

Universidad Católica de Santa María

Facultad de Arquitectura, Ingenierías Civil y del Ambiente

Escuela Profesional de Ingeniería Civil



VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS: COTEJO ENTRE TRES MÉTODOS DE EVALUACIÓN – UN CASO DE ESTUDIO PERUANO

Tesis presentada por los
Bachilleres:

Escobar Martínez, Juan Raúl
Iquira Torres, Fernando David

Para optar por el Título Profesional
de:

Ingeniero Civil

Asesor:

Mag. Bustamante Mora, Boris
André

Arequipa - Perú

2024

UCSM-ERP

UNIVERSIDAD CATÓLICA DE SANTA MARÍA

INGENIERIA CIVIL

TITULACIÓN CON TESIS

DICTAMEN APROBACIÓN DE BORRADOR

Arequipa, 02 de Octubre del 2023

Dictamen: 006493-C-EPIC-2023

Visto el borrador del expediente 006493, presentado por:

2015245451 - ESCOBAR MARTINEZ JUAN RAUL

2015101091 - IQUIRA TORRES FERNANDO DAVID

Titulado:

**VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS: COTEJO ENTRE TRES
MÉTODOS DE EVALUACIÓN - UN CASO DE ESTUDIO PERUANO**

Nuestro dictamen es:

APROBADO

**29238311 - GUILLEN MALAGA MILAGROS SOCORRO
DICTAMINADOR**



**42839424 - ROSAS ESPINOZA JORGE
DICTAMINADOR**



**46309156 - MONTOYA VILLANUEVA FILIBERTO RODY
DICTAMINADOR**



VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS: COTEJO ENTRE TRES MÉTODOS DE EVALUACIÓN – UN CASO DE ESTUDIO PERUANO

INFORME DE ORIGINALIDAD

2%

INDICE DE SIMILITUD

2%

FUENTES DE INTERNET

0%

PUBLICACIONES

3%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1	repositorio.uandina.edu.pe Fuente de Internet	1%
2	repositorio.unc.edu.pe Fuente de Internet	1%
3	Submitted to Universidad Privada del Norte Trabajo del estudiante	1%
4	hdl.handle.net Fuente de Internet	1%

Excluir citas

Apagado

Excluir coincidencias < 1%

Excluir bibliografía

Apagado

DEDICATORIA



*El presente trabajo de investigación está dedicado a nuestros padres,
quienes nos apoyaron desde nuestra formación básica hasta la culminación
de nuestros estudios, confiando plena e incondicionalmente en nosotros
formando buenos profesionales, pero sobre todo buenas personas.*

RESUMEN

En la ciudad de Arequipa existe una fuerte situación de construcción informal que considera un peligro para los habitantes de dichas edificaciones y sus alrededores, donde 7 de cada 10 construcciones de viviendas son informales. Existen diversos métodos para evaluar la vulnerabilidad de estas viviendas autoconstruidas. En base a ello, la presente investigación plantea comparar integralmente tres métodos: un método cualitativo (INDECI) que fue seleccionado debido a que fue elaborado por un organismo público del estado peruano, otro experimental (Benedetti & Petrini) el cual es uno de los métodos más aplicados y se adecua de manera óptima a las normas técnicas peruanas y uno cuantitativo (Demanda-Resistencia) en el cual se modela la vivienda existente y se la somete a esfuerzos cortantes de sismo pudiendo ver cómo se comporta la estructura y si cumple con los parámetros mínimos indicados en las normas técnicas peruanas. Además, se plantea un caso de estudio para validar el cotejo. Este caso es el del Anexo de La Real, distrito de Aplao, provincia de Castilla, región Arequipa que está ubicada en una zona de alto riesgo sísmico (Zona 4). La cual luego del sismo de gran magnitud del año 2001, presentó un número alto de daños a viviendas, solo por detrás de la capital de la provincia.

La metodología empleada incluye una recopilación de datos, un procesamiento de información y finalmente una evaluación de los resultados, de los cuales se realiza el cotejo final. La recopilación de datos comenzó con la realización de los formatos para cada método a emplear y se identificaron las viviendas de albañilería de dos niveles como mínimo. Respecto al procesamiento de la información se realizaron hojas de cálculo con parámetros de entrada en función a los formatos y resultados obtenidos del modelamiento estructural para la obtención de nivel de vulnerabilidad para cada método. Los resultados principales fueron que el método de INDECI es más sencillo y conservador, el método Demanda-Resistencia es el más complejo a realizar y a su vez el más preciso y El método de Benedetti y Petrini considera un punto medio en todos los criterios pudiéndose realizar en un periodo de tiempo menor al método cuantitativo y con resultados igual de aceptables.

Con todas las técnicas utilizadas se realizó un estudio de 27 viviendas autoconstruidas de dos pisos, dando un total de 81 evaluaciones sísmicas llegando a la conclusión que el método de Benedetti & Petrini adecuado a la norma peruana es el más adecuado para el análisis de vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas en un contexto similar al de nuestra zona de estudio.

Finalmente, se puede decir que la investigación contribuye a cerrar la brecha del conocimiento respecto a la utilización de métodos para determinar la vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, autoconstrucción, cotejo.



ABSTRACT

In Arequipa City there is a strong situation of informal construction that is considered a danger for the inhabitants of said buildings and their surroundings, where 7 out of 10 housing constructions are informal. There are various methods to assess the vulnerability of these self-built homes. Based on this, the present investigation proposes to comprehensively compare three methods: a qualitative method (INDECI) that was selected because it was prepared by a public body of the Peruvian state, another experimental (Benedetti & Petrini) which is one of the methods most applied and is optimally adapted to Peruvian technical standards and a quantitative one (Demand-Resistance) in which the existing house is modeled and subjected to seismic shear forces, being able to see how the structure behaves and if it complies with the minimum parameters indicated in the Peruvian technical standards. In addition, a case study is proposed to validate the comparison. This case is the La Real Annex, Aplao district, Castilla province, Arequipa region, which is located in an area of high seismic risk (Zone 4). Which after the large-magnitude earthquake of 2001, presented a high number of damages to homes, only behind the capital of the province.

The methodology used includes data collection, information processing and finally an evaluation of the results, of which the final comparison is made. The data collection began with the preparation of the formats for each method to be used and masonry houses with at least two levels were identified. Regarding the processing of the information, spreadsheets were made with input parameters based on the formats and results obtained from the structural modeling to obtain the level of vulnerability for each method. The main results were that the INDECI method is simpler and more conservative, the Demand-Resistance method is the most complex to carry out and, in turn, the most precise and The Benedetti and Petrini method considers a midpoint in all the criteria, being able to be carried out in a shorter period than the quantitative method and with equally acceptable results.

With all the techniques used, a study of 27 two-story self-constructed houses was carried out, giving a total of 81 seismic evaluations, concluding that the Benedetti & Petrini method adapted to the Peruvian standard is the most suitable for the analysis of seismic vulnerability. in self-built houses in a context like that of our study area.

Keywords: Seismic vulnerability, self-construction, comprehensive comparison.

ÍNDICE

DEDICATORIA.....	3
RESUMEN.....	5
ABSTRACT.....	7
ÍNDICE	8
ÍNDICE DE TABLAS.....	1
ÍNDICE DE FIGURAS	3
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1 Problemática de la investigación	2
1.2 Justificación de la investigación	3
1.2.1 Justificación social.....	3
1.2.2 Justificación ambiental	3
1.2.3 Justificación económica.....	3
1.2.4 Justificación política/institucional	4
1.2.5 Justificación ética	4
1.3 Hipótesis.....	4
1.4 Objetivos de la investigación.....	4
1.4.1 Objetivo general	4
1.4.2 Objetivos específicos.....	4
1.5 Alcances y limitaciones.....	5
1.5.1 Alcance.....	5
1.5.2 Limitaciones	7
CAPÍTULO II	9
2. FUNDAMENTO TEÓRICO.....	9
2.1 Estado del arte	9
2.2 Marco legal.....	11
2.2.1 Norma G.010. Consideraciones básicas, inciso a. del artículo 5.....	11
2.2.2 Norma G.020. Principios generales, inciso a. del artículo 1	11
2.2.3 Norma G.030. Derechos y responsabilidades, artículo 1	11

2.2.4	Norma técnica E.020. Cargas	11
2.2.5	Norma técnica E.030. Diseño sismorresistente	11
2.2.6	Norma técnica E.060. Concreto Armado	11
2.2.7	Norma técnica E.070. Albañilería.....	12
2.2.8	Decreto supremo N° 012-2021-Vivienda, inciso d del capítulo 3	12
2.2.9	Constitución Política del Perú, inciso 16 del artículo 2	12
2.2.10	Constitución Política del Perú, inciso 22 del artículo 2	12
2.2.11	Constitución Política del Perú, artículo 70	12
2.2.12	Ley de desarrollo urbano sostenible N° 31313, inciso h del artículo 4	13
2.2.13	Ley de desarrollo urbano sostenible N° 31313, inciso e del artículo 5	13
2.2.14	Ley de desarrollo urbano sostenible N° 31313, inciso 5 del artículo 18	13
2.3	Marco teórico	13
2.3.1	Conceptos teóricos.....	13
2.3.2	Método de vulnerabilidad sísmica de INDECI	18
2.3.3	Método de vulnerabilidad sísmica Benedetti y Petrini.....	20
2.3.4	Método de análisis sísmico Demanda-Resistencia	22
2.3.5	Método de vulnerabilidad sísmica de FEMA P – 154	26
2.3.6	Método de vulnerabilidad sísmica colombiano AIS	28
CAPÍTULO III		29
3.	METODOLOGÍA	29
3.1	Tipo y nivel de investigación.....	29
3.2	Diseño de la investigación	29
3.2.1	Análisis de variables.....	30
3.3	Métodos de investigación	32
CAPÍTULO IV		34
4.	RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN	34
4.1	Toma de datos	34
4.2	Parámetros de entrada.....	43
4.2.1	Método INDECI	44
4.2.2	Método BENEDETTI Y PETRINI.....	44
4.2.3	Método DEMANDA-RESISTENCIA.....	44
CAPÍTULO V		48

5.	PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN	48
5.1	Método INDECI.....	48
5.2	Método BENEDETTI Y PETRINI.....	56
5.3	Método DEMANDA-RESISTENCIA.....	67
5.3.1	Vivienda C1.....	67
5.3.2	Vivienda C2.....	78
5.3.3	Vivienda C7.....	88
CAPÍTULO VI.....		98
6.	RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS.....	98
6.1	Evaluación método INDECI.....	98
6.1.1	Parámetro 1: Material predominante de la edificación	100
6.1.2	Parámetro 2: La edificación contó con la participación de ingeniero civil	100
6.1.3	Parámetro 3: Antigüedad de la edificación	101
6.1.4	Parámetro 4: Tipo de suelo.....	102
6.1.5	Parámetro 5: Topografía de la vivienda.....	102
6.1.6	Parámetro 6: Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia	103
6.1.7	Parámetro 7: Configuración geométrica en planta.....	104
6.1.8	Parámetro 8: Configuración geométrica en elevación	104
6.1.9	Parámetro 9: Juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura.....	105
6.1.10	Parámetro 10: No existe concentración de masas en nivel	106
6.1.11	Parámetro 11: En los principales elementos estructurales se observa.....	106
6.1.12	Parámetro 12: Otros factores que inciden en la vulnerabilidad.....	107
6.1.13	Resultados y discusión del MÉTODO INDECI.....	108
6.2	Evaluación método BENEDETTI Y PETRINI	109
6.2.1	Parámetro 1: Organización del Sistema Resistente.....	109
6.2.2	Parámetro 2: Calidad de Sistema Resistente.....	111
6.2.3	Parámetro 3: Resistencia Convencional.....	111
6.2.4	Parámetro 4: Posición del Edificio y de la Cimentación.....	112
6.2.5	Parámetro 5: Diafragmas Horizontales	113
6.2.6	Parámetro 6: Configuración de Planta	113
6.2.7	Parámetro 7: Configuración en elevación.....	114
6.2.8	Parámetro 8: Distancia máxima entre los muros.....	115

6.2.9	Parámetro 9: Tipo de cubierta.....	115
6.2.10	Parámetro 10: Elementos no estructurales	116
6.2.11	Parámetro 11: Estado de conservación	117
6.2.12	Evaluación de resultados del método Benedetti & Petrini	117
6.3	Evaluación método DEMANDA-RESISTENCIA	118
6.3.1	Parámetro 1: Espesor mínimo de muros	121
6.3.2	Parámetro 2: Esfuerzo axial máximo	121
6.3.3	Parámetro 3: Densidad de muros	122
6.3.4	Parámetro 4: Derivas	122
6.3.5	Parámetro 5: Agrietamiento y Resistencia al corte	123
6.3.6	Resultados y discusión del Demanda – Resistencia.....	124
6.4	Cotejo entre los tres métodos estudiados.....	125
6.4.1	Parámetros esenciales para un análisis de vulnerabilidad sísmica.....	126
6.4.2	Evaluación metodológica respecto a la implementación de cada método.....	128
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		132
Conclusiones		132
Recomendaciones.....		133
ANEXOS.....		135
Plano de ubicación		135
Autorización de Trabajo de Campo.....		136
Panel fotográfico.....		137
VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS PROCESADOS MEDIANTE ETABS		144
REFERENCIAS		147

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Antecedentes de investigación</i>	10
Tabla 2 <i>Parámetros que definen la vulnerabilidad sísmica</i>	20
Tabla 3 <i>Escala de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini</i>	22
Tabla 4 <i>Límites para la distorsión de entrepiso</i>	25
Tabla 5 <i>Análisis de variables</i>	31
Tabla 6 <i>Matriz objetivos/métodos</i>	33
Tabla 7 <i>Viviendas seleccionadas para la investigación</i>	35
Tabla 8 <i>Resistencia características de la albañilería Mpa (kg/cm²)</i>	59
Tabla 9 <i>Tabla de características de materiales utilizados en el programa ETABS para la vivienda C1</i>	68
Tabla 10 <i>Parámetros sísmicos para la zona de estudio y utilizados para la vivienda C1</i>	72
Tabla 11 <i>Cálculo de la densidad de muros en el eje X para la vivienda C1</i>	73
Tabla 12 <i>Cálculo de la densidad de muros en el eje Y para la vivienda C1</i>	73
Tabla 13 <i>Cuadro de verificación de fuerza axial que soporta cada muro para la vivienda C1</i>	74
Tabla 14 <i>Cuadro de verificación de deriva en el eje X y Y para la vivienda C1</i>	75
Tabla 15 <i>Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C1</i>	75
Tabla 16 <i>Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C1</i>	76
Tabla 17 <i>Resultado de vulnerabilidad por el método Demanda – Resistencia para la vivienda C1</i>	77
Tabla 18 <i>Parámetros sísmicos para la zona de estudio y utilizados para la vivienda C2</i>	83
Tabla 19 <i>Cálculo de la densidad de muros en el eje X para la vivienda C2</i>	83
Tabla 20 <i>Cálculo de la densidad de muros en el eje Y para la vivienda C2</i>	84
Tabla 21 <i>Cuadro de verificación de fuerza axial que soporta cada muro para la vivienda C2</i>	84
Tabla 22 <i>Cuadro de verificación de deriva en el eje X y Y para la vivienda C2</i>	85
Tabla 23 <i>Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C2</i>	85

Tabla 24	Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C2.....	86
Tabla 25	<i>Resultado de vulnerabilidad por el método Demanda – Resistencia para la vivienda C2.</i>	87
Tabla 26	<i>Tabla de características de materiales utilizados en el programa ETABS para la vivienda C7.....</i>	89
Tabla 27	<i>Parámetros sísmicos para la zona de estudio y utilizados para la vivienda C7.</i>	93
Tabla 28	<i>Cálculo de la densidad de muros en el eje X para la vivienda C7.</i>	94
Tabla 29	<i>Cálculo de la densidad de muros en el eje Y para la vivienda C7.</i>	94
Tabla 30	<i>Cuadro de verificación de fuerza axial que soporta cada muro para la vivienda C7.....</i>	95
Tabla 31	<i>Cuadro de verificación de deriva en el eje X y Y para la vivienda C7.....</i>	95
Tabla 32	<i>Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C7.</i>	96
Tabla 33	<i>Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del segundo nivel para la vivienda C7.....</i>	96
Tabla 34	<i>Resultado de vulnerabilidad por el método Demanda – Resistencia para la vivienda C7.</i>	97
Tabla 35	<i>Parámetros y su puntuación para el método Demanda-Resistencia.</i>	119
Tabla 36	<i>Rangos de calificación para el método Demanda-Resistencia.</i>	119
Tabla 37	<i>Parámetros esenciales para un análisis de vulnerabilidad.....</i>	127

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Configuración en planta.	21
Figura 2 Configuración en elevación.	21
Figura 3 Grafico de participación de un profesional en el diseño.	35
Figura 4 Ficha del método INDECI.	45
Figura 5 Ficha del método Benedetti y Petrini.	46
Figura 6 Ficha del método Demanda-Resistencia.	47
Figura 7 Resultado del parámetro 1 del método INDECI para la vivienda CI.	49
Figura 8 Resultado del parámetro 2 del método INDECI para la vivienda CI.	49
Figura 9 Resultado del parámetro 3 del método INDECI para la vivienda CI.	50
Figura 10 Resultado del parámetro 4 del método INDECI para la vivienda CI.	50
Figura 11 Resultado del parámetro 5 del método INDECI para la vivienda CI.	51
Figura 12 Resultado del parámetro 6 del método INDECI para la vivienda CI.	51
Figura 13 Configuración geométrica - Regular.	51
Figura 14 Configuración geométrica - Irregular.	52
Figura 15 Resultado del parámetro 7 del método INDECI para la vivienda CI.	52
Figura 16 Resultado del parámetro 8 del método INDECI para la vivienda CI.	52
Figura 17 Resultado del parámetro 9 del método INDECI para la vivienda CI.	53
Figura 18 Resultado del parámetro 10 del método INDECI para la vivienda CI.	53
Figura 19 Resultado del parámetro 11 del método INDECI para la vivienda CI.	54
Figura 20 Resultado del parámetro 12 del método INDECI para la vivienda CI.	54
Figura 21 Hoja de cálculo del método INDECI para la vivienda CI.	55
Figura 22 Resultado del parámetro 1 del método B&P para la vivienda CI.	56
Figura 23 Resultado del parámetro 2 del método B&P para la vivienda CI.	57
Figura 24 Resultado del parámetro 3 del método B&P para la vivienda CI.	57
Figura 25 Calculo de densidad de muros en el sentido X para la vivienda CI.	58

Figura 26 <i>Calculo de densidad de muros en el sentido X para la vivienda C1.</i>	58
Figura 27 <i>Resultado del parámetro 4 del método B&P para la vivienda C1.</i>	61
Figura 28 <i>Resultado del parámetro 5 del método B&P para la vivienda C1.</i>	61
Figura 29 <i>Resultado del parámetro 6 del método B&P para la vivienda C1.</i>	62
Figura 30 <i>Resultado del parámetro 7 del método B&P para la vivienda C1.</i>	63
Figura 31 <i>Resultado del parámetro 8 del método B&P para la vivienda C1.</i>	64
Figura 32 <i>Resultado del parámetro 9 del método B&P para la vivienda C1.</i>	64
Figura 33 <i>Resultado del parámetro 10 del método B&P para la vivienda C1.</i>	65
Figura 34 <i>Resultado del parámetro 11 del método B&P para la vivienda C1.</i>	65
Figura 35 <i>Hoja de cálculo del método Benedetti & Petrini para la vivienda C1.</i>	66
Figura 36 <i>Planta de arquitectura de primer y segundo nivel de la vivienda C1.</i>	67
Figura 37 <i>Configuración de muros portantes del primer y segundo nivel de la vivienda C1.</i>	68
Figura 38 <i>Modelado de la estructura de la vivienda C1.</i>	69
Figura 39 <i>Espectro de respuesta según E.030 para la vivienda C1.</i>	70
Figura 40 <i>Patrones de carga para la vivienda C1.</i>	70
Figura 41 <i>Casos de carga para la vivienda C1.</i>	71
Figura 42 <i>Combinaciones de carga para la vivienda C1.</i>	71
Figura 43 <i>Planta de arquitectura primer y segundo nivel de la vivienda C2.</i>	78
Figura 44 <i>Configuración de muros portantes del primer y segundo nivel de la vivienda C2.</i>	79
Figura 45 <i>Modelado de la estructura de la vivienda C2.</i>	79
Figura 46 <i>Espectro de respuesta según E.030 para la vivienda C2.</i>	80
Figura 47 <i>Patrones de carga utilizados para la vivienda C2.</i>	81
Figura 48 <i>Casos de carga utilizados para la vivienda C2.</i>	81
Figura 49 <i>Combinaciones de carga utilizados para la vivienda C2.</i>	82
Figura 50 <i>Planta de arquitectura primer y segundo nivel de la vivienda C7.</i>	88
Figura 51 <i>Configuración de muros portantes del primer y segundo nivel de la vivienda C7.</i>	89

Figura 52 Modelado de la estructura de la vivienda C7.	90
Figura 53 Espectro de respuesta según E.030 para la vivienda C7	91
Figura 54 Patrones de carga utilizados para la vivienda C7.	91
Figura 55 Casos de carga utilizados para la vivienda C7.....	92
Figura 56 Combinaciones de carga utilizados para la vivienda C7.....	92
Figura 57 Cálculo de puntaje mínimo para la zona de estudio.	98
Figura 58 Resumen de resultados obtenidos por el método INDECI	99
Figura 59 Resultados de Paramero 1 – Método INDECI.....	100
Figura 60 Resultados de Paramero 2 – Método INDECI.....	101
Figura 61 Resultados de Paramero 3 – Método INDECI.....	101
Figura 62 Resultados de Paramero 4 – Método INDECI.....	102
Figura 63 Resultados de Paramero 5 – Método INDECI.....	103
Figura 64 Resultados de Paramero 6 – Método INDECI.....	103
Figura 65 Resultados de Paramero 7 – Método INDECI.....	104
Figura 66 Resultados de Paramero 8 – Método INDECI.....	105
Figura 67 Resultados de Paramero 9 – Método INDECI.....	105
Figura 68 Resultados de Paramero 10 – Método INDECI.....	106
Figura 69 Resultados de Paramero 11 – Método INDECI.....	107
Figura 70 Resultados de Paramero 12 – Método INDECI.....	107
Figura 71 Puntajes obtenidos por el método INDECI.....	108
Figura 72 Resultados de Parámetro 1 – Método Benedetti & Petrini	109
Figura 73 Resumen de resultados obtenidos por el método Benedetti & Petrini.....	110
Figura 74 Resultados de Parámetro 2 – Método Benedetti & Petrini	111
Figura 75 Resultados de Parámetro 3 – Método Benedetti & Petrini	112
Figura 76 Resultados de Parámetro 4 – Método Benedetti & Petrini	112
Figura 77 Resultados de Parámetro 5 – Método Benedetti & Petrini	113

Figura 78 Resultados de Parámetro 6 – Método Benedetti & Petrini	114
Figura 79 Resultados de Parámetro 7 – Método Benedetti & Petrini	114
Figura 80 Resultados de Parámetro 8 – Método Benedetti & Petrini	115
Figura 81 Resultados de Parámetro 9 – Método Benedetti & Petrini	116
Figura 82 Resultados de Parámetro 10 – Método Benedetti & Petrini	116
Figura 83 Resultados de Parámetro 11 – Método Benedetti & Petrini	117
Figura 84 Puntajes obtenidos por el método Benedetti & Petrini.	118
Figura 85 Resumen de resultados obtenidos por el método DEMANDA-RESISTENCIA.....	120
Figura 86 Resultados de Paramero 1 – Método Demanda - Resistencia.....	121
Figura 87 Resultados de Paramero 2 – Método Demanda - Resistencia.....	121
Figura 88 Resultados de Paramero 3 – Método Demanda - Resistencia.....	122
Figura 89 Resultados de Paramero 4 – Método Demanda - Resistencia.....	123
Figura 90 Resultados de Paramero 5 – Método Demanda - Resistencia.....	123
Figura 91 Gráfico de participación de un profesional en el diseño.	124
Figura 92 Resumen de resultados obtenidos por los 3 métodos utilizados.	126
Figura 93 Eficacia de cada método según los parámetros esenciales identificados.	128
Figura 94 Cuadro de comparación de recursos y energía (metodologías) utilizados por método.	129
Figura 95 Cuadro de comparación de precisión de cada método.	131
Figura 96 Visita al anexo La real - inicio de la zona de estudio.	137
Figura 97 Medidor laser CROWN CT 44028 – el cual se utilizó para realizar todas las medidas de esta investigación	137
Figura 98 Llenado de fichas de cada método para la vivienda C1.....	138
Figura 99 Toma de datos y dibujo de la configuración estructural de la vivienda C1.	138
Figura 100 Dialogo con los propietarios y toma de datos de la vivienda C2.....	139
Figura 101 Inspección de la vivienda C2 en conjunto con los propietarios.	139
Figura 102 Medición de la configuración estructural de la vivienda C2.	140
Figura 103 Inspección interna de la vivienda C3.....	140

Figura 104 <i>Inspección interna de la vivienda C3.</i>	141
Figura 105 <i>Toma de datos y medición de la configuración estructural de la vivienda C10.</i>	141
Figura 106 <i>Dialogo con los propietarios y toma de datos de la vivienda C13.</i>	142
Figura 107 <i>Toma de datos y dibujo de la configuración estructural de la vivienda C13.</i>	142
Figura 108 <i>Toma de datos y dibujo de la configuración estructural de la vivienda C21.</i>	143



INTRODUCCIÓN

La infraestructura es muchas veces vulnerable ante diversos tipos de desastre, como los ocasionados por sismos. El abordaje ingenieril debe incluir enfoques interdisciplinarios para mitigar los riesgos derivados de tal situación. Esta investigación pretende contribuir a una mejor toma de decisiones para la intervención de viviendas autoconstruidas desde un aspecto estructural, de tal forma que se evalúen métodos para determinar su vulnerabilidad sísmica y se discutan la relevancia de los parámetros utilizados a través de un caso de estudio.

