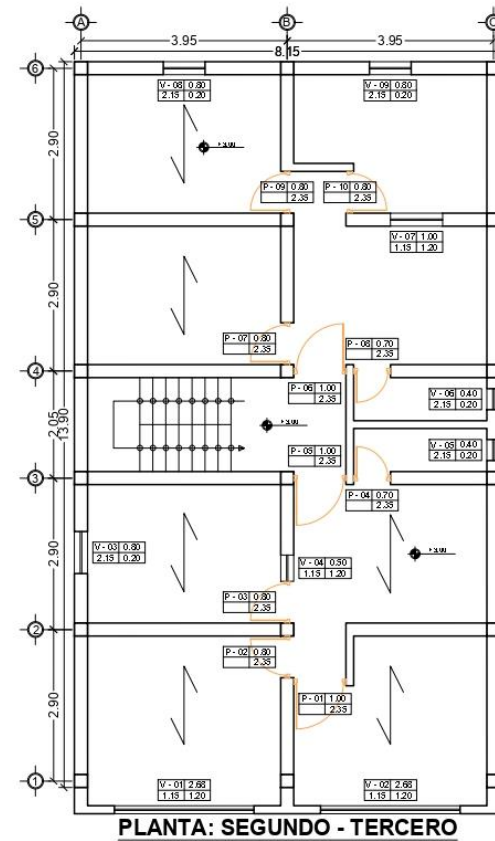
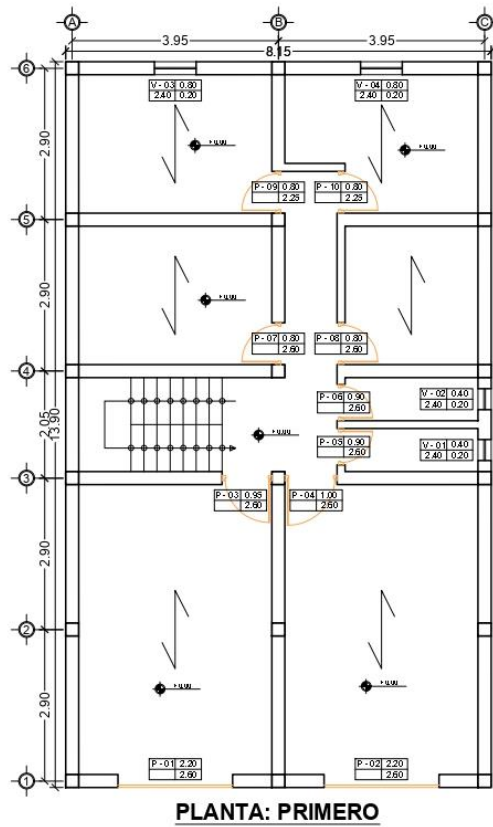



PLANTA: PRIMERO



PLANTA: SEGUNDO - TERCERO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL		LAMINA: <div style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto; display: flex; align-items: center; justify-content: center; font-size: 24px; font-weight: bold;">SC</div>
	"Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca"		
	INGENIEROS: Winder Ilacutipa Perez Ayda Maribel Ilacutipa Perez	ESCALA: 1:75 FECHA: Mayo 2019	





UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL

"Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca"

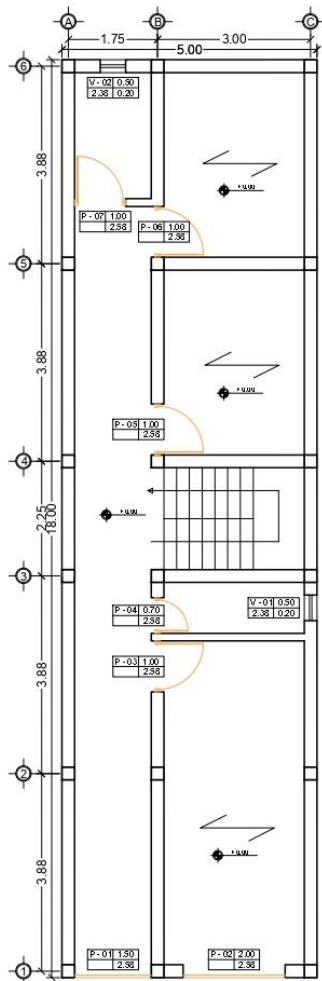
INGENIEROS:
Winder Ilacutipa Perez
Ayda Maribel Ilacutipa Perez