Para cumplir la finalidad de la investigación, esta se ha distribuido en seis capítulos. El primero desarrolla el planteamiento del problema, en el cual se describió la situación problemática, se realizó la justificación frente a los aspectos social; ambiental; económico, político/institucional y ético, se estableció la hipótesis y los objetivos, así como los alcances y limitaciones. En el segundo, se abarcó el fundamento teórico, se incluyeron el estado del arte, se profundizó en el marco teórico. En el tercer capítulo, se detalla la metodología, se determinó el tipo, nivel, diseño y métodos de la investigación, donde se definen las variables y se elabora la matriz de objetivos y métodos. En el cuarto, se expone la recopilación de información, se explica el proceso de toma de datos, donde se detalla el procedimiento desde el acercamiento con la municipalidad y pobladores de la zona de estudio hasta la elaboración de formatos y selección de las viviendas. En el quinto, realizamos el procesamiento de la información, se detalla el procedimiento utilizado para la evaluación de vulnerabilidad por los 3 métodos. En el sexto, se analizó los resultados y evaluación de metodologías, se obtuvo y se analizó los parámetros de cada método, se comparó los resultados de vulnerabilidad de cada vivienda, y se estableció los parámetros más influyentes determinando los métodos más óptimos y eficientes. Por último, se colocaron las conclusiones y recomendaciones, anexos y bibliografía.

CAPÍTULO I

1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1 Problemática de la investigación

En Lima metropolitana y Callao un informe denominado “Diseño del escenario sobre el impacto de un sismo de gran magnitud en Lima Metropolitana y Callao”, donde, Yauri (2017), concluye que según lo estimado un total de 200,347 viviendas podrían colapsar y otras 348,329 se verían altamente afectadas. Adicionalmente se estimó que dentro de este siniestro habría 51,019 personas fallecidas y 686,105 heridos. Entre los métodos más utilizados para analizar la vulnerabilidad sísmica de viviendas se tienen: Método Benedetti y Petrini; método de INDECI y método de Demanda-Resistencia. Esta investigación tiene como finalidad realizar un cotejo entre estos tres métodos para tener una mayor certeza o confiabilidad en el análisis. Este cotejo es esencial para obtener resultados certeros en el caso de estudio.

En la ciudad de Arequipa existe una fuerte situación de construcción informal que considera un peligro para los habitantes de dichas construcciones y sus alrededores, según una investigación de la escuela de posgrado de la Universidad Católica San Pablo en Arequipa, en promedio, 7 de cada 10 construcciones de viviendas son informales. Esto quiere decir que no solo carecen de licencia de construcción y planos, sino que usan materiales inadecuados, por lo que se exponen a graves daños ante cualquier sismo. La reducción de costos que puede generar este tipo de autoconstrucciones, financiadas muchas veces por el ‘ahorro familiar’ de toda una vida, “no compensarán las reparaciones que tendrían que hacerse en el futuro” (Chalco, 2021).

El anexo de La Real, distrito de Aplao, provincia de Castilla, región Arequipa, está ubicada en una zona de alto riesgo sísmico; la Norma Técnica Peruana E 030 “Sismorresistente” la categoriza como zona 4. Esta zona es la que presenta una mayor frecuencia sísmica, lo que conlleva a una mayor rigurosidad al momento de realizar obras civiles como viviendas, escuelas, hospitales, entre otros. El Anexo La Real presentó un número alto de daños a viviendas, solo por detrás de la capital de la provincia, debido al movimiento sísmico del año 2001 teniendo un total de 45 viviendas destruidas y 174 viviendas dañadas, a parte de los deslizamientos que ocurrieron bloqueando algunos tramos de la carretera (Kosaka et al., 2001). Es por todo ello que se han seleccionado las viviendas

de este centro poblado. A través de este caso de estudio, se podrá realiza el cotejo de los métodos de evaluación de vulnerabilidad sísmica.

1.2 Justificación de la investigación

1.2.1 Justificación social

Al ser viviendas autoconstruidas no se contó con apoyo técnico profesional, por lo que sus habitantes no tienen el conocimiento del riesgo al que pueden estar expuestos ante un eventual sismo de grado elevado. Es por ello que la investigación está enfocada en analizar este tipo de viviendas, brindando a los usuarios la evaluación e información de sus estructuras mediante un resultado claro y conciso de la vulnerabilidad sísmica en sus viviendas, mediante el análisis por tres métodos distintos. Esta evaluación permitirá una potencial reestructuración de sus viviendas con la finalidad de elevar su calidad de vida.

1.2.2 Justificación ambiental

Según la American Society for Testing Materials, en su estándar ASTM E 632-82 (1996), como se citó en Novidesa (2018), la vida útil “es el periodo de tiempo después de la construcción durante el cual todas las propiedades esenciales alcanzan o superan el valor mínimo aceptable con un mantenimiento rutinario”. Lo que se busca entonces es construir edificaciones que cumplan con un periodo de vida que lleve a la satisfacción de los habitantes y/o usuarios de estas con la finalidad de no generar residuos antes de tiempo por un mal diseño o una mala aplicación de los procesos constructivos causando daños al medio ambiente.

1.2.3 Justificación económica

En el aspecto económico, como lo mencionado anteriormente, las viviendas autoconstruidas a largo plazo pueden sufrir graves daños ocasionados por un sismo de mediana o mayor intensidad, lo que deriva en un gasto mayor en reparaciones y reconstrucciones. Comparado con el gasto inicial termina siendo económicamente desfavorable para las familias. Según la Presidencia del Consejo de ministros (2021) La Autoridad para la Reconstrucción con Cambios destinó más de 640 millones de nuevos soles para el financiamiento de 94 intervenciones de reconstrucción, dentro de este plan se contempla la ejecución de obras de reconstrucción y construcción de la vía pública y viviendas afectadas por desastres naturales.

1.2.4 Justificación política/institucional

La investigación aplicada a este caso de estudio mediante tres métodos distintos permitirá la obtención de datos de riesgo certeros, lo cual dará pie a la municipalidad competente para la realización de estudios de riesgo con un mayor detalle. Además, se podrá trasladar el estudio de vulnerabilidad sísmica a los próximos centros poblados, ya que tienen una similar situación de informalidad. Es así que el estudio se justifica política e institucionalmente: representa una mejora en los planos de riesgo territorial.

1.2.5 Justificación ética

El estudio se justifica éticamente porque se emplearán las normativas vigentes de análisis de vulnerabilidad sísmica con los nuevos sistemas informáticos tales como el uso de software que aceleran el proceso de evaluación que permiten predecir la reacción de la estructura a distintos espectros sísmicos. Además, la información se compartirá con los habitantes del distrito, quienes en su mayoría desconocen del peligro al que están expuestos. Así mismo, se debe indicar que la publicación de la presente investigación contribuye a cerrar la brecha del conocimiento respecto a la utilización de métodos para determinar la vulnerabilidad sísmica.

1.3 Hipótesis

Se podrán realizar mejores evaluaciones de vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas mediante el cotejo entre los métodos de INDECI, Benedetti y Petrini, y Demanda-Resistencia, de tal forma que se evalúe la relevancia de sus parámetros y se identifiquen los más útiles a través del caso de estudio de un centro poblado en la región de Arequipa, Perú.

1.4 Objetivos de la investigación

1.4.1 Objetivo general

- Realizar un cotejo entre el método INDECI, el método Benedetti y Petrini y el método Demanda-Resistencia según los resultados obtenidos del análisis de vulnerabilidad sísmica del caso de estudio.

1.4.2 Objetivos específicos

- Realizar la investigación de acuerdo con los parámetros del método Benedetti y Petrini, Demanda-Resistencia y de INDECI.
- Evaluar los métodos de análisis de vulnerabilidad sísmica tomando en consideración la relevancia de cada uno de sus parámetros.
- Elegir la mejor alternativa de análisis de vulnerabilidad sísmica para una vivienda autoconstruida mediante el cotejo de los resultados del análisis de vulnerabilidad sísmica por los tres métodos propuestos.

1.5 Alcances y limitaciones

1.5.1 Alcance

Para el análisis de vulnerabilidad sísmica se indica que para evitar discrepancias entre métodos se recomienda combinar los métodos analíticos, empíricos y experimentales para incrementar la confiabilidad del análisis de vulnerabilidad (Melone., 2003). Por lo tanto, alcance de esta investigación se centra en tres metodologías para el análisis de la vulnerabilidad sísmica, estos son: método Benedetti y Petrini, el método Demanda-Resistencia y el método INDECI.

Esta investigación utilizará el método de muestreo probabilístico finito con las observaciones y lineamientos de López-Roldán & Fachelli (2015) y Morillas (s.f)

$$n = \frac{N * Z_{\alpha}^2 * p * q}{e^2 * (N - 1) + Z_{\alpha}^2 * p * q}$$

A continuación, se describen las variables.

Tamaño de muestra buscado (n)

El tamaño de muestra buscado está en función al tamaño del universo, nivel de confianza, error máximo aceptado y las probabilidades de que el evento suceda.

Tamaño de la población o universo (N)

La investigación se realizará en el centro poblado La Real, el cual carece de datos necesarios para realizar el muestreo, así que la obtención del tamaño de población se realizó de la siguiente manera.

De INEI (2017) se obtuvo el valor del total de viviendas habitadas en el centro poblado La Real con un valor numérico de 256 el cual se verá afectado con el criterio obtenido en INEI (2018), donde se obtiene un porcentaje de viviendas consideradas como albañilería con techos de concreto armado de 37,3% dando como resultado una población o universo de 96 viviendas de albañilería en el centro poblado La Real. Cabe resaltar que estos datos son una aproximación de los números según censo de la ciudad de Aplao por lo que existe un grado de incertidumbre en la zona de estudio.

Posteriormente para llevar a la realidad la investigación se realizó un muestreo de la zona en busca de las viviendas adecuadas para la evaluación por los 3 métodos, donde solo se encontró 27 viviendas que cumplen con los requisitos mínimos, es decir, el material principal en la construcción es la unidad de albañilería confinada y posee más de 1 nivel.

Error de estimación máximo aceptado (e)

Ante la consideración de que en cada vivienda se realizarán 3 análisis distintos, el error muestral es del 5% sin embargo, la evaluación de cada vivienda tendrá una mayor confiabilidad en la medida que se aplicará no sólo un método sino tres concluyendo en 81 análisis al culminar la investigación.

Parámetro estadístico que depende el Nivel de Confianza (Z)

Teniendo en consideración el error máximo planteado anteriormente, el nivel de confianza CN es de 95%, teniendo así el parámetro z un valor numérico de 1,96.

Probabilidad que ocurra el evento estudiado (p)

Probabilidad que no ocurra el evento estudiado (q = 1 - p)

Representan los porcentajes de ocurrencia de un suceso, en un periodo de retorno de 50 años se consideran 10% y 90% para p y q respectivamente.

Reemplazando las variables con sus valores numéricos obtenemos:

$$n = \frac{27 * 1.96^2 * 0.1 * 0.9}{0.05^2 * (27 - 1) + 1.96^2 * 0.1 * 0.9}$$

$$n = 22.73$$

En esta investigación se estudia 27 viviendas autoconstruidas siendo el total del universo de estudio bajo las metodologías mencionadas siendo un total de 81 evaluaciones, propias del anexo de La Real, distrito de Aplao. Se anexa un plano de ubicación en el último capítulo del centro poblado.

Se realizó un acercamiento en la Municipalidad Provincial de Castilla con la Gerencia de Desarrollo Urbano e Infraestructura la cual nos brindó el consentimiento y autorización para la realizar la investigación, brindando así un inicio de estudios de prevención del riesgo de desastres en dicha localidad. Se anexa la autorización firmada por el Ing. Marco Antonio Gutierrez Villa.

Finalmente se debe indicar que la investigación, en el marco teórico, explica cinco métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica. Además, el estado del arte, también presentado posteriormente, identifica diversos métodos para evaluar la vulnerabilidad de viviendas autoconstruidas. En ese sentido, el alcance incluye la aplicación de tres de estos métodos, ya que han demostrado ser útiles bajo distintas aplicaciones, sin embargo, como se detalló en la justificación, existe una brecha del conocimiento respecto al cotejo acerca de sus parámetros como la desarrollada en la presente investigación.

1.5.2 Limitaciones

Es necesario mencionar que debido a la coyuntura actual que se vive en el país por el Estado de Emergencia Nacional por el Covid-19 es posible que algunos de los propietarios no permitan el acceso a sus viviendas siendo esta una limitación relevante de mencionar.

La resistencia a la compresión del concreto ($f'c$) no puede ser ensayada por medio de diamantinas porque los dueños de las viviendas no permiten la extracción de los elementos, en el caso de la medición in situ por medio del esclerómetro se concluyó que es poco viable para este tipo de investigación, ya que requiere conocer el diseño de mezclas empleado, además de un número de 10 lecturas por elemento por cada uno de las viviendas, así como la selección y preparación de la zona de ensayo que implicaría la remoción del tarrajeo en algunos casos.

Respecto a la resistencia a la compresión de la albañilería ($f'm$) y la resistencia al corte ($v'm$) así como demás propiedades mecánicas, debido a que no existen ensayos no destructivos para verificar su valor, se recopiló información en otras investigaciones cuyo

alcance define las propiedades mecánicas de los muros de albañilería según el tipo de ladrillo. Además, se comparará con los parámetros mínimos de la Norma E.070 del RNE para los tipos de ladrillos empleados en cada vivienda. Estos se determinarán por inspección visual por áreas no tarrajeadas en las viviendas, así se podrá determinar el uso de materiales inadecuados para el sistema constructivo y zonificación.



CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTO TEÓRICO

2.1 Estado del arte

Se parte del concepto en el que la autoconstrucción es una solución tentativa frente al problema de la falta de viviendas, frecuentado comúnmente en América Latina; donde ya es una práctica cotidiana, al no utilizar materiales adecuados y/o improvisar viviendas en áreas inestables, solo ha llegado a generar un crecimiento urbano precario. Siendo este un problema generado por la carente riqueza material y económica que posee la población, y la falta de planificación formal en las ciudades (Polo, 2017).

Existe un notable crecimiento en la construcción de viviendas en el país, el cual para muchos pueda tomarse como un correcto proceso de planificación nacional. En la realidad, este se da como resultado del alza de la autoconstrucción. Hernando Carpio Montoya, ex Gerente General del Servicio Nacional de Capacitación para la Industria de la Construcción (SENCICO) declaró que la autoconstrucción representa el 60% de las viviendas que hay en el país, lo que equivale a US\$ 2,000 millones. Precisando que más del 50% de viviendas están edificadas sin planos y/o sin maestros de obras capacitados, para finalmente relacionando la catástrofe ocurrida en la Ciudad de Pisco, donde el 80% de las viviendas que se derrumbaron carecían de materiales materia prima de calidad y no cumplían con aspectos netamente técnicos que pudieron evitarse (Miranda et al., 2014).

Aportando a lo anterior, Eduardo et al (2020) concluyen de su proyecto de investigación que la totalidad de las viviendas informales presentan vulnerabilidad sísmica, presentando un 37.5% vulnerabilidad alta, un 43.75% vulnerabilidad media y un 18.75% vulnerabilidad baja. Teniendo como características una falta de asesoramiento técnico, falta de licencia de construcción y deterioro de componentes estructurales por mala instalación de agua y desagüe.

Para poder medir la vulnerabilidad de una edificación, existen diferentes métodos convencionales que se ha ido aplicando hasta la actualidad. El método ATC 21- FEMA 154 el cual hace uso de puntajes para identificar las características de la edificación frente a un movimiento sísmico, sin la necesidad de cálculos de análisis estructural y rápida aplicación. Otro método de índice de vulnerabilidad planteado desde el año 1982, por Benedetti &

Petrini, el cual se ha mantenido vigente debido a su constante actualización, permitiendo calcular la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de mampostería de manera práctica. También existiendo un método más relacionado con la realidad peruana propuesto por INDECI, el cual, sin ser un estudio detallado, es un primer paso para evaluar rápidamente usando funciones de vulnerabilidad que indican la relación entre el daño esperado en la edificación con la vulnerabilidad sísmica propia, dato que es primordial para tener una estimación en el cálculo de pérdidas económicas (Pinto, 2020).

En complemento a la revisión presentada, se presenta en la Tabla 1 una síntesis de cuatro antecedentes relevantes para el presente estudio.

Tabla 1

Antecedentes de investigación.

ID	Autor	Método	Edificación	Conclusión
1	Tito (2018)	- Modelo estático no Lineal	Viviendas autoconstruidas	Alta vulnerabilidad sísmica, necesitando reforzar las columnas seleccionadas hasta un 500%.
2	Juárez & Loayza (2019)	- Benedetti y Petrini - Modelamiento sísmico	Monumentos Históricos de sillar en el centro de Arequipa	Baja vulnerabilidad sísmica, debido principalmente al espesor de los muros. Considera el método cuantitativo como el más conveniente.
3	Rojas (2021)	- Benedetti y Petrini - FEMA P-154 - AIS	Colegio San Juan Bosco de la Ciudad de Puno	Para FEMA P-154 obtiene vulnerabilidad alta, para AIS una vulnerabilidad Media. El método más determinante el método de Benedetti y Petrini, vulnerabilidad alta.
4	Sanchez & Orlando (2019)	- FEMA P-154 - Demanda-Resistencia	Colegios deteriorados del distrito de Villa Marita del Triunfo	La metodología FEMA P-154 fue la más efectiva debido a su práctica de rápida forma de evaluación. Y demostrando que un 60% o 290 estructuras de los colegios públicos de este distrito son vulnerables.

Nota: Elaboración propia.

2.2 Marco legal

Respecto a los lineamientos del Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE), se pueden mencionar los siguientes apartados:

2.2.1 Norma G.010. Consideraciones básicas, inciso a. del artículo 5

Indica que, para garantizar una calidad de vida adecuada, tanto para los pobladores como para el medio ambiente, toda edificación a construirse debe satisfacer una estabilidad en las edificaciones y seguridad estructural. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

2.2.2 Norma G.020. Principios generales, inciso a. del artículo 1

Se establecen condiciones en las edificaciones para así poder reducir el impacto de estas frente a los desastres naturales y/o daños causados por las personas, velando por la seguridad de las personas. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

2.2.3 Norma G.030. Derechos y responsabilidades, artículo 1

Indica que, solo aquellos profesionales inscritos en el colegio profesional correspondiente y autorizados a ejercer su profesión pueden ser responsables del proyecto. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

2.2.4 Norma técnica E.020. Cargas

Indica las cargas mínimas establecidas por dicha norma a tomar en cuenta dependiendo del tipo y uso de la edificación en condiciones de servicio. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

2.2.5 Norma técnica E.030. Diseño sismorresistente

Indica los criterios y condiciones mínimas para el diseño de edificaciones sismorresistente. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2018).

2.2.6 Norma técnica E.060. Concreto Armado

Dicha norma establece consideraciones para el análisis, diseño, materiales, construcción, control de calidad y supervisión en estructuras de concreto armado, siendo

todos estos, requisitos mínimos para asegurar la correcta construcción de una edificación. (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2009).

2.2.7 Norma técnica E.070. Albañilería

De la misma manera que la anterior norma, esta nos establece consideraciones para el análisis, el diseño, los materiales, la construcción, el control de calidad y la supervisión, pero esta vez para las edificaciones construidas con albañilería, pudiendo ser estructuradas por muros confinados y/o por muros armados (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006).

Respecto a los decretos y leyes relevantes para el presente estudio, se pueden señalar los siguientes:

2.2.8 Decreto supremo N° 012-2021-Vivienda, inciso d del capítulo 3

“La Política Nacional de Vivienda y Urbanismo (PNVU) tiene como situación futura deseada: que la mayor parte de la población acceda a viviendas dignas, seguras, de buena calidad y adecuadas a las características culturales, productivas y climáticas del lugar” (El Peruano, 2021).

2.2.9 Constitución Política del Perú, inciso 16 del artículo 2

“Toda persona tiene derecho: A la propiedad y a la herencia” (Congreso Constituyente Democrático, 1993).

2.2.10 Constitución Política del Perú, inciso 22 del artículo 2

“Toda persona tiene derecho: A la paz, a la tranquilidad, al disfrute del tiempo libre y al descanso, así como a gozar de un ambiente equilibrado y adecuado al desarrollo de su vida” (Congreso Constituyente Democrático, 1993).

2.2.11 Constitución Política del Perú, artículo 70

“El derecho de propiedad es inviolable. El estado lo garantiza. Se ejerce en armonía con el bien común y dentro de los límites de ley” (Congreso Constituyente Democrático, 1993).

2.2.12 Ley de desarrollo urbano sostenible N° 31313, inciso h del artículo 4

Gestión del riesgo de desastres: La observancia rigurosa de la estimación, prevención y control de riesgos, así como la reducción de vulnerabilidad ante peligros, en las ciudades y centros poblados; así como de la preparación, respuesta, rehabilitación y reconstrucción ante la ocurrencia de desastres con la participación de las entidades de primera respuesta que tienen asignadas funciones de ejecución y coordinación en labores de prevención de riesgos y reducción de vulnerabilidades. (El Peruano, 2021)

2.2.13 Ley de desarrollo urbano sostenible N° 31313, inciso e del artículo 5

Promover el acceso ordenado al suelo urbano habilitado, eliminando la ilegalidad y la especulación en todas sus modalidades, así como el crecimiento no planificado de ciudades y centros poblados y sus impactos negativos; resguardando la calidad urbanística de las ciudades y centros poblados, y la calidad paisajística de sus entornos naturales. (El Peruano, 2021)

2.2.14 Ley de desarrollo urbano sostenible N° 31313, inciso 5 del artículo 18

“Ejecutar las habilitaciones urbanas y edificaciones conforme con la normativa de la materia y respetando las disposiciones establecidas en los Planes para el Acondicionamiento Territorial y Desarrollo Urbano” (El Peruano, 2021).

2.3 Marco teórico

2.3.1 Conceptos teóricos

A continuación, se describirán algunos conceptos teóricos con relación a la presente investigación.

2.3.1.1 Magnitud sísmica y energía

“La energía liberada por un terremoto es la suma de la energía transmitida en forma de ondas sísmicas y la disipada mediante otros fenómenos en el foco, principalmente en forma de calor” (Barbat et al., 1995, p. 6).

La magnitud sísmica es cuantificada por la escala de Richter la cual varía desde 0 a un número mayor que 8, siendo las menores a 3.5 microsismos que no se sienten o detectan,

de 5.5 a 6 un terremoto moderado que define daños ligeros a las estructuras y mayores a 8 que se entiende como un gran terremoto que conlleva a una destrucción total de centros poblados.

2.3.1.2 Intensidad sísmica

“Describe los daños ocasionados en edificios y estructuras, sus consecuencias sobre el terreno y los efectos sobre las personas” (Barbat et al., 1995, p. 7).

La escala de Mercalli Modificada mide la intensidad producida por un sismo, va desde el grado 1 (muy débil) hasta el grado 12 (catastrófico), pasando por niveles como el leve, moderado, fuerte y destructivo con sus distintas variaciones.

2.3.1.3 Sismicidad

“Distribución espacio-temporal de los terremotos en la Tierra (fecha y localización) y sus efectos destructores” (Barbat et al., 1995, p. 10).

A lo largo del tiempo en la realidad peruana se ha ido cambiando la sismicidad en las distintas regiones del país, partiendo desde la década de los sesenta en la cual la sismicidad más alta se encontraba en la región Arequipa hasta la actual de dos mil dieciocho en la que se reconocen cuatro zonas bien definidas teniendo la sismicidad más alta en todo el litoral costero.

2.3.1.4 Peligrosidad sísmica

“Se entiende por peligrosidad sísmica de una zona cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona, estos efectos pueden venir representados por la aceleración, velocidad, desplazamiento o por la intensidad sentida en el lugar” (Barbat et al., 1995, p. 13).

Incluye todos los factores que determinan la exposición a un sismo de gran magnitud como la zona, parámetros de sitio y factor de amplificación.

2.3.1.5 Zonificación

Modelos que se usan para el cálculo de la aceleración y probabilidad asociada, los cuales consideran la distribución espacial y temporal de la sismicidad, atenuación del

movimiento en la corteza y la transformación de las aceleraciones según los estratos de suelo. (Peláez., 2020).

Debido a la naturaleza aleatoria de los sismos, el efecto que se produce en las obras civiles es medida en términos probabilísticos que se resumen en la aceleración máxima del terreno. El territorio peruano se divide en cuatro zonas sísmicas a las cuales se le asigna un factor de zona (Z) que en conjunto con el factor de suelo rígido definen la aceleración máxima del terreno según la probabilidad de que el evento sísmico suceda.

2.3.1.6 Factor de amplificación sísmica

Es la aceleración máxima que podría alcanzar una estructura elástica de un grado de libertad en un sismo de elevada magnitud, la cual depende tanto de su periodo como de la aceleración que recibe en su base (Peláez., 2020).

Cuando la estructura es muy rígida prácticamente no se desplaza con respecto al suelo por tanto su aceleración es igual a la del suelo y le debería corresponder un factor de amplificación sísmica igual a la unidad, la norma no considera un tramo inicial de subida en periodos muy cortos como sucede en la realidad de los sismos (Peláez., 2020).

2.3.1.7 Vulnerabilidad sísmica

A partir de experiencias de terremotos pasados se ha observado que ciertas estructuras, dentro de la misma tipología estructural, experimentan un daño más severo que otras, a pesar de estar ubicadas en la misma zona. Si al grado de daño que sufre una estructura, ocasionado por un sismo de determinadas características, se le denomina vulnerabilidad, se pueden entonces clasificar los edificios en “más vulnerables” o “menos vulnerables” frente a un mismo evento sísmico (Barbat et al., 1995, p.13).

Se puede definir debido a varios factores que sumados nos dan una referencia de cómo la estructura se va a comportar ante un sismo de gran magnitud, con la cual se puede observar los puntos de atención que en el evento sísmico proporcionarían un plano de falla que desencadenaría en un daño eventual en la edificación.

2.3.1.8 Autoconstrucción

Existen pocas definiciones para una vivienda autoconstruida y no se tiene un

concepto de manera oficial por una entidad reguladora en la construcción a nivel nacional, pero la mayoría de las acepciones coinciden en que la autoconstrucción es la inversión directa de una familia para edificar su propia vivienda sin contar necesariamente con asesoría profesional tanto en la etapa de diseño como ejecución (Diario Gestión, 2023).

2.3.1.9 Sistemas estructurales

Es el tipo de sistema elegido para el comportamiento de la estructura (factor de reducción sísmica, desplazamientos máximos admisibles y tipo de uso), la norma nos indica cinco sistemas: Concreto armado, acero, albañilería, madera y tierra (Peláez., 2020).

Escoger un sistema constructivo es primordial en el diseño de una edificación, de esto depende directamente el predimensionamiento de los elementos resistentes, el costo de la obra tanto en materiales como almacenamiento y transporte y el tiempo que dura, así como la viabilidad de la construcción.

2.3.1.10 Edificios de albañilería

“Edificios donde la resistencia lateral está dada fundamentalmente por muros de albañilería confinada o armada” (Peláez, 2020, p. 23).

2.3.1.11 Albañilería confinada

“Albañilería reforzada con elementos de concreto armado en todo su perímetro, vaciado posteriormente a la construcción de la albañilería” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, p.2).

Los elementos de arriostre que dan ductilidad a los muros de albañilería confinada son: una cimentación corrida a base de concreto ciclopeo la cual transfiere las cargas al terreno en la que se apoya y sirve como arriostre horizontal en el primer nivel, un sobrecimiento que debe ser vaciado con una apariencia rugosa antes de la colocación del ladrillo, columnas de confinamiento que pueden tener una resistencia de 175 kg/cm² como mínimo las cuales son la última línea resistente de los muros confinados que soportan el agrietamiento diagonal y vigas soleras que transfieren la fuerza sísmica de la losa a los muros, estas últimas solo funcionan como arriostre horizontal cuando la estructura no cuenta con diafragma rígido, caso contrario el muro de albañilería es arriostreado horizontalmente por la losa.

2.3.1.12 Muro portante

“Muro diseñado y construido en forma tal que pueda transmitir cargas horizontales y verticales de un nivel al inferior o a la cimentación” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, p.2).

2.3.1.13 Muro no portante

“Muro diseñado y construido en forma tal que sólo lleva cargas provenientes de su peso propio y cargas transversales a su plano” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, p.2).

2.3.1.14 Unidad de albañilería sólida

“Unidad de albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área igual o mayor que el 70% del área bruta en el mismo plano” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, p.2).

Su fabricación puede ser a base de arcilla, cemento o sílice-cal, así como puede ser elaborada de manera artesanal o industrial, siendo esta última la más recomendable debido a las especificaciones técnicas garantizadas por la fábrica en la cual fue elaborada.

2.3.1.15 Unidad de albañilería hueca

“Unidad de albañilería cuya sección transversal en cualquier plano paralelo a la superficie de asiento tiene un área equivalente menor que el 70% del área bruta en el mismo plano” (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006, p.2).

Estas unidades de albañilería se usan para la división de espacios en las edificaciones, no deben estar conectadas a los elementos sismorresistentes de la estructura porque sufren una falla muy frágil al momento de recibir un esfuerzo cortante y axial llegándose a triturar. En zona sísmica 1 se puede utilizar en muros portantes según lo indicado en la norma.

2.3.1.16 Densidad de muros

La densidad de muros es el análisis inicial que se le da a una vivienda para definir la respuesta ante la fuerza sísmica proporcionada por la norma. Proviene de igualar la fuerza cortante actuante en la base de la estructura con la resistencia al corte de cada muro portante.

Es por eso por lo que la resistencia al corte y la rigidez de las edificaciones con el sistema constructivo de albañilería estructural depende directamente a la densidad de muros (San Bartolomé., 2005).

2.3.1.17 Arriostre

Es el elemento estructural que provee de resistencia y estabilidad causadas por cargas perpendiculares al plano de los muros portantes y no portantes, estos pueden ser la viga, diagrama rígido, columna y muro transversal.

2.3.1.18 Altura efectiva

Es la distancia libre entre los elementos de arriostre horizontales que existe en el muro, para muros que no tengan un arriostre en la parte superior la altura efectiva será el doble de su altura real.

2.3.1.19 Espesor efectivo

El espesor efectivo (t) es el espesor del muro sin contar trabajos finales como el tarrajeo o enchapado; En el caso de los muros con juntas con bruñas como los muros caravista, el espesor efectivo se medirá descontando la profundidad de la bruña.

2.3.2 Método de vulnerabilidad sísmica de INDECI

El Instituto Nacional de Defensa Civil en el año 2010 propone una metodología que consolida los aspectos físicos que tienden a vulnerar una vivienda frente a un sismo de gran magnitud. Esta tiene como objetivo general “promover la mejora de las condiciones de seguridad en términos de infraestructura física e implementación de recomendaciones de prevención orientadas a la reducción de riesgos de desastres, ante la posibilidad de ocurrencia de un sismo de gran magnitud” (INDECI, 2010, p. 4).

Resulta del llenado de una ficha de verificación llamada “Determinación de la vulnerabilidad de la vivienda para caso de sismo” que a su vez se divide en 6 secciones las cuales se encargan de resumir distintos aspectos de la vivienda y se califican de 1 a 4 (siendo el 4 el más vulnerable).

A. Ubicación geográfica de la vivienda

En esta sección se establece la información básica de la vivienda, como su ubicación, dirección e información del jefe(a) del hogar.

B. Información de inmueble por observación directa

Las preguntas de esta sección están orientadas a obtener información por observación directa para efectuar la verificación de las condiciones actuales del inmueble.

C. Características del tipo de vivienda

Esta sección está orientada a conocer el número de ocupantes y las facilidades de evacuación ante un sismo, así como el terreno en el que está edificado.

D. Características de la construcción de la vivienda

En esta sección la información que se registra debe ser llenada por un verificador que como mínimo curse los dos últimos ciclos de la profesión de Ingeniería Civil o Arquitectura, ya que se toman características constructivas sismorresistentes del inmueble como el tipo de material, topografía, elementos estructurales, entre otros.

E. Determinación del nivel de vulnerabilidad de la vivienda

Por último en esta etapa se suman los puntajes de la sección D y se concluye el nivel de vulnerabilidad del inmueble.

F. Recomendaciones de carácter inmediato para jefe(a) del hogar

Esta sección contiene las recomendaciones que se entregan al dueño del inmueble según el nivel de vulnerabilidad.

G. Recomendación referida a la potencial “zona de seguridad” y/o “vía de evacuación”

Se toman en consideración las recomendaciones con respecto a la vía de evacuación y la potencial zona de seguridad interna recomendada.

2.3.3 Método de vulnerabilidad sísmica Benedetti y Petrini

Según Benedetti & Petrini (1984), para este método el índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de valores numéricos que expresan una calidad sísmica de parámetros que según Benedetti y Petrini forman parte fundamental del comportamiento sísmico de las estructuras. Se indican los parámetros que definen la vulnerabilidad sísmica según este método en la Tabla 2.

Tabla 2

Parámetros que definen la vulnerabilidad sísmica.

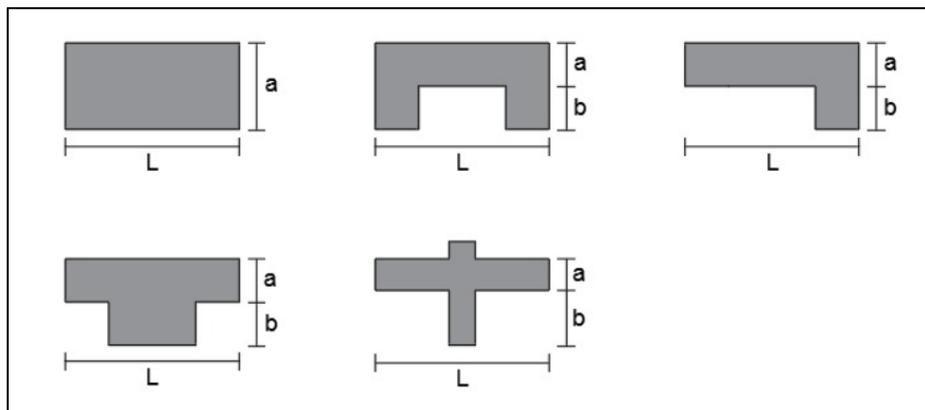
#	Parámetros
1	Organización del sistema resistente.
2	Calidad del sistema resistente.
3	Resistencia convencional.
4	Posición del edificio y cimentación.
5	Diafragmas horizontales.
6	Configuración en planta.
7	Configuración en elevación.
8	Distancia máxima entre los muros.
9	Tipo de cubierta.
10	Elementos no estructurales.
11	Estado de conservación.

Nota: Benedetti & Petrini (1984)

El método se basa en investigaciones de campo, dando a cada parámetro valores numéricos en una escala de 4 letras A, B, C y D (siendo la más vulnerable D), mediante una serie de instrucciones detalladas a manera de guía para no diferir en el análisis entre uno y otro observador. Estos valores numéricos K_i varían entre 0 y 45 (siendo la más vulnerable 45). Las Figuras 1 y 2 muestran los parámetros 6 y 7 respectivamente que dependen de la geometría de la vivienda tanto en planta como en altura.

Figura 1

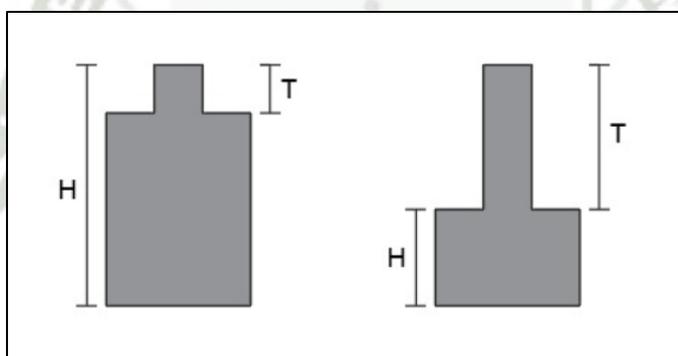
Configuración en planta.



Nota: Benedetti & Petrini (1984)

Figura 2

Configuración en elevación.



Nota: Benedetti & Petrini (1984)

Por último, cada uno de estos factores se multiplica con un peso que simboliza la importancia de cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente de la estructura. Estos coeficientes de peso W_i varían entre 0.25 y 1.50 (siendo la más vulnerable 1.50).

En consecuencia, se presenta en la Tabla 3 la escala numérica de la vulnerabilidad sísmica.

Tabla 3

Escala de vulnerabilidad sísmica de Benedetti y Petrini.

Parámetros Vulnerabilidad sísmica	Clase K_i				Peso W_i
	A	B	C	D	
1. Organización del sistema resistente.	0	5	20	45	1.00
2. Calidad del sistema resistente.	0	5	25	45	0.25
3. Resistencia convencional.	0	5	25	45	1.50
4. Posición del edificio y cimentación.	0	5	25	45	0.75
5. Diafragmas horizontales.	0	5	15	45	1.00
6. Configuración en planta.	0	5	25	45	0.50
7. Configuración en elevación.	0	5	25	45	1.00
8. Distancia máxima entre los muros.	0	5	25	45	0.25
9. Tipo de cubierta.	0	15	25	45	1.00
10. Elementos no estructurales.	0	0	25	45	0.25
11. Estado de conservación.	0	5	25	45	1.00

Nota: Benedetti & Petrini (1984)

La ecuación llamada índice de vulnerabilidad es la que resume todos los parámetros con sus valores numéricos se describe a continuación:

$$VI = \sum_{n=1}^{11} K_i W_i$$

Donde:

VI = Índice de vulnerabilidad

n = Parámetro que define la vulnerabilidad sísmica (Tabla 2)

K_i = Valores numéricos de la escala (Tabla 3)

W_i = Coeficiente de peso para cada parámetro (Tabla 3)

2.3.4 Método de análisis sísmico Demanda-Resistencia

Este método se basa en la comparativa de la demanda que debe resistir una edificación frente a la resistencia real que ofrece ante los esfuerzos sísmicos.

Para el análisis de la demanda se utilizará la norma técnica peruana E 030 Diseño sismorresistente, la cual nos indica todos los desplazamientos máximos entre elementos que

puede sufrir la estructura frente a un sismo. Se realizará un modelamiento en el programa ETABS (Extended Three Dimensional Analysis of Building Systems) luego de la toma de datos necesarios para obtener la resistencia real con los desplazamientos que tienen las estructuras evaluadas.

Por último, se realiza una comparación entre la demanda y la resistencia real que nos indica si las estructuras cumplen o no con la norma técnica peruana E 030 Diseño sismorresistente y si son vulnerables ante las diversas solicitaciones sísmicas.

Para el análisis se considera la resistencia del material (\bar{R}) y la demanda sísmica (V) dadas por las siguientes ecuaciones:

$$\sum_{n=1}^i R_n A_n = \bar{R}$$

Donde:

\bar{R} = Resistencia del material

R_n = Esfuerzos Resistentes

A_n = Área de los elementos

$$V = \frac{ZUCS}{R} P$$

Z = Factor de zona sísmica

U = Factor de uso

C = Factor de amplificación sísmica

S = Factor de suelo

R = Coeficiente básico de reducción de fuerzas sísmicas

P = Peso de la edificación.

Comparando los resultados se puede obtener dos tipos de conclusiones; si $\bar{R} \geq V$, entonces la vivienda no es vulnerable frente a un evento sísmico y si $\bar{R} < V$, entonces la

vivienda es vulnerable frente a un evento sísmico.

Se define el espesor efectivo del muro portante (t) y se verifica en la realidad.

$$t = \frac{h}{20}; \text{Zona sísmica 4}$$

Donde:

h = Altura libre entre los elementos de arriostre horizontales o altura efectiva de pandeo.

Se comprueba la densidad mínima de muros portantes en cada dirección de análisis con parámetros descritos anteriormente y unos nuevos.

$$\frac{\text{Área de Corte de los muros reforzados}}{\text{Área de la planta típica}} = \frac{\sum Lt}{A_p} \geq \frac{ZUSN}{56}$$

Donde:

N = Número de pisos en el edificio.

L = Longitud total del muro.

Se verifica el esfuerzo axial máximo producido por la cara de gravedad máxima de servicio (P_m), incluyendo el 100 % de sobrecarga debe ser inferior a las siguientes condiciones:

$$\sigma_m = \frac{P_m}{Lt} \leq 0.2f'_m \left[1 - \left(\frac{h}{35t} \right)^2 \right] \leq 0.15f'_m$$

Donde:

f'_m = Resistencia a la compresión del muro de albañilería.

Se procede luego a la revisión de los límites de desplazamiento máximos indicados en la norma técnica E 030 diseño sismorresistente, en la cual indica que la respuesta sísmica máxima (Δ) dividida entre la altura de entrepiso define la distorsión de entrepiso, el cual debe ser menor a la distorsión máxima sugerida por la norma antes mencionada.

$$\frac{\Delta}{h} \leq \gamma_{\text{máx}}$$

A continuación, se presentan los límites para la distorsión de entrepiso según la norma técnica E 030 en la Tabla 4.

Tabla 4

Límites para la distorsión de entrepiso.

Material predominante	Δ/h
Concreto armado	0,007
Acero	0,010
Albañilería	0,005
Madera	0,010
Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada	0,005

Nota: Norma Técnica E-030 Diseño Sismorresistente (2018)

Donde:

- Δ = Respuesta sísmica máxima.
- h = Altura de entrepiso.

Se calcula la resistencia al corte en unidades arcilla (V_m) por cada entrepiso para determinar el control de fisuración, cuyo propósito es evitar que los muros portantes se agrieten debido a los sismos moderados que son más frecuentes que los sismos severos.

$$V_m = 0.5v'_m * \alpha * t * L + 0.23P_g$$

Donde:

v'_m = Resistencia característica al corte de la albañilería.

P_g = Carga gravitacional de servicio, con sobrecarga reducida.

α = Factor de reducción de resistencia al corte por efectos de esbeltez.

$$\frac{1}{3} \leq \alpha = \frac{V_e L}{M_e} \leq 1$$

V_e = Fuerza cortante del muro obtenida del análisis elástico.