INGENIERO:
1:75

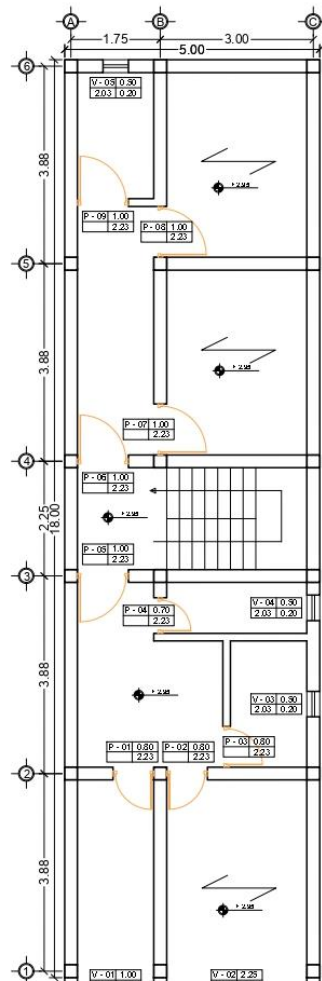
FECHA:
Mayo 2019

LAMINA:


SC

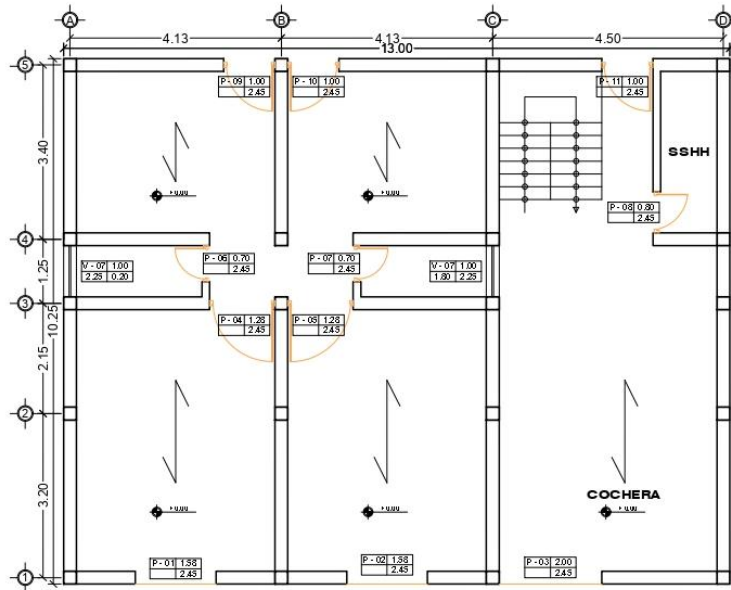


PLANTA: PRIMERO

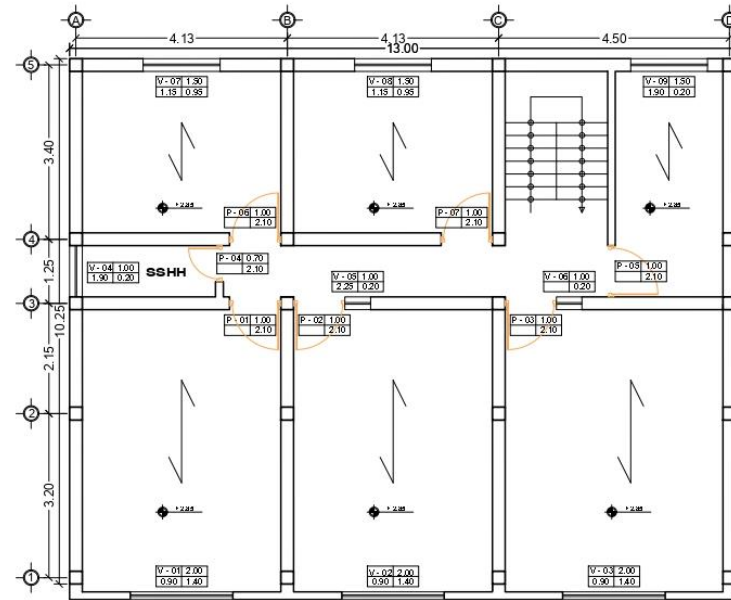


PLANTA: SEGUNDO - TERCERO


	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL	LAMINA: <div align="center" style="border: 1px solid black; width: 40px; height: 40px; margin: 0 auto;"> OC </div>	
	"Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Jullaca"		
	NOMBRE: Winder Ilacutipa Perez Ayda Maribel Ilacutipa Perez		ESCALA: 1:75
	FECHA: Mayo 2019		



PLANTA: PRIMERO



PLANTA: SEGUNDO - TERCERO

	UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL		LAMINA: <div style="border: 1px solid black; padding: 10px; width: 40px; margin: 0 auto;"> NC </div>	
	Evaluación de la vulnerabilidad sísmica mediante curvas de fragilidad de edificaciones típicas de albañilería confinada en la ciudad de Juliaca			
	NOMBRES: Winder Ilacutipa Perez Ayda Maribel Ilacutipa Perez			ESCALA: 1:75
	FECHA: Mayo 2019			

Anexo E. Cálculo de las variables de las edificaciones típicas planteadas

El área a corte de los muros confinados, el área a corte de los muros parcialmente confinados, la altura de la edificación y el número de columnas de confinamiento están determinados **por cada nivel**. El área de las edificaciones está determinada para las edificaciones completas y el peso para los pisos **primero segundo y tercero**.

Piso 1

Área de corte de pared confinada x-x		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	1.66	m ²
Edificación 2	1.35	m ²
Edificación 3	2.14	m ²
Edificación 4	2.17	m ²
Edificación 5	2.28	m ²
Edificación 6	1.96	m ²
Edificación 7	2.27	m ²
Edificación 8	1.82	m ²
Edificación 9	1.47	m ²
Media	1.90	m ²
Desv. Estandar	0.35	m ²

Área de corte de pared confinada y-y		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	4.91	m ²
Edificación 2	3.89	m ²
Edificación 3	3.89	m ²
Edificación 4	5.04	m ²
Edificación 5	5.04	m ²
Edificación 6	5.04	m ²
Edificación 7	2.87	m ²
Edificación 8	2.87	m ²
Edificación 9	5.60	m ²
Media	4.35	m ²
Desv. Estandar	1.01	m ²

Piso 2

Área de corte de pared confinada x-x		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	1.14	m ²
Edificación 2	1.35	m ²
Edificación 3	2.14	m ²
Edificación 4	2.66	m ²
Edificación 5	1.75	m ²
Edificación 6	2.65	m ²
Edificación 7	0.20	m ²
Edificación 8	2.80	m ²
Edificación 9	1.19	m ²
Media	1.76	m ²
Desv. Estandar	0.88	m ²

Área de corte de pared confinada y-y		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	4.76	m ²
Edificación 2	4.48	m ²
Edificación 3	3.89	m ²
Edificación 4	5.04	m ²
Edificación 5	5.57	m ²
Edificación 6	5.04	m ²
Edificación 7	2.87	m ²
Edificación 8	4.31	m ²
Edificación 9	5.46	m ²
Media	4.60	m ²
Desv. Estandar	0.84	m ²

Piso 3

Área de corte de pared confinada x-x		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	1.14	m ²
Edificación 2	1.35	m ²
Edificación 3	2.14	m ²
Edificación 4	2.66	m ²
Edificación 5	1.75	m ²
Edificación 6	2.65	m ²
Edificación 7	0.20	m ²
Edificación 8	2.80	m ²
Edificación 9	1.19	m ²
Media	1.76	m ²
Desv. Estandar	0.88	m ²

Área de corte de pared confinada y-y		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	4.76	m ²
Edificación 2	4.48	m ²
Edificación 3	3.89	m ²
Edificación 4	5.04	m ²
Edificación 5	5.57	m ²
Edificación 6	5.04	m ²
Edificación 7	2.87	m ²
Edificación 8	4.31	m ²
Edificación 9	5.46	m ²
Media	4.60	m ²
Desv. Estandar	0.84	m ²