M_e = Momento flector del muro obtenido del análisis elástico.

$$V_e \leq 0.55V_m$$

Con el efecto de proporcionar una adecuada rigidez y resistencia al edificio, se tiene que cumplir en cada entre piso y en cada dirección de análisis que la resistencia al corte sea mayor a la fuerza cortante producida por el sismo severo.

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Respecto a la resistencia de los materiales de construcción, como lo definido en las limitaciones en el capítulo 1, las resistencias f'_m y v'_m del ladrillo pandereta serán 22,1 kg/cm² y 6,7 kg/cm² respectivamente (Salinas & Lázares., 2007).

2.3.5 Método de vulnerabilidad sísmica de FEMA P – 154

La organización FEMA (Federal Emergency Management Agency) en el año 2015 presentó el manual de Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook en su tercera edición, donde se recomienda una metodología usando la “Detección Visual Rápida” (RVS), la cual opta por clasificar los edificios en dos categorías en base a la puntuación que obtengan, si la puntuación es mayor a 2 se espera que el edificio tenga un desempeño sísmico aceptable, en caso contrario, es decir, la puntuación es menor a 2, la edificación es considerada sísmicamente peligrosa (FEMA-154, 2015).

Este método, al ser un método de inspección visual rápida, está diseñado para realizarse mediante una inspección exteriormente debido a que la mayoría de veces no es posible ingresar a las viviendas. El método propone dos niveles de evaluación, llegando a aplicarse según las siguientes consideraciones:

- Nivel 1 en todos los edificios cuando se tiene demasiados edificios a evaluar.
- Nivel 1 con solo Nivel 2 en edificios especiales o mayor importancia,
- Nivel 1 con solo Nivel 2 en edificios seleccionados según la puntuación obtenida en el nivel anterior.
- Nivel 1 y Nivel 2 en todos los edificios cuando se necesitan evaluaciones más precisas sacrificando la cantidad de edificios a inspeccionar.

A. Nivel 1

Para determinar la puntuación, primero se realiza un formulario con lo siguiente:

- Información general de la edificación (uso, ubicación, fecha, entre otros.)
- Características técnicas generales de la edificación (cantidad de pisos, año de construcción, área construida, entre otros)
- Comentarios del evaluador acerca de la edificación (condiciones o situaciones inusuales)
- Fotografías de la edificación
- Dibujo de la estructura en planta y elevación

Posteriormente se identifica el tipo de edificio según los parámetros del FEMA – 154, donde se asigna un puntaje básico según el edificio, al cual se le adicionará diferentes valores conforme a cada característica anteriormente indicada.

Finalmente, después de realizar la sumatoria de los valores con el puntaje básico, se obtienen datos complementarios acerca de la veracidad de como se obtuvieron los datos anteriores, se indican los riesgos que posee la edificación y si es necesario realizar la evaluación nivel 2 o que medidas correctivas se deben llevar a cabo.

B. Nivel 2

Una vez concluida la evaluación Nivel 1, y de ser necesario o querer unos resultados más detallados, se realiza la evaluación Nivel 2, la cual se define por las siguientes características:

- Irregularidades del verticales
- Irregularidades del horizontales
- Tramos del edificio
- Edificaciones Adyacentes
- Altura entre piso

Todos estos aspectos son puntuados y adicionados a la puntuación del Nivel 1, determinan el puntaje del Nivel 2. Para concluir se indica si la estructura necesita una

evaluación detallada o no.

2.3.6 Método de vulnerabilidad sísmica colombiano AIS

La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica presenta un método de para determinar la vulnerabilidad sísmica en la publicación del Manual para evaluar de manera sencilla la Manual de Construcción, Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de Viviendas de Mampostería, donde en uno de sus capítulos detalla este método para evaluar de manera sencilla la vulnerabilidad de viviendas hasta de 2 pisos (AIS, 2001).

El grado de vulnerabilidad se define calificando de forma visual en tres grados de vulnerabilidad (alta, media, baja) según los siguientes estudios:

A. Aspectos Geométricos

- Irregularidad en Planta
- Cantidad de muros en las dos direcciones
- Irregularidad en altura

B. Aspectos Constructivos

- Juntas en mortero
- Tipo de ladrillo
- Calidad de los materiales

C. Aspectos Estructurales

- Muros confinado
- Detalles de columnas y vigas
- Vanos o aberturas, Entrepiso

D. Otros

- Tipo de cimentación y tipo de suelo
- Pendiente alledaña

Finalmente se determina la vulnerabilidad del edificio según la media global obtenida de cada componente de la evaluación.

CAPÍTULO III

3. METODOLOGÍA

3.1 Tipo y nivel de investigación

Para Hernández et al. (2014) “La investigación básica es la que no tiene propósitos aplicativos inmediatos, pues solo busca ampliar y profundizar el caudal de conocimientos científicos existentes acerca de la realidad. Su objeto de estudio son las teorías científicas”. Esta investigación busca profundizar la información acerca de los métodos existentes para el análisis de vulnerabilidad sísmica realizando un cotejo entre tres métodos que tiene por finalidad encontrar el resultado más certero para resolver el problema. Es por ello por lo que la investigación es de tipo básica.

Según el mismo autor, “La investigación correlacional tiene por finalidad conocer la relación o grado de asociación que exista entre dos o más conceptos, categorías o variables en un contexto en particular” (p. 93). El nivel de la investigación es correlacional, porque tiene por finalidad conocer la relación entre los métodos cuantitativos y cualitativos con sus respectivos parámetros para encontrar el método más certero en el análisis de vulnerabilidad sísmica.

3.2 Diseño de la investigación

Una investigación no experimental es para Hernández et al. (2014): “Investigación que se realiza sin manipular deliberadamente variables. Es decir, se trata de estudios en los que no se hace variar de forma intencional las variables independientes para ver su efecto sobre otras variables. Su objetivo es observar fenómenos tal como se dan en su contexto natural, para analizarlos” (p. 152). Es por ello por lo que la investigación es de diseño no experimental, porque no se variará de manera intencional las variables para obtener un resultado, por el contrario, se analizarán cada vivienda en su contexto natural.

También, dicho autor indica: “Diseño transeccionales correlacionales-causales describen relaciones entre dos o más categorías, conceptos o variables en un momento determinado, ya sea en términos correlacionales, o en función de la relación causa-efecto” (p.158). Esta investigación toma un diseño transeccional correlacional-causal, porque se tomarán los datos en un determinado momento y no en un periodo de tiempo, para encontrar las relaciones con los parámetros de cada método de análisis de vulnerabilidad sísmica.

3.2.1 *Análisis de variables*

Podemos definir, según Borja (2016), a los tipos de variables: “Para el caso de proyectos donde se quiere probar la correlación existente entre dos características del objeto de estudio o se quiere demostrar su relación causa-efecto, existen dos tipos de variables que deben estar incluidas en la hipótesis: a) Variable independiente: Es la variable que produce el efecto o es la causa de la Variable Dependiente. Se la representa por la letra “X”. b) Variable dependiente: Es el resultado o efecto producido por la acción de la variable independiente. Se la representa por la letra “Y”. Así se puede definir la relación $Y = f(X)$ ” (p. 23). Por ende, se puede definir las siguientes variables dependientes e independientes en esta investigación:

3.2.1.1 Variables independientes

- Método Demanda-Resistencia.
- Método Benedetti y Petrini.
- Método de Indeci.

3.2.1.2 Variable dependiente

- Vulnerabilidad sísmica.

El análisis de variables se muestra en la Tabla 5, en donde se sintetizan los parámetros de vulnerabilidad de los tres métodos a estudiar.

Tabla 5

Análisis de variables.

Tipo	VARIABLES	Indicadores
Independientes	Método Demanda-Resistencia	$\bar{R} \geq V$ (no vulnerable) $\bar{R} < V$ (vulnerable) $\frac{\Delta}{h} \leq \gamma_{máx}$ (no vulnerable) $\frac{\Delta}{h} > \gamma_{máx}$ (vulnerable)
	Método Benedetti y Petrini	Índice de vulnerabilidad (baja, media, alta) Escala de vulnerabilidad (A, B, C y D)
	Método INDECI	Nivel de vulnerabilidad. (bajo, moderado, alto, muy alto) Rango del valor (<14, 15 a 17, 18 a 24, >24)
Dependiente	Vulnerabilidad Sísmica	Estado de la vivienda Grado de vulnerabilidad

Nota: Elaboración propia.

Donde:

- \bar{R} = Resistencia del material.
- V = Demanda sísmica.
- Δ = Respuesta sísmica máxima.
- h = Altura de entrepiso.
- $\gamma_{máx}$ = Distorsión máxima.
- A, B, C y D = Escala de vulnerabilidad según Benedetti y Petrini (ver Tabla 2)

3.3 Métodos de investigación

Podemos definir el enfoque mixto según Hernández et al. (2014) como: “Los métodos mixtos representan un conjunto de procesos sistemáticos, empíricos y críticos de investigación e implican la recolección y el análisis de datos cuantitativos y cualitativos, así como su integración y discusión conjunta, para realizar inferencias producto de toda la información recabada (metainferencias) y lograr un mayor entendimiento del fenómeno bajo estudio” (p. 534).

Por lo mencionado podemos concluir que el método de investigación a aplicar es de tipo mixto, es decir, se aplicara tanto un enfoque cualitativo, como un enfoque cuantitativo en la presente investigación.

Para esta investigación se utilizará como área de estudio las viviendas autoconstruidas de albañilería en el anexo de La Real, distrito de Aplao, Arequipa. Se contará con materiales de oficina para el trabajo en gabinete, así como el uso de computadoras personales para el procesamiento de la información.

En la etapa la recolección de datos se hará uso de formularios en los que se anotará la información actual de las viviendas para su evaluación por los parámetros de Benedetti y Petrini. Simultáneamente, se tomará apuntes a detalle del esquema de la estructuración propia de cada vivienda.

La Tabla 6 señala los métodos planteados por cada objetivo propuesto. El objetivo 1 se ha desglosado en tres, en función a los métodos de cada uno de los tres tipos de análisis: Benedetti y Petrini, método Demanda-Resistencia y método de INDECI.

Tabla 6

Matriz objetivos/métodos.

ID	Objetivos	Métodos
1	Realizar la investigación de acuerdo con los parámetros del método Benedetti y Petrini.	A. Recopilación de datos. B. Análisis de parámetros sísmicos. C. Cálculo del Índice de Vulnerabilidad. D. Determinación del nivel de vulnerabilidad de la vivienda.
	Realizar la investigación de acuerdo con los parámetros del método Demanda-Resistencia.	A. Recopilación de datos. B. Verificación de requisitos estructurales mínimos (espesor efectivo, densidad de muros y esfuerzo axial máximo). C. Modelamiento de estructuras en el software Etabs. D. Comparación entre demanda y resistencia real bajo las sollicitaciones sísmicas. E. Verificación de la distorsión de entrepiso. F. Determinación del nivel de vulnerabilidad de la vivienda.
	Realizar la investigación de acuerdo con los parámetros del método de INDECI.	A. Recopilación de datos. B. Llenado de la ficha de verificación. C. Análisis de parámetros de la sección D. D. Determinación del nivel de vulnerabilidad de la vivienda.
2	Evaluar los métodos de análisis de vulnerabilidad sísmica tomando en consideración la relevancia de cada uno de sus parámetros.	A. De acuerdo con el análisis de datos, discutir los resultados de los parámetros más relevantes de los métodos estudiados. B. Reconocer cuáles son los parámetros relevantes en cada método y agruparlos en conjunto.
3	Elegir la mejor alternativa de análisis de vulnerabilidad sísmica para una vivienda autoconstruida, mediante el cotejo de los resultados del análisis de vulnerabilidad sísmica por los tres métodos propuestos.	A. Elaborar un cuadro comparativo entre los resultados por los tres métodos. B. En base al cuadro comparativo, teniendo en cuenta factores como dificultad y tiempo, determinar el método más eficiente para un análisis de vulnerabilidad sísmica.

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO IV

4. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN

4.1 Toma de datos

En primer lugar, se investigaron las normas, métodos aplicativos y demás conceptos relacionados acerca de la vulnerabilidad sísmica obtenidos de bibliotecas virtuales, optando por seleccionar un método para determinar la vulnerabilidad elaborado por las autoridades peruanas (INDECI), un método elaborado por investigadores europeos (Benedetti y Petrini) y un método donde se aplica un sismo a la vivienda mediante software (Demanda – Resistencia).

El anexo de La Real se encuentra ubicado en el distrito de Aplao, capital de la provincia de Castilla en el departamento de Arequipa, a unas 3 horas aproximadas de la ciudad de Arequipa en auto. Es un pueblo rodeado por cerros y chacras seguido del río Majes, cuya población, en su mayoría, vive de la agricultura y ganadería. El anexo es idóneo para la investigación al no contar facilidad de contratar personal técnico en construcción.

El primer acercamiento que se tuvo con la población fue una reunión con el alcalde de la provincia de Castilla. Se le hizo llegar un documento en el cual se solicita el permiso de la intervención de los tesisistas avalado por un asesor o por la universidad para tener un acercamiento más ameno con los pobladores del anexo a estudiar. Dicho documento se presenta en el capítulo de anexos de la investigación.

La recopilación de datos comenzó con la realización de los formatos de Benedetti y Petrini, Demanda-Resistencia e Indeci, los cuales se presentan en las secciones 4.2, 4.3 y 4.4 respectivamente de acuerdo con la bibliografía consultada. Se identificaron las viviendas de albañilería de dos niveles como mínimo y se realizó un panel fotográfico, el cual se muestra en la Tabla 7, conjuntamente con el detalle de la información básica por vivienda.

Se debe indicar también que, las viviendas se definieron en 2 niveles de autoconstrucción: con profesional solo durante la etapa de diseño o sin participación de un profesional, teniendo como resultado el siguiente gráfico. Esta información se representa en la Figura 3.

Figura 3

Grafico de participación de un profesional en el diseño.



Tabla 7

Viviendas seleccionadas para la investigación.

Rótulo	Información	Imagen
Vivienda C1	<p>Inspección externa e interna.</p> <p>Número de pisos a construir: 2.</p> <p>Diseño sin profesional.</p> <p>Construcción sin profesional.</p> <p>Escalera exterior.</p> <p>Muros portantes con ladrillo KK.</p>	
Vivienda C2	<p>Inspección externa e interna.</p> <p>Número de pisos a construir: 3</p> <p>Diseño sin profesional.</p> <p>Construcción sin profesional.</p> <p>Escalera exterior.</p> <p>Muros portantes con ladrillo KK.</p>	

Vivienda C3 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 2
Diseño sin Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C4 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 3
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C5 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 3
Diseño sin Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C6 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 3
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C7 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 3.
Diseño sin Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C8 Inspección externa e interna
Número de pisos a construir 2
Diseño sin Profesional
Construcción sin Profesional
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C9 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 2
Diseño sin Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C10 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 2
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C11 Sin inspección a detalle.
Número de pisos a construir 2.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C12 Sin inspección a detalle.
Número de pisos a construir 2.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C13 Inspección externa e interna
Número de pisos a construir 3
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C14 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 3
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C15 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 2.
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C16 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 3.
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C17 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 3
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C18 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 3.
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C19 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 2.
Diseño sin Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C20 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 3.
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C21 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 4.
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C22 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 2.
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C23 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 2.
Diseño sin Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C24 Inspección externa e interna.
Número de pisos a construir 2.
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera interior.
Muros portantes con ladrillo pandereta en el segundo piso.



Vivienda C25 Sin inspección a detalle.
Número de pisos a construir 2.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C26 Sin inspección a detalle.
Número de pisos a construir 2.
Muros portantes con ladrillo KK.



Vivienda C27 Inspección solo externa.
Número de pisos a construir 2.
Diseño con Profesional.
Construcción sin Profesional.
Escalera exterior.
Muros portantes con ladrillo KK.



Nota: Elaboración propia.

Como se puede observar hubo inconvenientes para la toma de datos en algunas viviendas, como lo es la ausencia de propietarios, negación de ingreso o difícil acceso.

4.2 Parámetros de entrada

Este capítulo presenta los formatos de los diferentes métodos a usar incluyendo sus variables y hojas de cálculo, los cuales representan los parámetros de entrada necesarios para analizar la información posteriormente (Capítulo 5).

4.2.1 Método INDECI

Siguiendo los lineamientos teóricos presentados en la Sección 2.3.2, se plantea el siguiente formato para recopilar datos en campo. Este método contiene secciones de la A hasta la G, pero se consideran solo dos en los cuales recaen la información necesaria para determinar el nivel de vulnerabilidad (ver Figura 4).

4.2.2 Método BENEDETTI Y PETRINI

Tomando de base los lineamientos teóricos presentados en la Sección 2.3.3, y según la tesis de Cajan & Falla (2020), donde tienen como objetivo en su investigación la aplicación del método de Benedetti - Petrini para determinar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones categoría C, adecuando los parámetros conforme lo descrito en la norma peruana E.030 de diseño sismorresistente; se plantea el siguiente formato para recopilar datos en campo modificando algunas secciones para adecuarlas a la norma peruana (ver Figura 5).

4.2.3 Método DEMANDA-RESISTENCIA

Siguiendo los lineamientos teóricos presentados en la Sección 2.3.4, se plantea el siguiente formato para recopilar datos en campo como trazos y medidas (ver Figura 6).

Figura 4

Ficha del método INDECI.

Universidad Católica de Santa María							
Facultad de Arquitectura, Ingenierías Civil y del Ambiente							
Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
TITULO DE LA TESIS	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA ANALIZAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS (BENEDETTI Y PETRINI, DEMANDA-RESISTENCIA, INDECI) – CASO DE ESTUDIO: ANEXO LA REAL, DISTRITO DE APLAO, AREQUIPA, PERÚ						
TESISTAS	Escobar Martínez, Juan Raúl IQUIRA TORRES, FERNANDO DAVID						
METODO A APLICAR	METODO BENEDETTI Y PETRINI						
PROPIETARIO		DNI					
DIRECCION		FECHA					
TIPO DE VIVIENDA							
SE CONTO CON UN PLANO ESTRUCTURAL DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCION				SI () NO ()			
SE CONTO CON PERSONAL TECNICO DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCION				SI () NO ()			
LA VIVIENDA ES CONSIDERADA AUTOCONSTRUIDA				SI () NO ()			
D. CARACTERÍSTICAS DE LA CONSTRUCCIÓN DE LA VIVIENDA							
1. MATERIAL PREDOMINANTE DE LA EDIFICACIÓN							
Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor
1. Adobe ()		6. Adobe reforzado ()		9. Albañilería confinada()		11. Concreto Armado ()	
2. Quincha ()		7. Albañilería ()		10. Otros.....()		12. Acero ()	
3. Mampostería ()	4	8. Otros.....()	3		2	13. Otros.....()	1
4. Madera ()							
5. Otros.....()							
2. LA EDIFICACIÓN CONTÓ CON LA PARTICIPACIÓN DE INGENIERO CIVIL EN EL DISEÑO Y/O CONSTRUCCIÓN							
Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor
1. No ()	4	2. Solo construcción ()	3	3. Solo diseño ()	2	4. Sí, totalmente ()	1
3. ANTIGÜEDAD DE LA EDIFICACIÓN							
Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor
1. De 50 años a más ()	4	2. De 20 a 49 años ()	3	3. De 3 a 19 años ()	2	4. De 0 a 2 años ()	1
4. TIPO DE SUELO							
Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor
1. Rellenos ()		4. Depósito de suelo fino()		6. Granular fino y arcilloso ()	2	7. Suelos rocosos ()	1
2. Depósitos marinos ()	4	5. Arena de gran espesor ()	3				
3. Pantanosos, turba ()							
5. TOPOGRAFÍA DE LA VIVIENDA							
Pendiente muy pronunciada	Valor	Pendiente pronunciada	Valor	Pendiente moderada	Valor	Pendiente plana o ligera	Valor
1. Mayor a 45% ()	4	2. Entre 45% a 20% ()	3	3. Entre 20% a 10% ()	2	4. Hasta 10% ()	1
6. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO COLINDANTE A LA VIVIENDA Y/O ÁREA DE INFLUENCIA							
Pendiente muy pronunciada	Valor	Pendiente pronunciada	Valor	Pendiente moderada	Valor	Pendiente plana o ligera	Valor
1. Mayor a 45% ()	4	2. Entre 45% a 20% ()	3	3. Entre 20% a 10% ()	2	4. Hasta 10% ()	1
7. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN PLANTA				8. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN ELEVACIÓN			
Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor
1. Irregular ()	4	2. Regular ()	1	1. Irregular ()	4	2. Regular ()	1
9. JUNTAS DE DILATACIÓN SÍSMICA SON ACORDES A LA ESTRUCTURA				10. NO EXISTE CONCENTRACIÓN DE MASAS EN NIVEL...			
Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor
1. No/No existen ()	4	2. Sí/No requiere ()	1	1. Superior ()	4	2. Inferior/No existe ()	1
11. EN LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES SE OBSERVA							
11.1 No existen/Son precarios	Valor	11.2 Deterioro y/o humedad	Valor	11.3 Regular estado	Valor	11.4 Buen estado	Valor
1. Cimiento ()		1. Cimiento ()		1. Cimiento ()		1. Cimiento ()	
2. Columnas ()		2. Columnas ()		2. Columnas ()		2. Columnas ()	
3. Muros portantes ()	4	3. Muros portantes ()	3	3. Muros portantes ()	2	3. Muros portantes ()	1
4. Vigas ()		4. Vigas ()		4. Vigas ()		4. Vigas ()	
5. Techos ()		5. Techos ()		5. Techos ()		5. Techos ()	
12. OTROS FACTORES QUE INCIDEN EN LA VULNERABILIDAD POR...							
Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor	Características	Valor
1. Humedad ()		4. Debilitamiento por modificaciones		6. Densidad de muros inadecuada		8. No aplica ()	
2. Cargas laterales ()		5. Debilitamiento por sobrecarga	4	7. Otros:	4		
3. Colapso elementos del entorno ()	4						0

Nota: Elaboración propia.

Figura 5

Ficha del método Benedetti y Petrini.

Universidad Católica de Santa María					
Facultad de Arquitectura, Ingenierías Civil y del Ambiente					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
TITULO DE LA TESIS	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA ANALIZAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS (BENEDETTI Y PETRINI, DEMANDA-RESISTENCIA, INDECI) – CASO DE ESTUDIO: ANEXO LA REAL, DISTRITO DE APLAO, AREQUIPA, PERÚ				
TESISTAS	Escobar Martínez, Juan Raúl Iquiria Torres, Fernando David				
METODO A	METODO BENEDETTI Y PETRINI				
PROPIETARIO		DNI			
DIRECCION		FECHA			
TIPO DE VIVIENDA					
SE CONTO CON UN PLANO ESTRUCTURAL DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCION	SI () NO ()				
SE CONTO CON PERSONAL TECNICO DURANTE EL PROCESO DE CONSTRUCCION	SI () NO ()				
LA VIVIENDA ES CONSIDERADA AUTOCONSTRUIDA	SI () NO ()				
1.- Organización del Sistema Resistente		TIPO	X		
Cumple con la NTE E. 070 Albañilería		A			
No Cumple con la NTE E. 070 Albañilería		B			
Las vigas y columnas confinan parcialmente los muros		C			
Sin vigas ni columnas o autoconstrucción		D			
2.- Calidad de Sistema Resistente		TIPO	X		
CONDICIONES		Edificio Satisface TODAS las condiciones	A		
1. Ladrillos de buena resistencia y calidad		Edificio no cumple con (1) condición	B		
2. Correcto amarre entre ladrillos		Edificio no cumple con (2) condiciones	C		
3. Juntas de mortero con espesor de 10 - 15 mm		Edificio no cumple con (NINGUNA) condición	D		
3.- Resistencia Convencional					
1 Numero de Pisos	N :				
2 Area Total Cubierta	At :	m ²			
3 Area Resistente	Sentido Ax :	m ²			
	Sentido Ay :	m ²			
4 Resistencia Cortante ALBAÑILERIA	Tk :	Ton/m ²			
5 Altura media de los pisos	h :	m ²			
6 Peso Especifico ALBAÑILERIA	Pm :	Ton/m ³			
7 Peso por unidad de LOSA	Ps :	Ton/m ²			
4.- Posicion del Edificio y de la Cimentacion		TIPO	X		
CONDICIONES		Edificio Satisface TODAS las condiciones	A		
1. Que este cimentada en suelo rigido		Edificio no cumple con (1) condición	B		
2. Cumplimiento de la NTE E. 070.		Edificio no cumple con (2) condiciones	C		
3. Inexistencia de sales o humedad		Edificio no cumple con (NINGUNA) condición	D		
5.- Diafragmas Horizontales		TIPO	X		
CONDICIONES		Edificio Satisface TODAS las condiciones	A		
1. Ausencia de desnivles		Edificio no cumple con (1) condición	B		
2. Minima deformacion del diafragma		Edificio no cumple con (2) condiciones	C		
3. Buena conexión entre muros y diafragma		Edificio no cumple con (NINGUNA) condición	D		
6.- Configuración de Planta					
1 Coordenada X inicial	Xmin :	m			
2 Coordenada Y inicial	Ymin :	m			
3 Coordenada X final	Xmax :	m			
4 Coordenada Y final	Ymax :	m			
5 Lote Regular					
7.- Configuración en elevación					
1 Diferencia de Areas	DA =	m ²			
2 Area Total	A =	m ²			
8.- Distancia máxima entre los muros					
1 Espaciamiento entre muros	L =	m			
2 Espesor de muro	S =	m			
9.- Tipo de cubierta		TIPO	X		
CONDICIONES		Edificio Satisface TODAS las condiciones	A		
1. Cubierta estable y plana		Edificio no cumple con (1) condición	B		
2. Adecuada conexión entre cubierta y muro		Edificio no cumple con (2) condiciones	C		
3. Cubierta de material liviano		Edificio no cumple con (NINGUNA) condición	D		
10.- Elementos no estructurales		TIPO	X		
Edificación sin elementos no estructurales o correctamente conectados al sistema resistente.		A			
Edificación con elementos no estructurales aceptablemente conectados al sistema resistente o deteriorados.		B			
Edificaciones con elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente o deteriorados.		C			
Edificaciones con elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente, y mal construidos.		D			
11.- Estado de conservación:		TIPO	Ki	Wi	Ki*Wi
Edificación en buenas condiciones, sin fisuras.		A			
Edificación sin fisuras pero cuyos componentes estan levemente deteriorados.		B			
Edificación con fisuras y cuyos componentes estructurales estan deteriorados.		C			
Muros con fuerte deterioro en sus componentes		D			

Nota: Elaboración propia.

Figura 6

Ficha del método Demanda-Resistencia.

Universidad Católica de Santa María			
Facultad de Arquitectura, Ingenierías Civil y del Ambiente			
Escuela Profesional de Ingeniería Civil			
TITULO DE LA TESIS	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA ANALIZAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS (BENEDETTI Y PETRINI, DEMANDA-RESISTENCIA, INDECI) – CASO DE ESTUDIO: ANEXO LA REAL, DISTRITO DE APLAO, AREQUIPA, PERÚ		
TESISTAS	Escobar Martínez, Juan Raúl Iquira Torres, Fernando David		
METODO A APLICAR	METODO DEMANDA RESISTENCIA		
PROPIETARIO		DNI	
DIRECCION		FECHA	
1.- Croquis de Planta rimer piso			
			

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO V

5. PROCESAMIENTO DE INFORMACIÓN

Este capítulo presenta el cálculo para evaluar las viviendas por los tres métodos. Se identificaron tres viviendas típicas, las cuales sirven como modelo de las veintisiete viviendas estudiadas debido a que tienen configuraciones similares. La representación de las viviendas típicas es como sigue:

- C1; C4; C5; C10; C11; C14; C16; C18; C19; C20; C21; C27: Viviendas de albañilería confinada de dos niveles con estructura compleja. Se eligió a la vivienda C1 para explicar el proceso de evaluación por los 3 métodos.
- C2; C3; C6; C8; C15; C17; C24: Vivienda de albañilería confinada de dos niveles con estructura simple. Se eligió la C2 para explicar el proceso de evaluación por los métodos.
- C5; C7; C8; C9; C13; C16 C22; C23; C24: Vivienda de albañilería confinada de dos niveles con diferente tipo de ladrillo entre pisos. Se eligió a la vivienda C7 para explicar el proceso de evaluación por los 3 métodos.

5.1 Método INDECI

Para el procesamiento de datos tomamos como base únicamente al “Manual del Verificador” propuesto por INDECI (2010), específicamente la Sección D: Características de la construcción de la vivienda, que nos indica consideraciones de los parámetros que utilizamos como único criterio para realizar las mediciones correspondientes, con la intención de obtener resultados fieles a esta metodología que se nos plantea en el método.

A. Parámetro 1: Material predominante de la edificación

Se refiere al material predominante el cual se verificará visualmente y de ser necesario se efectuarán otras mediciones por medio del tacto, sonido y otros métodos que de forma rápida permita constatar el material de uso en la vivienda evaluada, una vez identificado el material se procederá a seleccionar el material como se aprecia en la Figura 7 con su respectiva puntuación. Cabe mencionar que solo se puede elegir un material, y en caso de ser una vivienda con 2 materiales o más, se escoge el más desfavorable, es decir, el de mayor puntuación.

Figura 7

Resultado del parámetro 1 del método INDECI para la vivienda C1.

1. MATERIAL PREDOMINANTE DE LA EDIFICACIÓN	PUNT	X	
1. Adobe, Quincha, Mampostería, Madera, Otros similares	4		2
2. Adobe Reforzado, Albañilería, Otros similares	3		
3. Albañilería confinada, Otros similares	2	X	
4. Concreto Armado, Acero, Otros similares	1		

Nota: Elaboración propia.

B. Parámetro 2: La edificación contó con la participación de ingeniero civil en el diseño y/o construcción

Se realizó por medio de una pregunta a la persona entrevistada al momento de la visita, la cual nos indicó el nivel de participación de un ingeniero civil en la vivienda como se aprecia en la figura 8. Se debe tener en cuenta que las respuestas deben ser claras acerca de las fases de la construcción el Ingeniero participo y las cuáles no.

Figura 8

Resultado del parámetro 2 del método INDECI para la vivienda C1.

2. LA EDIFICACIÓN CONTÓ CON LA PARTICIPACIÓN DE INGENIERO CIVIL EN EL	PUNT	X	
1. No	4	X	4
2. Solo construcción	3		
3. Solo diseño	2		
4. Si, Totalmente	1		

Nota: Elaboración propia.

C. Parámetro 3: Antigüedad de la edificación

Se realizó por medio de una pregunta a la persona entrevistada al momento de la visita, la cual nos indicó un estimado de los años de antigüedad de la vivienda como se aprecia en la figura 8. Cabe mencionar que, si la vivienda posee más de una etapa de construcción, es decir, parte de la vivienda se construyó en tiempos diferentes, se debe tener en cuenta el área de mayor dimensión y el área donde este la mayor cantidad de residentes.

Figura 9

Resultado del parámetro 3 del método INDECI para la vivienda C1.

3. ANTIGÜEDAD DE LA EDIFICACIÓN	PUNT	X	
1. De 50 años a más	4		3
2. De 20 a 49 años	3	X	
3. De 3 a 19 años	2		
4. De 0 a 2 años	1		

Nota: Elaboración propia.

D. Parámetro 4: Tipo de suelo

Se refiere a información acerca del estudio de suelos de dicha zona, para este caso se realizó una revisión bibliografía la cual nos indica la presencia de un suelo diluvial, asemejándose aun suelo granular fino colocando su puntuación en la figura 10.

Figura 10

Resultado del parámetro 4 del método INDECI para la vivienda C1.

4. TIPO DE SUELO	PUNT	X	
1. Rellenos, Depositos Submarinos, Pantanos, turba	4		2
2. Depósito de suelo fino, Arena de gran espesor	3		
3. Granular fino y Arcilloso	2	X	
4. Suelos Rocosos	1		

Nota: Elaboración propia.

E. Parámetro 5: topografía de la vivienda y Parámetro 6: topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia

Se observo minuciosamente la topografía del terreno donde se encuentra la vivienda y se plasmó en la figura 11, y a su vez del terreno colindante y toda área de influencia con posibilidad de causar daños en un sismo, colocándose en la figura 12. Estas mediciones se hicieron de manera visual como indica el método.

Figura 11

Resultado del parámetro 5 del método INDECI para la vivienda C1.

5. TOPOGRAFÍA DE LA VIVIENDA	PUNT	X	
1. Mayor a 45%	4		1
2. Entre 45% a 20%	3		
3. Entre 20% a 10%	2		
4. Hasta 10%	1	X	

Nota: Elaboración propia.

Figura 12

Resultado del parámetro 6 del método INDECI para la vivienda C1.

6. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO COLINDANTE A LA VIVIENDA Y/O ÁREA DE INFL	PUNT	X	
1. Mayor a 45%	4		1
2. Entre 45% a 20%	3		
3. Entre 20% a 10%	2		
4. Hasta 10%	1	X	

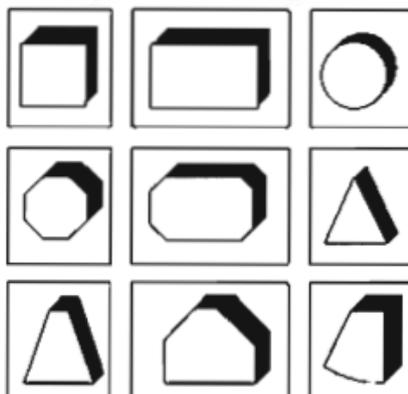
Nota: Elaboración propia.

F. Parámetro 7: configuración geométrica en planta y Parámetro: 8: configuración geométrica en elevación

Se refiere a la disposición estructural tanto de planta como en elevación, donde se comparó esta configuración con las propuestas por el método las cuales se aprecian en la Figura 13 y 14, dándonos como resultado para la configuración en planta y en elevación la Figura 15 y la Figura 16 respectivamente.

Figura 13

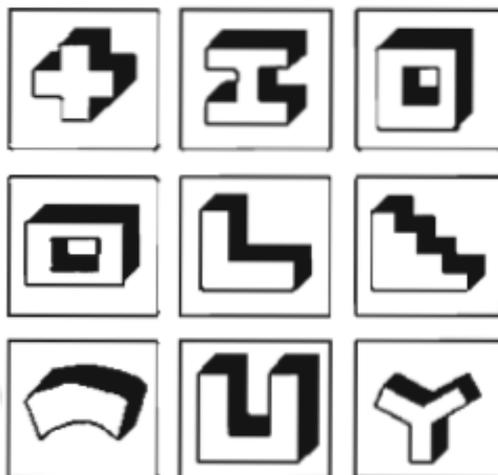
Configuración geométrica - Regular.



Nota: INDECI (2010).

Figura 14

Configuración geométrica - Irregular.



Nota: INDECI (2010).

Figura 15

Resultado del parámetro 7 del método INDECI para la vivienda C1.

7. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN PLANTA	PUNT	X	
1. Irregular	4	X	1
2. Regular	1	X	

Nota: Elaboración propia.

Figura 16

Resultado del parámetro 8 del método INDECI para la vivienda C1.

8. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN ELEVACIÓN	PUNT	X	
1. Irregular	4	X	4
2. Regular	1		

Nota: Elaboración propia.

G. Parámetro 9: Juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura

Se realizó una inspección a las viviendas adyacentes, y se evaluó en la Figura 17 este parámetro.

Figura 17

Resultado del parámetro 9 del método INDECI para la vivienda C1.

9. JUNTAS DE DILATACIÓN SÍSMICA SON ACORDES A LA ESTRUCTURA	PUNT	X	
1. No/No existen	4		1
2. Sí/No requiere	1	X	

Nota: Elaboración propia.

H. Parámetro 10: No existe concentración de masas en nivel

Se realizó una inspección a la vivienda y/o se consultó al encuestado para ubicar algún elemento de gran masa, indicándolo en la Figura 18 y haciendo la recomendación de donde se debe ubicar esta masa extra.

Figura 18

Resultado del parámetro 10 del método INDECI para la vivienda C1.

10. NO EXISTE CONCENTRACIÓN DE MASAS EN NIVEL...	PUNT	X	
1. Superior	4		1
2. Inferior/No existe	1	X	

Nota: Elaboración propia.

I. Parámetro 11: En los principales elementos estructurales se observa

Se realizó una inspección a los elementos estructurales de la vivienda la cual se muestra en la Figura 19, calificando el estado de esta definida como una estructura en: Buen Estado (sin daño visibles), Regular Estado (se aprecian fisuras en paredes, techos o elementos estructurales), Deterioro y Humedad (se aprecian fisuras diagonales o longitudinales en muros y/o agrietamiento en elementos estructurales, presencia de humedad en elementos estructurales) y No existen/son precarios (se aprecian grietas grandes, trituración o separación en elementos estructurales).

Figura 19

Resultado del parámetro 11 del método INDECI para la vivienda C1.

11. EN LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES SE OBSERVA	PUNT	X	
1. No existen/Son precarios	4		1
2. Deterioro y/o humedad	3		
3. Regular estado	2		
4. Buen estado	1	X	

Nota: Elaboración propia.

J. Parámetro 12: Otros factores que inciden en la vulnerabilidad por...

Se realizó una evaluación en función a cada factor indicado en la Figura 20, donde se marcó cada factor que la vivienda presentaba para después realizar una sumatoria y obtener la puntuación para este parámetro.

Figura 20

Resultado del parámetro 12 del método INDECI para la vivienda C1.

12. OTROS FACTORES QUE INCIDEN EN LA VULNERABILIDAD POR...	PUNT	X	
1. Humedad, Colapso laterales, Colapso elementos del entorno	4		3
2. Debilitamiento por modificaciones, Debilitamiento por sobrecarga	3	X	
3. Densidad de muros inadecuada y Otros	2		
4. No aplica	1		

Nota: Elaboración propia.

K. Sumatoria de puntajes obtenido de cada parámetro

Para determinar la sumatoria programó una hoja de cálculo (Figura 21), en función a los lineamientos teóricos presentados en la Sección 2.3.2, para determinar la sumatoria en función a los datos obtenidos en la encuesta de la figura 3.

Figura 21

Hoja de cálculo del método INDECI para la vivienda C1.

Universidad Católica de Santa María					
Facultad de Arquitectura, Ingenierías Civil y del Ambiente					
Escuela Profesional de Ingeniería Civil					
TÍTULO DE LA TESIS	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA ANALIZAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS (BENEDETTI Y PETRINI, DEMANDA-RESISTENCIA, INDECI) – CASO DE ESTUDIO: ANEXO LA REAL, DISTRITO DE APLAO, AREQUIPA, PERÚ				
TESISTAS	Escobar Martínez, Juan Raúl Iquiria Torres, Fernando David				
METODO A APLICAR	METODO INDECI				
ROTULO DE VIVIENDA	C1		FECHA	20/04/2023	
1. MATERIAL PREDOMINANTE DE LA EDIFICACIÓN			PUNT	X	
1. Adobe, Quincha, Mampostería, Madera, Otros similares			4		2
2. Adobe Reforzado, Albañilería, Otros similares			3		
3. Albañilería confinada, Otros similares			2	X	
4. Concreto Armado, Acero, Otros similares			1		
2. LA EDIFICACIÓN CONTÓ CON LA PARTICIPACIÓN DE INGENIERO CIVIL EN EL DISEÑO Y/O CONSTRUCCIÓN			PUNT	X	
1. No			4	X	4
2. Solo construcción			3		
3. Solo diseño			2		
4. Si, Totalmente			1		
3. ANTIGÜEDAD DE LA EDIFICACIÓN			PUNT	X	
1. De 50 años a más			4		3
2. De 20 a 49 años			3	X	
3. De 3 a 19 años			2		
4. De 0 a 2 años			1		
4. TIPO DE SUELO			PUNT	X	
1. Rellenos, Depositos Submarinos, Pantanos, turba			4		2
2. Depósito de suelo fino, Arena de gran espesor			3		
3. Granular fino y Arcilloso			2	X	
4. Suelos Rocosos			1		
5. TOPOGRAFÍA DE LA VIVIENDA			PUNT	X	
1. Mayor a 45%			4		1
2. Entre 45% a 20%			3		
3. Entre 20% a 10%			2		
4. Hasta 10%			1	X	
6. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO COLINDANTE A LA VIVIENDA Y/O ÁREA DE INFLUENCIA			PUNT	X	
1. Mayor a 45%			4		1
2. Entre 45% a 20%			3		
3. Entre 20% a 10%			2		
4. Hasta 10%			1	X	
7. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN PLANTA			PUNT	X	
1. Irregular			4		1
2. Regular			1	X	
8. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN ELEVACIÓN			PUNT	X	
1. Irregular			4	X	4
2. Regular			1		
9. JUNTAS DE DILATACIÓN SÍSMICA SON ACORDES A LA ESTRUCTURA			PUNT	X	
1. No/No existen			4		1
2. Sí/No requiere			1	X	
10. NO EXISTE CONCENTRACIÓN DE MASAS EN NIVEL...			PUNT	X	
1. Superior			4		1
2. Inferior/No existe			1	X	
11. EN LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES SE OBSERVA			PUNT	X	
1. No existen/Son precarios			4		1
2. Deterioro y/o humedad			3		
3. Regular estado			2		
4. Buen estado			1	X	
12. OTROS FACTORES QUE INCIDEN EN LA VULNERABILIDAD POR...			PUNT	X	
1. Humedad, Colapso laterales, Colapso elementos del entorno			4		3
2. Debilitamiento por modificaciones, Debilitamiento por sobrecarga			3	X	
3. Densidad de muros inadecuada y Otros			2		
4. No aplica			1		
NIVEL DE VULNERABILIDAD			ALTA		24

Nota: Elaboración propia.

5.2 Método BENEDETTI Y PETRINI

Para el procesamiento de datos tomamos como base la tesis elaborada por Cajan & Falla (2020), como mencionamos en anteriormente, específicamente el punto “4.5.4.2. Para edificaciones de albañilería” donde realizan la evaluación de una vivienda de albañilería a través del Método Benedetti y Petrini adecuando los parámetros conforme lo descrito en la norma peruana E.030 de diseño sismorresistente.

A. Parámetro 1: Organización del Sistema Resistente

Se refiere al nivel de supervisión técnica en función a la norma E.070 de Albañilería en el diseño y construcción de la vivienda la cual se evalúa en la Figura 22, para este parámetro se recomienda la asistencia de un experto o personal con conocimientos acerca de la norma E 070.

Figura 22

Resultado del parámetro 1 del método B&P para la vivienda C1.

1.- Organización del Sistema Resistente	TIPO	X
Cumple con la NTE E. 070 Albañilería	A	
No Cumple con la NTE E. 0.70 Albañilería	B	X
Las vigas y columnas confinan parcialmente los muros	C	
Sin vigas ni columnas o autoconstrucción	D	

Nota: Elaboración propia.

B. Parámetro 2: Calidad de Sistema Resistente

Se realiza de manera visual, y de ser necesario se efectuarán otras mediciones por medio del tacto, sonido y otros que de forma rápida permita constatar la unidad de albañilería de uso en la vivienda evaluada, la cual se marca en la ficha como se muestra en la Figura 23. Cabe mencionar que en este parámetro solo se evalúa la calidad del ladrillo utilizado y si se realizó un correcto proceso constructivo, mientras que otros factores como la antigüedad o deterioro se evaluarán en otro parámetro.

Figura 23

Resultado del parámetro 2 del método B&P para la vivienda C1.

2.- Calidad de Sistema Resistente		TIPO	X
CONDICIONES	Edificio Satisface TODAS las condiciones	A	X
1. Ladrillos de buena resistencia y calidad	Edificio no cumple con (1) condicion	B	
2. Correcto amarre entre ladrillos	Edificio no cumple con (2) condiciones	C	
3. Juntas de mortero con espesor de 10 - 15 mm	Edificio no cumple con (NINGUNA) condicion	D	

Nota: Elaboración propia.

C. Parámetro 3: Resistencia Convencional

Se realizo mediciones en función a la estructura de la vivienda y las propiedades físicas de los elementos de la vivienda, con las cuales llenamos los parámetros de entrada como se muestra en la Figura 24.

Figura 24

Resultado del parámetro 3 del método B&P para la vivienda C1.

3.- Resistencia Convencional						
1	Numero de Pisos		N :	2		
2	Area Total Cubierta		At :	89.37	m2	
3	Area Resistente		Sentido Ax :	1.98	m2	
			Sentido Ay :	4.41	m2	
4	Resistencia Cortante ALBAÑILERIA		Tk :	81	Ton/m2	
5	Altura media de los pisos		h :	2.6	m2	
6	Peso Especifico ALBAÑILERIA		Pm :	1.85	Ton/m3	
7	Peso por unidad de LOSA		Ps :	0.4	Ton/m2	

Nota: Elaboración propia.

Para determinar se coloca el número pisos, el área total cubierta, el área resistente la cual se obtiene al calcular la densidad de muros en los sentidos X y Y como se muestra en la Figura 25 y 26 respectivamente, la Resistencia Cortante la cual obtenemos de la Tabla 8, la altura entre piso, el peso específico de la unidad de albañilería y el peso específico de la losa en función al tipo y espesor de esta, además también se toma en cuenta el tarrajeo o falso piso adicionando una carga adicional.

Figura 25

Calculo de densidad de muros en el sentido X para la vivienda C1.

DENSIDAD DE MUROS DIRECCIÓN XX			
Muro	L (m)	t (m)	Lxt (m ²)
X1	1.9	0.15	0.285
X2	1.8	0.15	0.27
X3	4.6	0.15	0.69
X4	0	0.15	0
X5	2.4	0.15	0.36
X6	2.5	0.15	0.375
		Ax	1.98

Nota: Elaboración propia.