Área de corte de pared parcialmente confinada x-x		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	1.54	m ²
Edificación 2	1.54	m ²
Edificación 3	1.54	m ²
Edificación 4	0.32	m ²
Edificación 5	0.32	m ²
Edificación 6	0.32	m ²
Edificación 7	1.64	m ²
Edificación 8	2.46	m ²
Edificación 9	2.46	m ²
Media	1.35	m ²
Desv. Estandar	0.86	m ²

Área de corte de pared parcialmente confinada x-x		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	2.05	m ²
Edificación 2	1.54	m ²
Edificación 3	1.54	m ²
Edificación 4	0.00	m ²
Edificación 5	0.63	m ²
Edificación 6	0.32	m ²
Edificación 7	2.46	m ²
Edificación 8	0.82	m ²
Edificación 9	1.64	m ²
Media	1.22	m ²
Desv. Estandar	0.82	m ²

Área de corte de pared parcialmente confinada x-x		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	2.05	m ²
Edificación 2	1.54	m ²
Edificación 3	1.54	m ²
Edificación 4	0.00	m ²
Edificación 5	0.63	m ²
Edificación 6	0.32	m ²
Edificación 7	2.46	m ²
Edificación 8	0.82	m ²
Edificación 9	1.64	m ²
Media	1.22	m ²
Desv. Estandar	0.82	m ²

Área de corte de pared parcialmente confinada y-y		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	0.00	m ²
Edificación 2	1.50	m ²
Edificación 3	0.88	m ²
Edificación 4	1.00	m ²
Edificación 5	1.13	m ²
Edificación 6	1.13	m ²
Edificación 7	1.29	m ²
Edificación 8	1.29	m ²
Edificación 9	0.00	m ²
Media	0.91	m ²
Desv. Estandar	0.55	m ²

Área de corte de pared parcialmente confinada y-y		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	0.00	m ²
Edificación 2	0.88	m ²
Edificación 3	0.88	m ²
Edificación 4	0.76	m ²
Edificación 5	0.00	m ²
Edificación 6	1.13	m ²
Edificación 7	1.29	m ²
Edificación 8	0.65	m ²
Edificación 9	0.00	m ²
Media	0.62	m ²
Desv. Estandar	0.50	m ²

Área de corte de pared parcialmente confinada y-y		
Edificación	A_{i-d}	Unidad
Edificación 1	0.00	m ²
Edificación 2	0.88	m ²
Edificación 3	0.88	m ²
Edificación 4	0.76	m ²
Edificación 5	0.00	m ²
Edificación 6	1.13	m ²
Edificación 7	1.29	m ²
Edificación 8	0.65	m ²
Edificación 9	0.00	m ²
Media	0.62	m ²
Desv. Estandar	0.50	m ²

Altura (entrepiso-i)		
Edificación	h_i (m)	Unidad
Edificación 1	2.75	m
Edificación 2	2.70	m
Edificación 3	2.80	m
Edificación 4	2.73	m
Edificación 5	2.68	m
Edificación 6	2.78	m
Edificación 7	2.60	m
Edificación 8	2.55	m
Edificación 9	2.65	m
Media	2.69	m
Desv. Estandar	0.08	m

Altura (entrepiso-i)		
Edificación	h_i (m)	Unidad
Edificación 1	2.50	m
Edificación 2	2.45	m
Edificación 3	2.55	m
Edificación 4	2.38	m
Edificación 5	2.33	m
Edificación 6	2.43	m
Edificación 7	2.25	m
Edificación 8	2.20	m
Edificación 9	2.30	m
Media	2.38	m
Desv. Estandar	0.12	m

Altura (entrepiso-i)		
Edificación	h_i (m)	Unidad
Edificación 1	7.75	m
Edificación 2	7.60	m
Edificación 3	7.90	m
Edificación 4	7.49	m
Edificación 5	7.34	m
Edificación 6	7.64	m
Edificación 7	7.10	m
Edificación 8	6.95	m
Edificación 9	7.25	m
Media	7.45	m
Desv. Estandar	0.31	m

Número de columnas de confinamiento x-x		
Edificación	n_{i-d}	Unidad
Edificación 1	10	NA
Edificación 2	10	NA
Edificación 3	11	NA
Edificación 4	9	NA
Edificación 5	9	NA
Edificación 6	9	NA
Edificación 7	12	NA
Edificación 8	8	NA
Edificación 9	10	NA
Media	10	NA
Desv. Estandar	1	NA