Figura 26

Calculo de densidad de muros en el sentido X para la vivienda C1.

Muro	L (m)	t (m)	Lxt (m ²)
Y1	3.1	0.15	0.465
Y2	1.84	0.15	0.276
Y3	4	0.15	0.6
Y4	4.4	0.15	0.66
Y5	3.1	0.15	0.465
Y6	3.1	0.15	0.465
Y7	4	0.15	0.6
Y8	2.76	0.15	0.414
Y9	3.1	0.15	0.465
		Ay	4.41

Nota: Elaboración propia.

Tabla 8

Resistencia características de la albañilería Mpa (kg/cm²).

Materia Prima	Denominación	Unidad f'b MPa(kg/cm²)	Pilas f'm MPa(kg/cm²)	Muretes v'm MPa(kg/cm²)
Arcilla	King Kong Artesanal	5,4 (55)	3,4 (35)	0,5 (5,1)
	King Kong Industrial	14,2 (145)	6,4 (65)	0,8 (8,1)
	Rejilla Industrial	21,1 (215)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
Silice-cal	King Kong Normal	15,7 (160)	10,8 (110)	1,0 (9,7)
	Dédalo	14,2 (145)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
	Estandar y mecano	14,2 (145)	10,8 (110)	0,9 (9,2)
Bloque de concreto		4,9 (50)	7,3 (74)	0,8 (8,6)
	Bloque Tipo P	6,4 (65)	8,3 (85)	0,9 (9,2)
		7,4 (75)	9,3 (95)	1,0 (9,7)
		8,3 (85)	11,8 (120)	1,1 (10,9)

Nota: San Bartolomé, Á. (2005).

Para poder obtener el nivel de vulnerabilidad para este parámetro tenemos que seguir una serie de cálculos en función a los datos obtenidos anteriormente, por lo cual primero debemos calcular la Resistencia cortante más desfavorable (VR) con la siguiente formula.

$$VR = \min(A_x; A_y) * Tk$$

$$VR = 1.98 * 81 = 160.38$$

Donde:

- Tk = Resistencia a cortante de los muros (tn/m²) según la tabla 8

Consecutivamente calculamos el peso de la vivienda con la siguiente formula

$$W = N * (A_x + A_y) * h * P_m + N * A_t * P_s$$

$$W = 2(1.98 + 4.41) * 2.6 * 1.85 + 2 * 89.37 * 0.40 = 132.96 \text{ tn}$$

Donde:

- N = Número de pisos
- h = Altura media entre pisos (m)
- P_m = Peso específico de la albañilería (tn/m³)
- P_s = Peso por unidad de la losa (tn/m²)
- At = Área total (m²)

Ahora determinamos el coeficiente de resistencia (CSR):

$$CSR = \frac{VR}{W}$$

$$CSR = \frac{160.38}{132.97} = 1.206$$

Calculamos el coeficiente sísmico exigido (CSE):

$$CSE = \frac{ZUCS}{R}$$

$$CSE = \frac{0.45 * 1 * 2.5 * 1.05}{3} = 0.394$$

Donde:

- Z = Factor de zona (Z=0.45)
- S = Factor de suelo (S=1.05)
- U = Factor de uso (U=1)
- C = Factor de amplificación sísmica (C=2.5)
- R = Coeficiente de reducción de las fuerzas sísmicas (R=3)

$$W = 2(1.98 + 4.41) * 2.6 * 1.85 + 2 * 89.37 * 0.40 = 132.96 \text{ tn}$$

Finalmente, la Demanda de Ductilidad (DD):

$$DD = \frac{CSE}{CSR}$$

$$DD = \frac{0.394}{1.206} = 0.326$$

Con el resultado de DD obtenido se determina el nivel de vulnerabilidad siendo “A” si DD tiene un menor a 0.50, “B” con un valor entre 0.50 a 1.00, “C” de 1.00 a 1.50 y “D” mayor a 1.50. Por lo que este parámetro entrega un nivel de vulnerabilidad “A”.

D. Parámetro 4: Posición del Edificio y de la Cimentación

Se realizó teniendo en cuenta la posición de la vivienda, el tipo de suelo y la existencia de nivel freático o presencia de sales, la cual podemos obtener de bibliografía o estudios realizados con anterioridad en el área. Una vez obtenido los datos se procede a llenar el formato como se muestra en la Figura 27, en función del número de condiciones que cumple la cimentación de la vivienda.

Figura 27

Resultado del parámetro 4 del método B&P para la vivienda C1.

4.- Posición del Edificio y de la Cimentación		TIPO	X
CONDICIONES	Edificio Satisface TODAS las condiciones	A	
1. Que este cimentada en suelo rígido	Edificio no cumple con (1) condición	B	X
2. Cumplimiento de la NTE E. 070.	Edificio no cumple con (2) condiciones	C	
3. Inexistencia de sales o humedad	Edificio no cumple con (NINGUNA) condición	D	

Nota: Elaboración propia.

E. Parámetro 5: Diafragmas Horizontales

Se inspecciono principalmente la buena conexión entre el diafragma horizontal, es decir la losa aligerada, con los elementos estructurales verticales como las columnas y muros portantes, también se verifico que no cuente con la existencia de desniveles y deformaciones. Una vez obtenido los datos se procede a llenar el formato como se muestra en la Figura 28, en función del número de condiciones que se cumplen.

Figura 28

Resultado del parámetro 5 del método B&P para la vivienda C1.

5.- Diafragmas Horizontales		TIPO	X
CONDICIONES	Edificio Satisface TODAS las condiciones	A	
1. Ausencia de desniveles	Edificio no cumple con (1) condición	B	X
2. Mínima deformación del diafragma	Edificio no cumple con (2) condiciones	C	
3. Buena conexión entre muros y diafragma	Edificio no cumple con (NINGUNA) condición	D	

Nota: Elaboración propia.

F. Parámetro 6: Configuración de Planta

Se refiere a la disposición estructural de planta de la vivienda teniendo de referencia lo mostrado en la Figura 1, de ser necesario también se puede calcular la irregularidad de la vivienda obteniendo un resultado más preciso partiendo de los datos de la Figura 29.

Figura 29

Resultado del parámetro 6 del método B&P para la vivienda C1.

6.- Configuración de Planta					
1	Coordenada X inicial		Xmin :	0.00	m
2	Coordenada Y inicial		Ymin :	0.00	m
3	Coordenada X final		Xmax :	13.38	m
4	Coordenada Y final		Ymax :	7.05	m
5	Lote Regular			SI	

Nota: Elaboración propia.

Primero calculamos el centro geométrico de la vivienda utilizando los datos anteriores:

$$Xg = \frac{Xmin + Xmax}{2} = \frac{0 + 13.38}{2}$$

$$Xg = 6.69$$

$$Yg = \frac{Ymin + Ymax}{2} = \frac{0 + 7.05}{2}$$

$$Yg = 3.53$$

Consecutivamente, determinamos el centro de masa de la vivienda. Al ser esta simétrica, no presentar irregularidades en planta y es rectangular, como se aprecia en la Figura 36, podemos afirmar lo siguiente

$$Xm = \frac{Xmax}{2} = \frac{13.38}{2}$$

$$Xm = 6.69$$

$$Ym = \frac{Ymax}{2} = \frac{7.05}{2}$$

$$Ym = 3.53$$

Finalmente, para determinar la irregularidad utilizamos la siguiente formula

$$IR_x = \frac{|X_m - X_g|}{\frac{1}{2}|X_{max} - X_{min}|} = \frac{|6.69 - 6.69|}{\frac{1}{2}|13.38 - 0|}$$

$$IR_x = 0$$

$$IR_y = \frac{|Y_m - Y_g|}{\frac{1}{2}|Y_{max} - Y_{min}|} = \frac{|3.53 - 3.53|}{\frac{1}{2}|7.05 - 0|}$$

$$IR_y = 0$$

Una vez determinada la irregularidad asignamos el nivel de vulnerabilidad siendo “A” si la IR es menor a 0.1, “B” si esta entre 0.1 y 0.5, “C” entre 0.5 y 1.0 y D si es mayor a 1.0. Por lo que este parámetro entrega un nivel de vulnerabilidad “A”.

G. Parámetro 7: Configuración en elevación

Se refiere a la disposición estructural de planta de la vivienda teniendo de referencia lo mostrado en la Figura 2, de ser necesario también se puede calcular la modificación de masa por lo que se necesitan los datos de entrada mostrados en Figura 30

Figura 30

Resultado del parámetro 7 del método B&P para la vivienda C1.

7.- Configuración en elevación					
1	Diferencia de Areas	DA =	5.52	m2	
2	Area Total	A =	97.53	m2	

Nota: Elaboración propia.

Primero calculamos la modificación de masa (MM) los datos utilizamos la siguiente formula

$$MM = \frac{DA}{A} \times 100 = \frac{5.52}{97.53} * 100$$

$$MM = 6\%$$

Una vez determinada la relación entre las alturas asignamos el nivel de vulnerabilidad siendo “A” si el valor es menor a 10%, “B” si esta entre 10% y 20%, “C” entre 20% y 50%;

y D si es mayor a 50%. Por lo que este parámetro entrega un nivel de vulnerabilidad “A”.

H. Parámetro 8: Distancia máxima entre los muros

Se realizó la medición y posterior evaluación del muro con la mayor distancia entre las caras interiores de sus columnas, cuyos datos se anotan en la ficha como se muestra en la Figura 31.

Figura 31

Resultado del parámetro 8 del método B&P para la vivienda C1.

8.- Distancia máxima entre los muros			
1	Espaciamiento entre muros	L =	4.60 m
2	Espesor de muro	S =	0.15 m

Nota: Elaboración propia.

Para determinar este nivel de vulnerabilidad utilizamos la siguiente fórmula:

$$\frac{L}{S} = \frac{4.60}{0.15}$$

$$\frac{L}{S} = 30.67$$

Una vez determinada asignamos el nivel de vulnerabilidad siendo “A” si el valor es menor a 15, “B” si esta entre 15 y 18, “C” entre 18 y 25 y D si es mayor a 25 Por lo que este parámetro entrega un nivel de vulnerabilidad “D”.

I. Parámetro 9: Tipo de cubierta

Se evalúa la vulnerabilidad de la cubierta, es decir la losa del último piso al soportar un evento sísmico a través de las condiciones mostradas en la Figura 32.

Figura 32

Resultado del parámetro 9 del método B&P para la vivienda C1.

9.- Tipo de cubierta		TIPO	X
CONDICIONES	Edificio Satisface TODAS las condiciones	A	X
1. Cubierta estable y plana	Edificio no cumple con (1) condicion	B	
2. Adecuada conexión entre cubierta y muro	Edificio no cumple con (2) condiciones	C	
3. Cubierta de material liviano	Edificio no cumple con (NINGUNA) condicion	D	

Nota: Elaboración propia.

J. Parámetro 10: Elementos no estructurales

Se realizó una evaluación a todos los elementos no estructurales, como lo son la tabiquería y otros elementos con una gran masa que puedan llegar a generar un riesgo frente a un evento sísmico, evaluando principalmente la correcta conexión a los elementos estructurales y el nivel de deterioro de esta, como se aprecia en la Figura 33

Figura 33

Resultado del parámetro 10 del método B&P para la vivienda C1.

10.- Elementos no estructurales	TIPO	X
Edificación sin elementos no estructurales o correctamente conectados al sistema resistente.	A	X
Edificación con elementos no estructurales aceptablemente conectados al sistema resistente o deteriorados.	B	
Edificaciones con elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente o deteriorados.	C	
Edificaciones con elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente, y mal contruidos .	D	

Nota: Elaboración propia.

K. Parámetro 11: Estado de conservación

Se realizó una evaluación del estado de conservación de los elementos, la cual se evaluó de manera visual como se aprecia en la figura 34. De encontrar muros con diferentes etapas de deterioro se considerará el caso más desfavorable.

Figura 34

Resultado del parámetro 11 del método B&P para la vivienda C1.

11.- Estado de conservación:	TIPO	Ki	Wi	Ki*Wi
Edificación en buenas condiciones, sin fisuras .	A		X	
Edificación sin fisuras pero cuyos componentes están levemente deteriorados .	B			
Edificación con fisuras y cuyos componentes estructurales están deteriorados .	C			
Muros con fuerte deterioro en sus componentes	D			

Nota: Elaboración propia.

L. Sumatoria de puntajes de cada parámetro

Se programó una hoja de cálculo (Figura 35) en función a los lineamientos teóricos presentados en la Sección 2.3.3 y lo anterior expuesto en esta misma sección, en esta hoja de cálculo solo se completan con los datos obtenidos en la encuesta de la figura 4 y nos entrega la sumatoria de los resultados de cada parámetro y el nivel de vulnerabilidad.

Figura 35

Hoja de cálculo del método Benedetti & Petrini para la vivienda C1.

Universidad Católica de Santa María							
Facultad de Arquitectura, Ingenierías Civil y del Ambiente							
Escuela Profesional de Ingeniería Civil							
TITULO DE LA TESIS	COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA ANALIZAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS (BENEDETTI Y PETRINI, DEMANDA-RESISTENCIA, INDECI) – CASO DE ESTUDIO: ANEXO LA REAL, DISTRITO DE APLAO, AREQUIPA, PERÚ						
TESISTAS	Escobar Martínez, Juan Raúl Iquira Torres, Fernando David						
METODO A APLICAR	METODO BENEDETTI Y PETRINI						
ROTULO DE VIVIENDA	C1			FECHA	20/04/2023		
1.- Organización del Sistema Resistente				B	5	1.00	5
2.- Calidad de Sistema Resistente				B	5	0.25	1.25
3.- Resistencia Convencional				A	0	1.50	0
DATOS							
1	Numero de Pisos	N :	2.00	DD =	0.16		
2	Area Total Cubierta	At :	89.37 m ²				
3	Area Resistente	Sentido Ax :	1.98 m ²				
		Sentido Ay :	4.41 m ²				
4	Resistencia Cortante ALBAÑILERIA	Tk :	81.00 Ton/m ²				
5	Altura media de los pisos	h :	2.60 m ²				
6	Peso Especifico ALBAÑILERIA	Pm :	1.85 Ton/m ³				
7	Peso por unidad de LOSA	Ps :	0.40 Ton/m ²				
4.- Posicion del Edificio y de la Cimentacion				B	5	0.75	3.75
5.- Diafragmas Horizontales				D	45	1.00	45
6.- Configuración de Planta				A	0	0.50	0
DATOS							
1	Coordenada X inicial	Xmin :	- m	IR =	0.00		
2	Coordenada Y inicial	Ymin :	- m				
3	Coordenada X final	Xmax :	13.38 m				
4	Coordenada Y final	Ymax :	7.05 m				
5	Lote Regular		SI				
7.- Configuración en elevación				A	0	1.00	0
DATOS							
1	Diferencia de Areas	DA =	5.52 m ²	DA/A =	0.06		
2	Area Total	A =	89.37 m ²				
8.- Distancia máxima entre los muros				D	45	0.25	11.25
DATOS							
1	Espaciamento entre muros	L =	4.60 m ²	L/S =	30.67		
2	Espesor de muro	S =	0.15 m ²				
9.- Tipo de cubierta				A	0	1.00	0
10.- Elementos no estructurales				B	0	0.25	0
11.- Estado de conservación:				B	5	1.00	5
NIVEL DE VULNERABILIDAD				BAJA			71.3
							19.8

Nota: Elaboración propia.

5.3 Método DEMANDA-RESISTENCIA

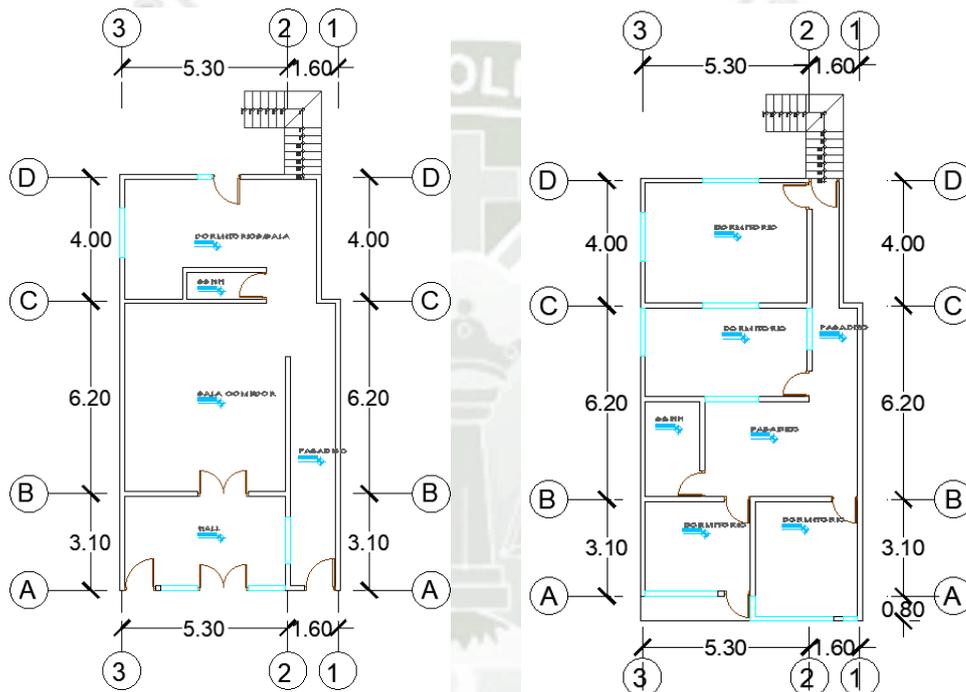
5.3.1 Vivienda C1

A. Arquitectura

La Figura 36 presenta el plano de arquitectura obtenido de las mediciones en campo.

Figura 36

Planta de arquitectura de primer y segundo nivel de la vivienda C1.



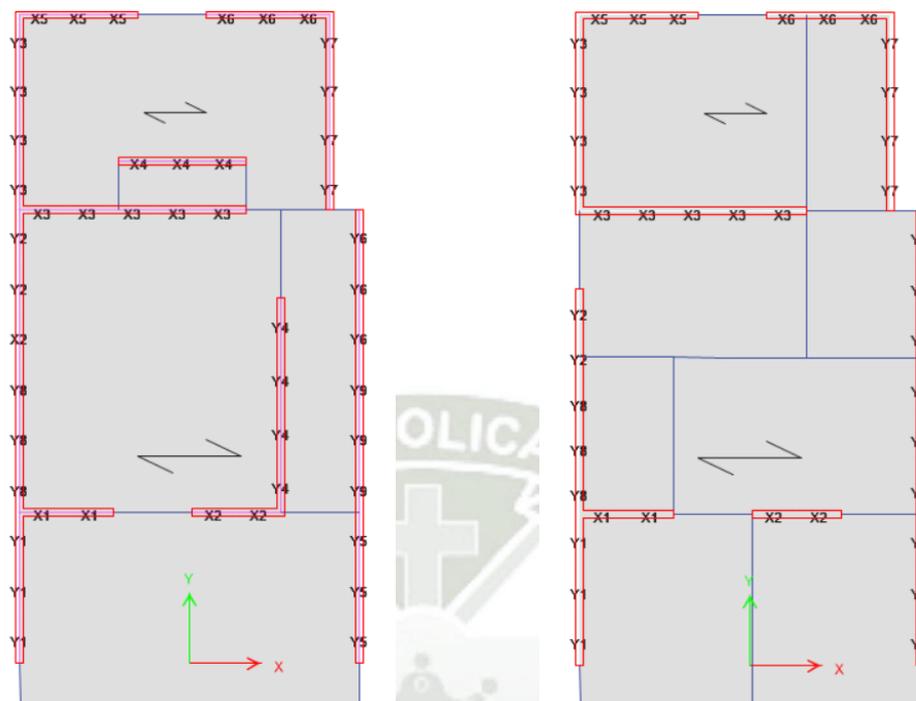
Nota: Elaboración propia.

B. Modelamiento mediante Etabs

A continuación, se presenta el análisis de vulnerabilidad sísmica por el método de Demanda-Resistencia de la vivienda C1. Los muros portantes se determinan por su continuidad desde la base. Es por ello que para la densidad de muros se tomaron aquellos muros que tienen continuidad desde la cimentación hasta el segundo nivel, pero considerando que son un apoyo importante en la estructura y por la observación visual realizada en la etapa de toma de datos, para el análisis sísmico se tomó en consideración muros portantes que llegan desde la cimentación hasta el primer nivel tomando en cuenta en el segundo nivel un peso repartido por tabiquería en el diafragma rígido. En la Figura 37 se presentan los muros portantes tomados en cuenta.

Figura 37

Configuración de muros portantes del primer y segundo nivel de la vivienda C1.



Nota: Elaboración propia.

Se procede a dibujar en el programa Etabs los muros portantes considerados en la arquitectura. Definimos materiales de la albañilería y concreto armado, como se aprecia en la Tabla 9; y se obtiene el modelado de la estructura representada en la Figura 38.

Tabla 9

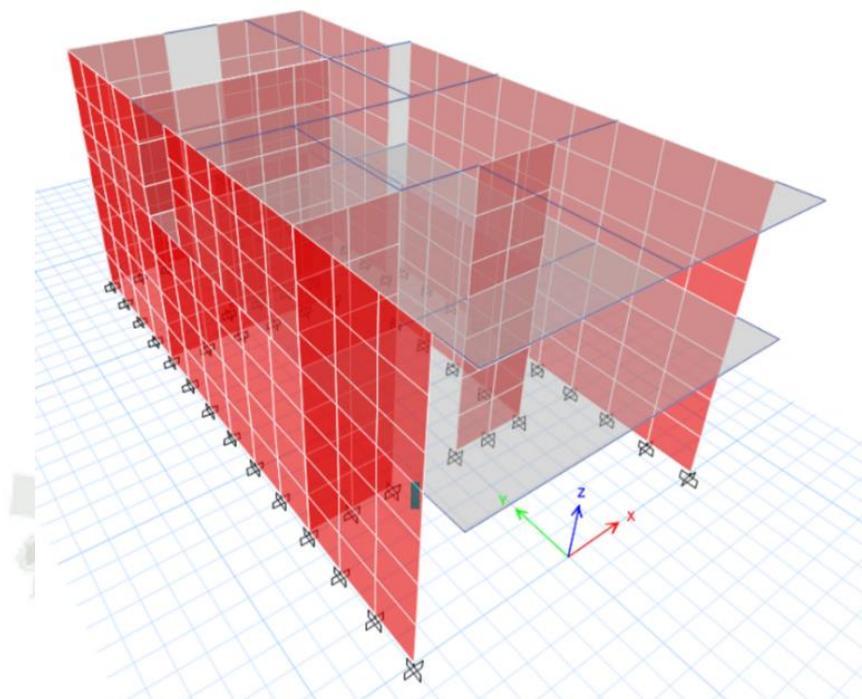
Tabla de características de materiales utilizados en el programa ETABS para la vivienda C1.

Concreto	
Resistencia a la compresión ($f'c$)	210 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (E_c)	217370.6 kg/cm ²
Módulo de corte ($G_c = E_c / 2(\mu_c + 1)$)	90571.08 kg/cm ²
Módulo de poisson (μ_c)	0.15
Albañilería tipo V	
Resistencia a la compresión ($f'm$)	65 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (E_m)	32500 kg/cm ²
Resistencia al corte ($V'm$)	8.1 kg/cm ²
Módulo de corte ($G_c = E_c / 2(\mu_c + 1)$)	13000 kg/cm ²
Módulo de poisson	0.25
Acero	
Esfuerzo de fluencia (f_y)	4200 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (E_s)	2000000 kg/cm ²

Nota: Elaboración propia.

Figura 38

Modelado de la estructura de la vivienda C1.



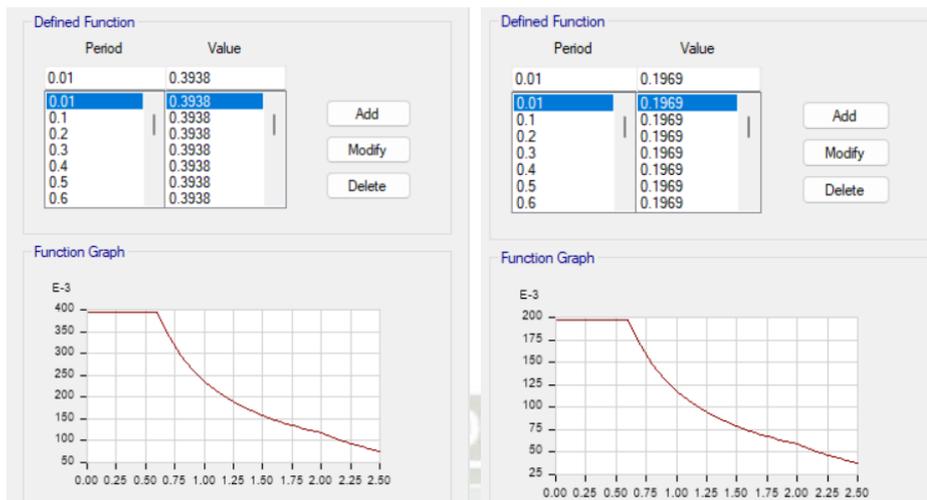
Nota: Elaboración propia.

Se realiza el metrado de cargas en cada elemento asignando los pesos correspondientes y se introduce los espectros de respuesta de la norma como se muestra en la Figura 39 tanto como el del sismo severo y el sismo moderado para los respectivos análisis.

Peso propio elementos de concreto armado	2400 kg/m ³
Peso propio elementos de albañilería	1800 kg/m ³
Peso propio de losa aligerada (h=0.20m)	300 kg/m ²
Peso propio de piso terminado	100 kg/m ²
Peso tabiquería repartida	150 kg/m ²

Figura 39

Espectro de respuesta según E.030 para la vivienda C1.

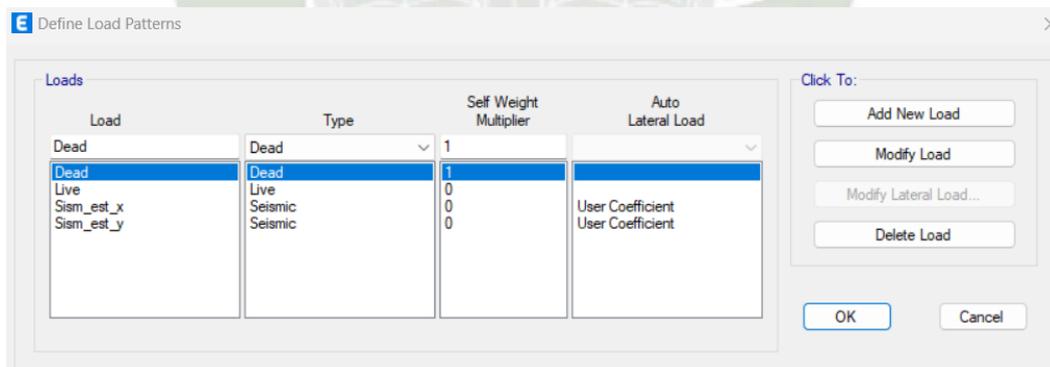


Nota: Elaboración propia.

Se define el sismo estático, sismo dinámico moderado y sismo dinámico severo, así como las combinaciones modales y de derivas las cuales se pueden ver en las Figuras 40; 41 y 42.

Figura 40

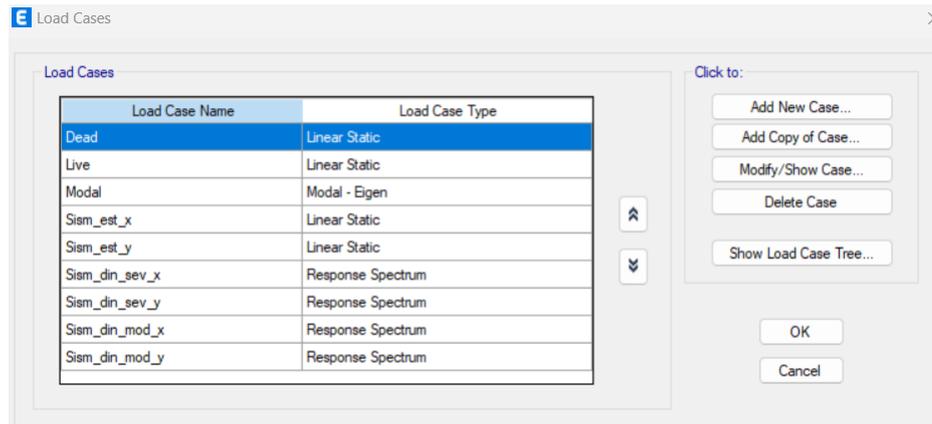
Patrones de carga para la vivienda C1.



Nota: Elaboración propia.

Figura 41

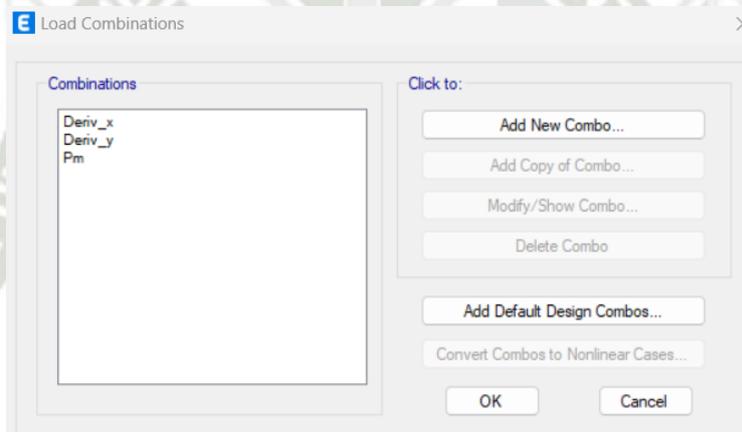
Casos de carga para la vivienda C1.



Nota: Elaboración propia.

Figura 42

Combinaciones de carga para la vivienda C1.



Nota: Elaboración propia.

Por último, se corre el análisis y se interpretan los resultados.

Se consideraron los siguientes datos:

$$t = 0.15m$$

$$U = 1$$

$$S = 1.05$$

$$N = 2$$

$$Z = 0.45$$

$$Ap = 89.37m^2$$

$$Ct = 60$$

$$hn = 6.4$$

$$Tp = 0.4$$

$$T = \frac{hn}{Ct} = \frac{6.4}{60} = 0.107$$

$$C = 2.5$$

C. Análisis de vulnerabilidad sísmica.

a) Comprobación de espesor mínimo.

$$h = 2.15m$$

Obtenemos el espesor del muro de albañilería mínimo con la siguiente formula:

$$t = \frac{h}{20} = \frac{2.15}{20} = 0.1075m$$

Todos los muros con un aparejo en sogá, siendo el espesor de este 15 cm.

$$15cm \geq 10.75cm \text{ OK}$$

b) Densidad mínima de muros.

Determinamos si se cumple la densidad del muro es correcta con la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum L \cdot t}{Ap} \geq \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot N}{56}$$

En la Tabla 10 se definen los parámetros sísmicos correspondientes a la vivienda C1

Tabla 10

Parámetros sísmicos para la zona de estudio y utilizados para la vivienda C1.

Parámetros Sísmicos				
Z	U	S	N	ZUSN/56
0.45	1	1.05	2	0.01688

Nota: Elaboración propia.

Se presentan los cálculos del parámetro densidad de muros en las Tablas 11 y 12 para los sentidos XX y YY respectivamente.

Tabla 11

Cálculo de la densidad de muros en el eje X para la vivienda C1.

Densidad de muros XX			
Muro	L (m)	t (m)	Lxt (m2)
X1	1.9	0.15	0.29
X2	1.8	0.15	0.27
X3	4.6	0.15	0.69
X5	2.4	0.15	0.36
X6	2.5	0.15	0.38
Σ			1.98

Nota: Elaboración propia.

$$\frac{1.98}{89.37} \geq 0.01688$$

$$0.02216 \geq 0.01688 \text{ OK}$$

Tabla 12

Cálculo de la densidad de muros en el eje Y para la vivienda C1.

Densidad de muros YY			
Muro	L (m)	t (m)	Lxt (m2)
Y1	3.1	0.15	0.465
Y2	1.84	0.15	0.276
Y3	4	0.15	0.6
Y5	3.1	0.15	0.465
Y6	3.1	0.15	0.465
Y7	4	0.15	0.6
Y8	2.76	0.15	0.414
Y9	3.1	0.15	0.465
Σ			3.75

Nota: Elaboración propia.

$$\frac{3.75}{89.37} \geq 0.01688$$

$$0.04196 \geq 0.01688 \text{ OK}$$

Se puede concluir que el espesor utilizado satisface la densidad de muros mínima para el área de techada de la vivienda

c) Verificación de esfuerzo axial máximo.

La Tabla 13 muestra la verificación del esfuerzo axial de cada muro portante perteneciente a la vivienda C1

Tabla 13

Cuadro de verificación de fuerza axial que soporta cada muro para la vivienda C1.

Piso	Muro	Caso	P	L m	T m	h m	Esfuerzo Pm/(l*t) ton/m2	1ra condición ton/m2	2da condición ton/m2	
S1	X1	Pm	-9.83	1.9	0.15	2.15	34.49	108.20	97.5	OK
S1	X2	Pm	-12.26	1.8	0.15	2.15	45.41	108.20	97.5	OK
S1	X3	Pm	-22.68	4.6	0.15	2.15	32.88	108.20	97.5	OK
S1	X4	Pm	-4.72	2.6	0.15	2.15	12.09	108.20	97.5	OK
S1	X5	Pm	-6.99	2.4	0.15	2.15	19.41	108.20	97.5	OK
S1	X6	Pm	-7.24	2.5	0.15	2.15	19.30	108.20	97.5	OK
S1	Y1	Pm	-19.59	3.1	0.15	2.15	42.13	108.20	97.5	OK
S1	Y2	Pm	-8.50	3.1	0.15	2.15	18.28	108.20	97.5	OK
S1	Y3	Pm	-13.47	4	0.15	2.15	22.46	108.20	97.5	OK
S1	Y4	Pm	-19.12	4.4	0.15	2.15	28.97	108.20	97.5	OK
S1	Y5	Pm	-20.54	3.1	0.15	2.15	44.17	108.20	97.5	OK
S1	Y6	Pm	-9.69	3.1	0.15	2.15	20.83	108.20	97.5	OK
S1	Y7	Pm	-17.39	4	0.15	2.15	28.98	108.20	97.5	OK
S1	Y8	Pm	-15.49	3.1	0.15	2.15	33.31	108.20	97.5	OK
St1	Y9	Pm	-14.22	3.1	0.15	2.15	30.59	108.20	97.5	OK

Nota: Elaboración propia.

d) Diseño sísmico (derivadas).

Las derivas máximas se muestran en la Tabla 14.

Tabla 14

Cuadro de verificación de deriva en el eje X y Y para la vivienda C1.

Deriva máxima XX						
Piso	Caso	Tipo	Paso	Item	Max Drift	Criterio
Story2	deriv_x	Combination	Max	Diaph D1 X	0.00156	OK
Story1	deriv_x	Combination	Max	Diaph D1 X	0.00157	OK
Deriva máxima YY						
Piso	Caso	Tipo	Paso	Item	Max Drift	Criterio
Story2	deriv_y	Combination	Max	Diaph D1 Y	0.000296	OK
Story1	deriv_y	Combination	Max	Diaph D1 Y	0.000311	OK

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis estructural basado en la norma E.030 los desplazamientos máximos en cada sentido de análisis y en cada piso son menores a los máximos permitidos para el sistema estructural de albañilería.

e) Verificación de agrietamiento y resistencia al corte.

La verificación del primer y segundo nivel es muestra en las Tablas 15 y 16 respectivamente.

Tabla 15

Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C1.

S	Muro	L(m)	t (m)	Pg	Ve	Me	alfa	Vm (ton/m ²)	0.55 Vm	Criterio
1	X1	1.9	0.15	7.31	4.00	6.40	1.00	13.22	7.27	No fisura
1	X2	1.8	0.15	6.41	3.69	1.37	1.00	12.41	6.82	No fisura
1	X3	4.6	0.15	10.04	11.02	27.74	1.00	30.25	16.64	No fisura
1	X4	2.6	0.15	0.33	2.36	8.73	0.70	11.16	6.14	No fisura
1	X5	2.4	0.15	1.21	2.22	5.73	0.93	13.81	7.60	No fisura
1	X6	2.5	0.15	1.83	2.57	6.16	1.00	15.61	8.58	No fisura
1	Y1	3.1	0.15	5.17	2.66	3.92	1.00	20.02	11.01	No fisura
1	Y2	3.1	0.15	0.32	2.85	1.27	1.00	18.91	10.40	No fisura
1	Y3	4	0.15	2.32	4.52	4.44	1.00	24.83	13.66	No fisura
1	Y4	4.4	0.15	1.58	3.04	7.47	1.00	27.09	14.90	No fisura
1	Y5	3.1	0.15	4.72	2.35	3.29	1.00	19.92	10.96	No fisura

1	Y6	3.1	0.15	3.43	2.47	3.18	1.00	19.62	10.79	No fisura
1	Y7	4	0.15	1.00	2.77	6.00	1.00	24.53	13.49	No fisura
1	Y8	3.1	0.15	0.19	3.52	2.21	1.00	18.88	10.38	No fisura
1	Y9	3.1	0.15	0.42	2.78	1.98	1.00	18.93	10.41	No fisura

Nota: Elaboración propia.

Tabla 16

Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C1.

S	Muro	L(m)	t (m)	Pg	Ve	Me	alfa	Vm (ton/m2)	0.55 Vm	Criterio
2	X1	1.9	0.15	0.81	1.93	1.63	1.00	11.73	6.45	No fisura
2	X2	1.8	0.15	0.69	1.81	2.07	1.00	11.09	6.10	No fisura
2	X3	4.6	0.15	2.78	7.09	8.43	1.00	28.59	15.72	No fisura
2	X5	2.4	0.15	0.52	1.15	1.30	1.00	14.70	8.08	No fisura
2	X6	2.5	0.15	0.28	1.48	1.49	1.00	15.25	8.39	No fisura
2	Y1	3.1	0.15	1.56	1.24	0.67	1.00	19.19	10.56	No fisura
2	Y2	1.84	0.15	1.76	1.35	1.15	1.00	11.58	6.37	No fisura
2	Y3	4	0.15	0.35	2.61	2.49	1.00	24.38	13.41	No fisura
2	Y5	3.1	0.15	1.36	1.07	0.60	1.00	19.15	10.53	No fisura
2	Y6	3.2	0.15	0.90	1.80	1.22	1.00	19.65	10.81	No fisura
2	Y7	4	0.15	0.35	1.87	1.74	1.00	24.38	13.41	No fisura
2	Y8	2.76	0.15	0.07	2.27	1.07	1.00	16.78	9.23	No fisura
2	Y9	3.1	0.15	0.22	2.12	1.06	1.00	18.88	10.39	No fisura

Nota: Elaboración propia.

Se concluye que ningún muro se agrieta por el sismo moderado.
Resistencia al corte en el eje X.

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Primer nivel

Segundo nivel

$$96.47 \geq 53.01 \text{ OK}$$

$$81.36 \geq 27.58 \text{ OK}$$

Resistencia al corte en el eje Y.

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Primer nivel

Segundo nivel

$$192.3 \geq 55.89 \text{ OK}$$

$$153.99 \geq 28.39 \text{ OK}$$

La vivienda cuenta con una buena resistencia al corte en ambos niveles y en ambos sentidos.

De acuerdo con los porcentajes dados en la sección 6.3, la vulnerabilidad sísmica de acuerdo con el método de Demanda-Resistencia para la vivienda C1 se aprecia en la Tabla 17.

Tabla 17

Resultado de vulnerabilidad por el método Demanda – Resistencia para la vivienda C1.

Parámetro	Porcentaje
Espesor mínimo de muros	5%
Esfuerzo axial máximo	5%
Densidad de muros	20%
Derivas	30%
Agrietamiento y Resistencia al corte	40%
Σ	100%
Vulnerabilidad	BAJA

Nota: Elaboración propia.

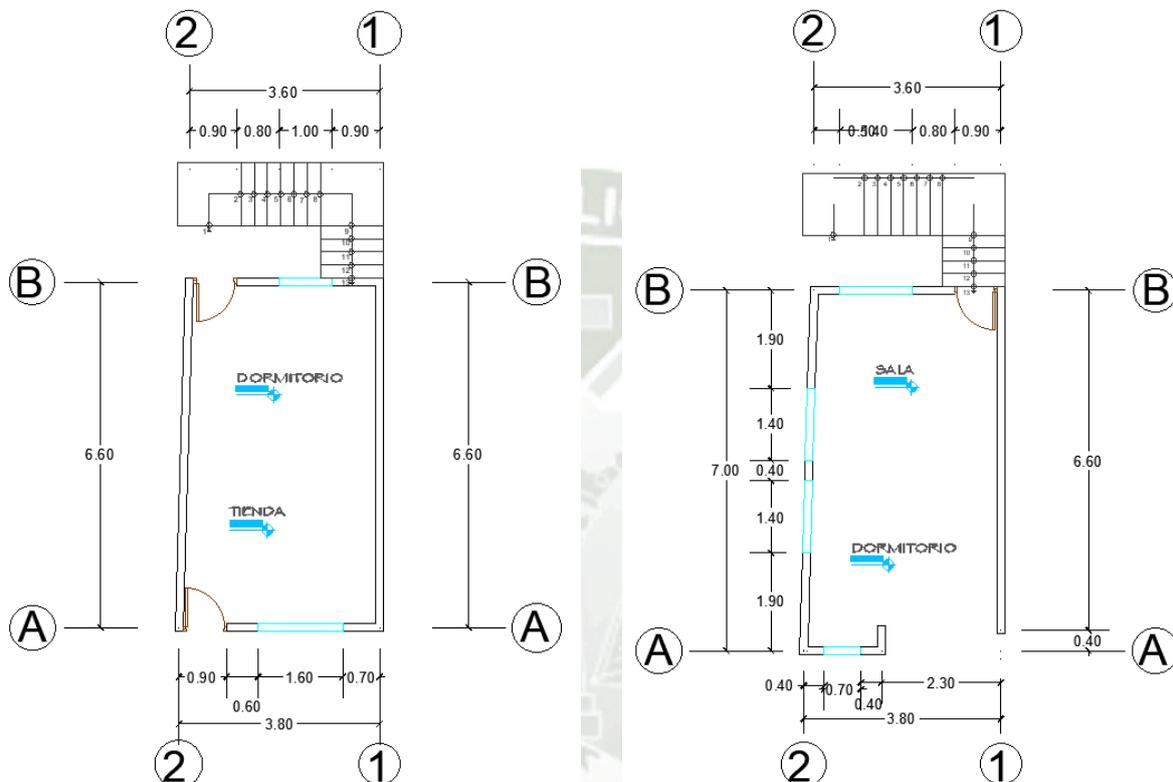
5.3.2 Vivienda C2

A. Arquitectura

La Figura 43 presenta el plano de arquitectura obtenido de las mediciones en campo.

Figura 43

Planta de arquitectura primer y segundo nivel de la vivienda C2.



Nota: Elaboración propia.

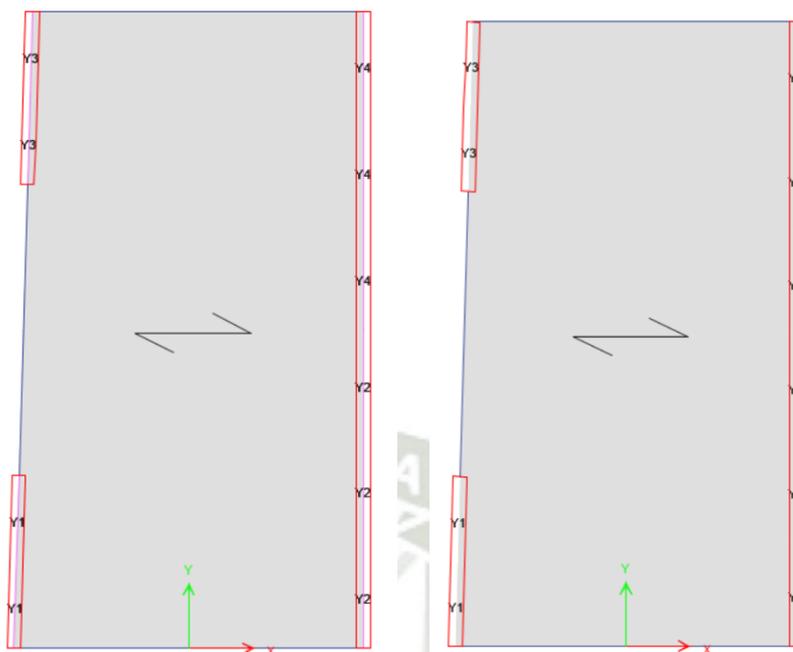
B. Modelamiento mediante el uso del software Etabs.

A continuación, se presenta el análisis de vulnerabilidad sísmica por el método de Demanda-Resistencia de la vivienda C2.

Los muros portantes se determinan por su continuidad desde la base, es por ello que para la densidad de muros se tomó aquellos muros que tienen continuidad desde la cimentación hasta el segundo nivel, pero considerando que son un apoyo importante en la estructura y por la observación visual realizada en la etapa de toma de datos, para el análisis sísmico se tomó en consideración muros portantes que llegan desde la cimentación hasta el primer nivel tomando en cuenta en el segundo nivel un peso repartido por tabiquería en el diafragma rígido. En la Figura 44 se muestran los muros portantes tomados en cuenta.