Número de columnas de confinamiento x-x		
Edificación	n_{i-d}	Unidad
Edificación 1	13	NA
Edificación 2	12	NA
Edificación 3	12	NA
Edificación 4	11	NA
Edificación 5	10	NA
Edificación 6	11	NA
Edificación 7	12	NA
Edificación 8	8	NA
Edificación 9	10	NA
Media	11	NA
Desv. Estandar	2	NA

Número de columnas de confinamiento x-x		
Edificación	n_{i-d}	Unidad
Edificación 1	13	NA
Edificación 2	12	NA
Edificación 3	12	NA
Edificación 4	11	NA
Edificación 5	10	NA
Edificación 6	11	NA
Edificación 7	12	NA
Edificación 8	8	NA
Edificación 9	10	NA
Media	11	NA
Desv. Estandar	2	NA

Número de columnas de confinamiento y-y		
Edificación	n_{i-d}	Unidad
Edificación 1	17	NA
Edificación 2	17	NA
Edificación 3	16	NA
Edificación 4	18	NA
Edificación 5	16	NA
Edificación 6	16	NA
Edificación 7	20	NA
Edificación 8	16	NA
Edificación 9	20	NA
Media	17	NA
Desv. Estandar	2	NA

Número de columnas de confinamiento y-y		
Edificación	n_{i-d}	Unidad
Edificación 1	16	NA
Edificación 2	18	NA
Edificación 3	14	NA
Edificación 4	17	NA
Edificación 5	14	NA
Edificación 6	16	NA
Edificación 7	20	NA
Edificación 8	16	NA
Edificación 9	20	NA
Media	17	NA
Desv. Estandar	2	NA

Número de columnas de confinamiento y-y		
Edificación	n_{i-d}	Unidad
Edificación 1	16	NA
Edificación 2	18	NA
Edificación 3	14	NA
Edificación 4	17	NA
Edificación 5	14	NA
Edificación 6	16	NA
Edificación 7	20	NA
Edificación 8	16	NA
Edificación 9	20	NA
Media	17	NA
Desv. Estandar	2	NA

Área de las edificaciones

Área		
Edificación	A_T	Unidad
Edificación 1	113.29	m ²
Edificación 2	113.29	m ²
Edificación 3	113.29	m ²
Edificación 4	90.00	m ²
Edificación 5	90.00	m ²
Edificación 6	90.00	m ²
Edificación 7	133.25	m ²
Edificación 8	133.25	m ²
Edificación 9	133.25	m ²
Media	112.18	m ²
Desv. Estandar	18.75	m ²

<i>Peso de las edificaciones de un piso</i>		
Peso de la edificación		
Edificación	V _L	Unidad
Edificación 1	96293.25	kg
Edificación 2	101511.66	kg
Edificación 3	98566.29	kg
Edificación 4	85687.65	kg
Edificación 5	82369.94	kg
Edificación 6	82918.04	kg
Edificación 7	104103.01	kg
Edificación 8	103086.19	kg
Edificación 9	108324.64	kg
Media	95873.41	kg
Desv. Estandar	9797.55	kg

<i>Peso de las edificaciones de dos pisos</i>		
Peso de la edificación		
Edificación	V _L	Unidad
Edificación 1	200232.32	kg
Edificación 2	200562.06	kg
Edificación 3	201473.55	kg
Edificación 4	168955.24	kg
Edificación 5	160177.19	kg
Edificación 6	166399.96	kg
Edificación 7	213741.01	kg
Edificación 8	208260.01	kg
Edificación 9	218922.76	kg
Media	193191.57	kg
Desv. Estandar	22020.04	kg

<i>Peso de las edificaciones de tres pisos</i>		
Peso de la edificación		
Edificación	V _L	Unidad
Edificación 1	304171.39	kg
Edificación 2	299612.46	kg
Edificación 3	304380.81	kg
Edificación 4	252222.82	kg
Edificación 5	237984.44	kg
Edificación 6	249881.87	kg
Edificación 7	323379.01	kg
Edificación 8	313433.83	kg
Edificación 9	329520.88	kg
Media	290509.72	kg
Desv. Estandar	34396.76	kg