Figura 44

Configuración de muros portantes del primer y segundo nivel de la vivienda C2.

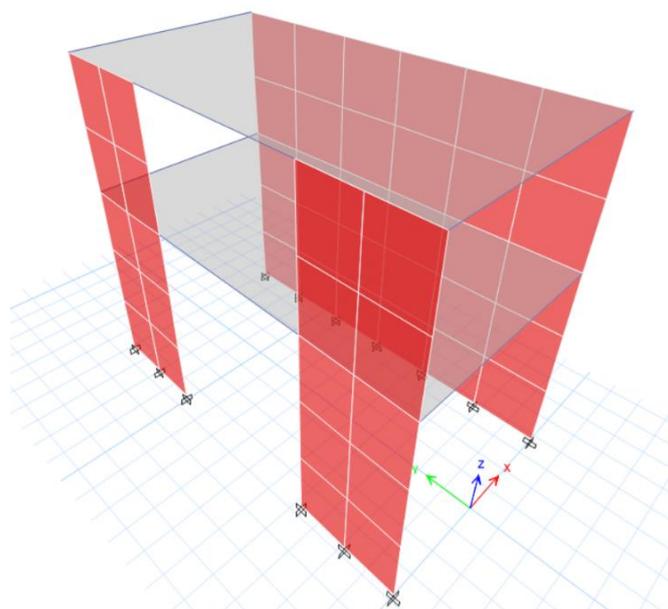


Nota: Elaboración propia.

Se procede a dibujar en el programa Etabs los muros portantes considerados en la arquitectura, definimos materiales de la albañilería y concreto armado, como se aprecia en la tabla 8; y se obtiene el modelado de la estructura en la Figura 45.

Figura 45

Modelado de la estructura de la vivienda C2.



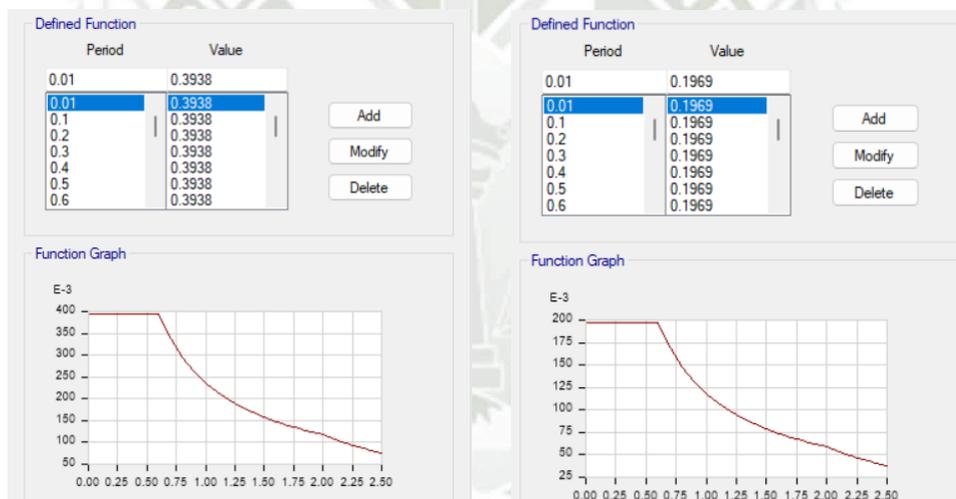
Nota: Elaboración propia.

Se realiza el metrado de cargas en cada elemento asignando los pesos correspondientes y se introduce los espectros de respuesta de la norma como se muestra en la Figura 46 tanto como el del sismo severo y el sismo moderado para los respectivos análisis.

Peso propio elementos de concreto armado	2400 kg/m ³
Peso propio elementos de albañilería	1800 kg/m ³
Peso propio de losa aligerada (h=0.20m)	300 kg/m ²
Peso propio de piso terminado	100 kg/m ²
Peso tabiquería repartida	150 kg/m ²

Figura 46

Espectro de respuesta según E.030 para la vivienda C2

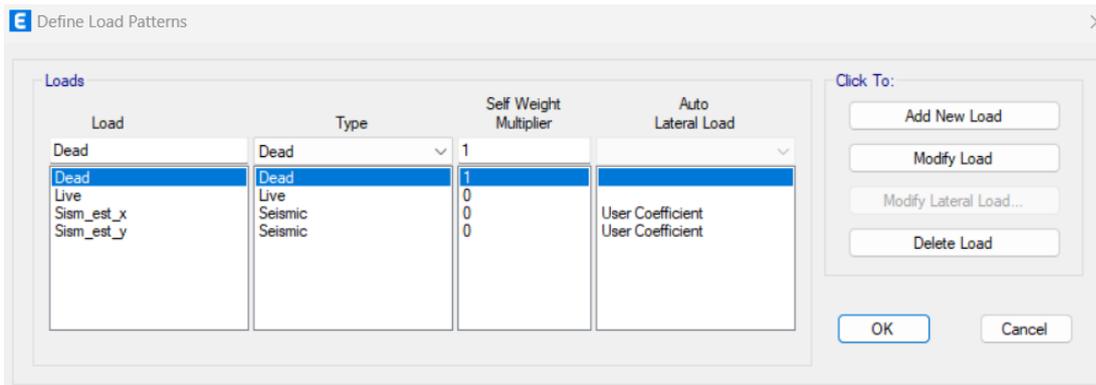


Nota: Elaboración propia.

Se define el sismo estático, sismo dinámico moderado y sismo dinámico severo, así como las combinaciones modales y de derivas las cuales se muestran en las Figuras 47; 48 y 49.

Figura 47

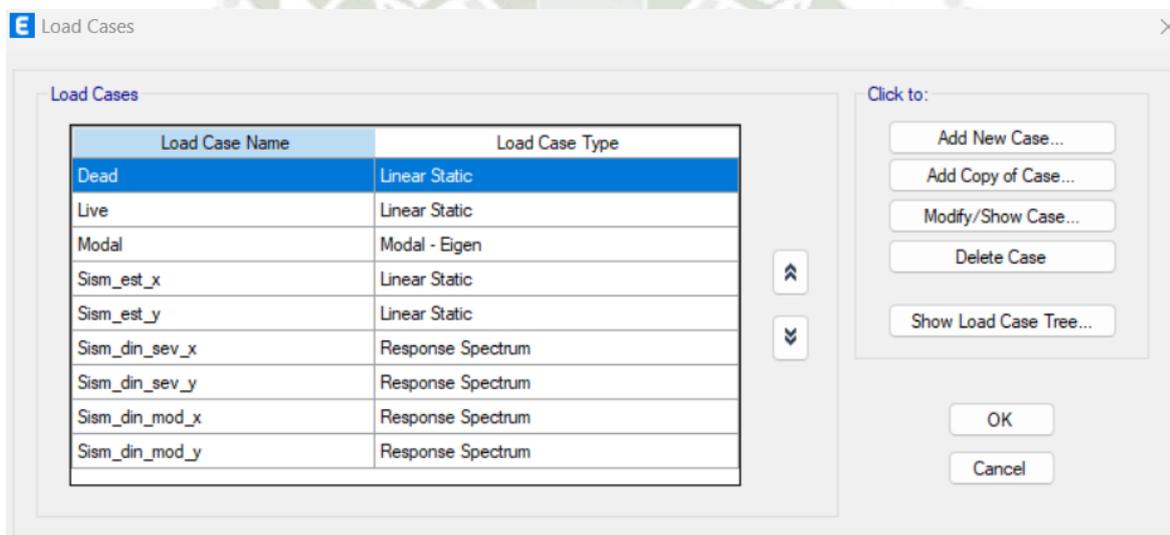
Patrones de carga utilizados para la vivienda C2.



Nota: Elaboración propia.

Figura 48

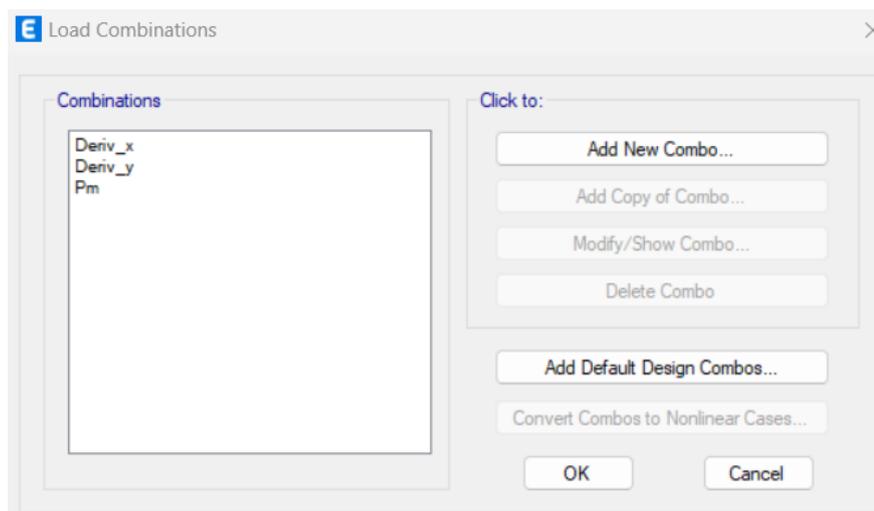
Casos de carga utilizados para la vivienda C2.



Nota: Elaboración propia.

Figura 49

Combinaciones de carga utilizados para la vivienda C2.



Nota: Elaboración propia.

Por último, se corre el análisis y se interpretan los resultados.

Se consideraron los siguientes datos:

$$t = 0.15m$$

$$U = 1$$

$$S = 1.05$$

$$N = 2$$

$$Z = 0.45$$

$$A_p = 25.90m^2$$

$$C_t = 60$$

$$h_n = 6.4$$

$$T_p = 0.4$$

$$T = \frac{h_n}{C_t} = \frac{6.4}{60} = 0.107$$

$$C = 2.5$$

C. Análisis de vulnerabilidad sísmica.

a) Comprobación de espesor mínimo.

$$h = 2.15m$$

Obtenemos el espesor del muro de albañilería mínimo con la siguiente formula:

$$t = \frac{h}{20} = \frac{2.15}{20} = 0.1075m$$

Todos los muros con un aparejo en soga, siendo el espesor de este 15 cm.

$$15cm \geq 10.75cm \text{ OK}$$

b) Densidad mínima de muros.

Determinamos si se cumple la densidad del muro es correcta con la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum L \cdot t}{Ap} \geq \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot N}{56}$$

En la Tabla 18 se definen los parámetros sísmicos correspondientes a la vivienda C2

Tabla 18

Parámetros sísmicos para la zona de estudio y utilizados para la vivienda C2.

Parámetros Sísmicos				
Z	U	S	N	ZUSN/56
0.45	1	1.05	2	0.01688

Nota: Elaboración propia.

Se presentan los cálculos del parámetro densidad de muros en las Tablas 19 y 20 para los sentidos XX y YY respectivamente.

Tabla 19

Cálculo de la densidad de muros en el eje X para la vivienda C2.

Densidad de muros XX			
Muro	L (m)	t (m)	Lxt (m2)
		Σ	0

Nota: Elaboración propia.

$$\frac{0}{25.90} \geq 0.01688$$

$$0 \geq 0.01688 \text{ FALLA}$$

Tabla 20

Cálculo de la densidad de muros en el eje Y para la vivienda C2.

Densidad de muros YY			
Muro	L (m)	t (m)	Lxt (m2)
Y1	1.9	0.15	0.285
Y2	3.3	0.15	0.495
Y3	1.9	0.15	0.285
Y4	3.3	0.15	0.495
Σ			1.59

Nota: Elaboración propia.

$$\frac{1.59}{25.90} \geq 0.01688$$

$$0.06023 \geq 0.01688 \text{ OK}$$

Se puede concluir que el espesor utilizado satisface la densidad de muros mínima en el sentido YY para el área de techada de la vivienda, mientras que en la dirección XX no cumple con los requerimientos mínimos.

c) Verificación de esfuerzo axial máximo.

La Tabla 21 muestra la verificación del esfuerzo axial de cada muro portante perteneciente a la vivienda C2

Tabla 21

Cuadro de verificación de fuerza axial que soporta cada muro para la vivienda C2.

Piso	Muro	Caso	P	L	T	h	Esfuerzo Pm/(l*t) ton/m2	1ra condición	2da condición	
				m	m	m		ton/m2	ton/m2	
S1	Y1	Pm	-12.31	1.9	0.15	2.15	43.21	108.20	97.5	OK
S1	Y2	Pm	-14.46	3.3	0.15	2.15	29.20	108.20	97.5	OK
S1	Y3	Pm	-12.08	1.9	0.15	2.15	42.39	108.20	97.5	OK
S1	Y4	Pm	-14.20	3.3	0.15	2.15	28.69	108.20	97.5	OK

Nota: Elaboración propia.

d) Diseño sísmico (derivadas).

Las derivadas máximas se muestran en la Tabla 22.

Tabla 22

Cuadro de verificación de deriva en el eje X y Y para la vivienda C2.

Deriva máxima XX						
Piso	Caso	Tipo	Paso	Item	Max Drift	Criterio
Story2	deriv_x	Combination	Max	Diaph D1 X	0.0274	FALLA
Story1	deriv_x	Combination	Max	Diaph D1 X	0.0339	FALLA
Deriva máxima YY						
Piso	Caso	Tipo	Paso	Item	Max Drift	Criterio
Story2	deriv_y	Combination	Max	Diaph D1 Y	0.00115	OK
Story1	deriv_y	Combination	Max	Diaph D1 Y	0.00086	OK

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis estructural basado en la norma E.030 los desplazamientos máximos en el sentido XX en cada piso son mayores a los permitidos, mientras que en el sentido YY cumplen con lo requerido en la norma.

e) Verificación de agrietamiento y resistencia al corte.

La verificación de agrietamientos en el primer y segundo nivel es presentada en las Tablas 23 y 24 respectivamente.

Tabla 23

Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C2.

S	Muro	L(m)	t (m)	Pg	Ve	Me	alfa	Vm (ton/m ²)	0.55 Vm	Criterio
1	Y1	1.9	0.15	0.69	1.26	4.00	0.60	7.05	3.88	No fisura
1	Y2	3.3	0.15	5.35	3.28	5.99	1.00	21.28	11.70	No fisura
1	Y3	1.9	0.15	0.69	1.26	4.00	0.60	7.05	3.88	No fisura
1	Y4	3.3	0.15	5.35	3.28	5.99	1.00	21.28	11.70	No fisura

Nota: Elaboración propia.

Tabla 24

Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C2.

S	Muro	L(m)	t (m)	Pg	Ve	Me	alfa	Vm (ton/m2)	0.55 Vm	Criterio
2	Y1	1.9	0.15	0.29	0.72	0.96	1.00	11.61	6.39	No fisura
2	Y2	3.3	0.15	1.27	1.57	1.53	1.00	20.34	11.19	No fisura
2	Y3	1.9	0.15	0.29	0.73	0.97	1.00	11.61	6.39	No fisura
2	Y4	3.3	0.15	1.27	1.57	1.53	1.00	20.34	11.19	No fisura

Nota: Elaboración propia.

Se concluye que ningún muro se agrieta por el sismo moderado.

Resistencia al corte en el eje X.

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Primer nivel

Segundo nivel

$$0 \geq 8.39 \text{ FALLA}$$

$$0 \geq 4.30 \text{ FALLA}$$

Resistencia al corte en el eje Y.

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Primer nivel

Segundo nivel

$$56.65 \geq 13.64 \text{ OK}$$

$$63.90 \geq 7.29 \text{ OK}$$

Se concluye que la vivienda en el sentido XX no cuenta con una suficiente resistencia al corte ya que no posee elementos resistentes en esa dirección y en el sentido YY si posee con una buena resistencia al corte, parte de la discusión se realizará en capítulos más abajo.

De acuerdo con los porcentajes dados en la sección 6.3, la vulnerabilidad sísmica de acuerdo al método de Demanda-Resistencia para la vivienda C2 se aprecia en la Tabla 25:

Tabla 25

Resultado de vulnerabilidad por el método Demanda – Resistencia para la vivienda C2.

Parámetro	Porcentaje
Espesor mínimo de muros	5%
Esfuerzo axial máximo	5%
Densidad de muros	0%
Derivas	0%
Agrietamiento y Resistencia al corte	0%
Σ	10%
Vulnerabilidad	ALTA

Nota: Elaboración propia.



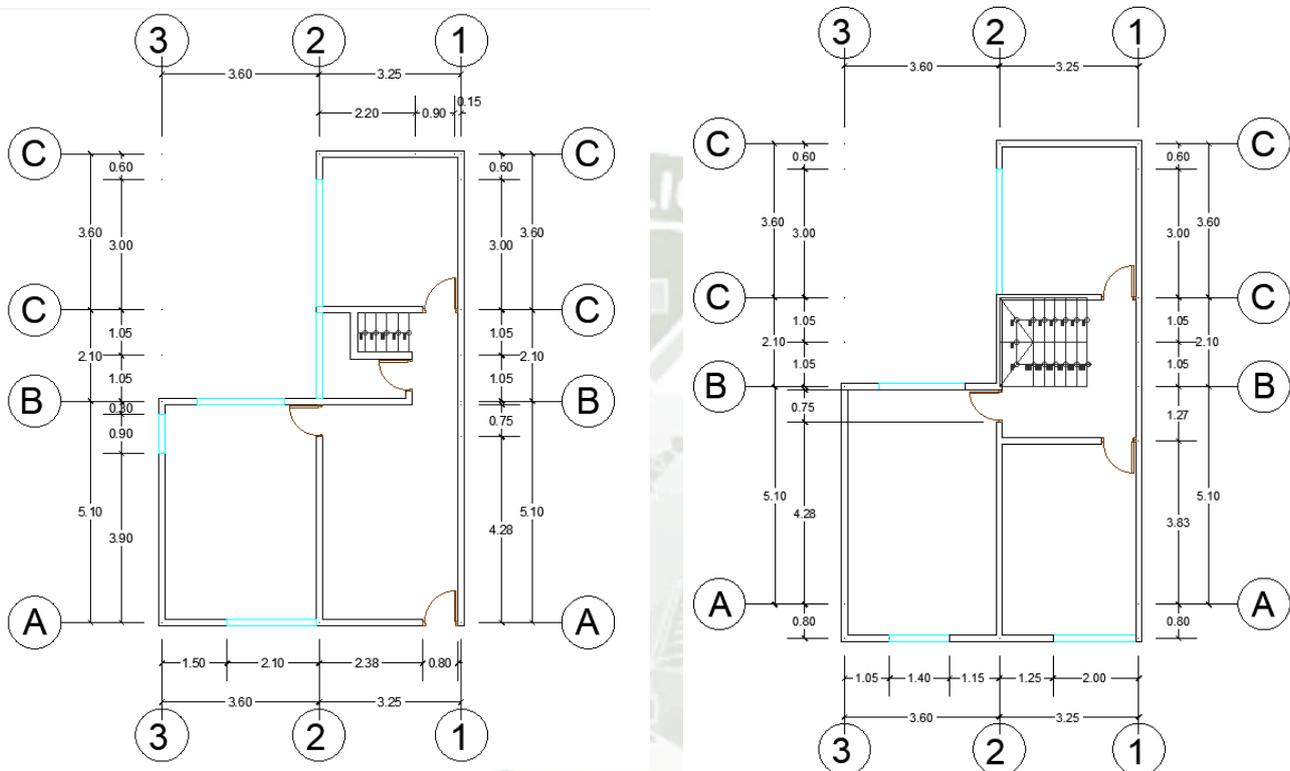
5.3.3 Vivienda C7

La Figura 50 presenta el plano de arquitectura obtenido de las mediciones en campo.

A. Arquitectura

Figura 50

Planta de arquitectura primer y segundo nivel de la vivienda C7.



Nota: Elaboración propia.

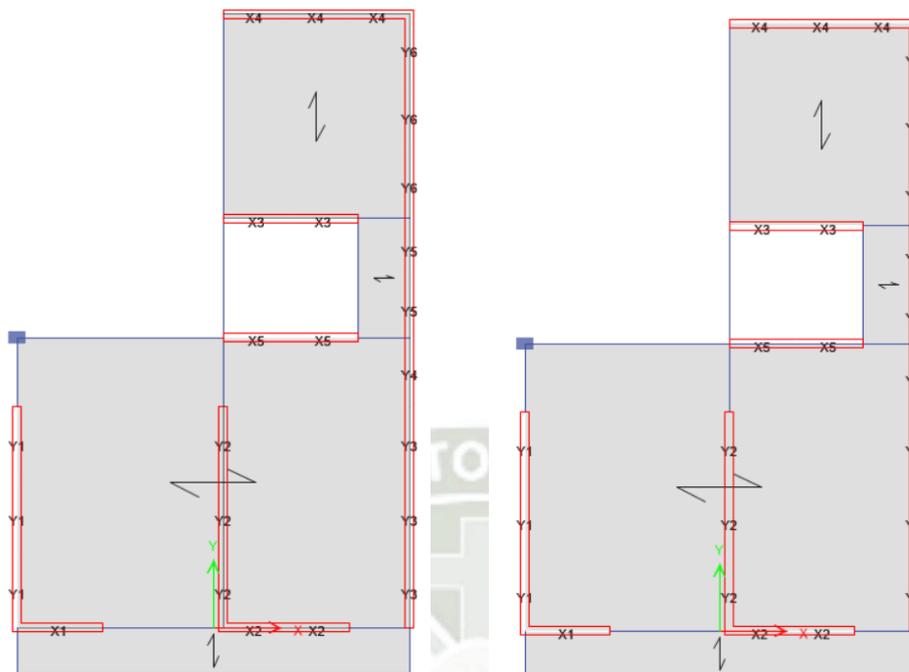
B. Modelamiento mediante el software Etabs

A continuación, se presenta el análisis de vulnerabilidad sísmica por el método de Demanda-Resistencia de la vivienda C7.

Los muros portantes se determinan por su continuidad desde la base, es por ello que para la densidad de muros se tomó aquellos muros que tienen continuidad desde la cimentación hasta el segundo nivel, pero considerando que son un apoyo importante en la estructura y por la observación visual realizada en la etapa de toma de datos, para el análisis sísmico se tomó en consideración muros portantes que llegan desde la cimentación hasta el primer nivel tomando en cuenta en el segundo nivel un peso repartido por tabiquería en el diafragma rígido. En la Figura 51 se muestra los muros portantes tomados en cuenta.

Figura 51

Configuración de muros portantes del primer y segundo nivel de la vivienda C7.



Nota: Elaboración propia.

Se procede a dibujar en el programa Etabs los muros portantes considerados en la arquitectura, definimos materiales de la albañilería y concreto armado, como se aprecia en la Tabla 26; y se obtiene el modelado de la estructura como se observa en la Figura 52.

Tabla 26

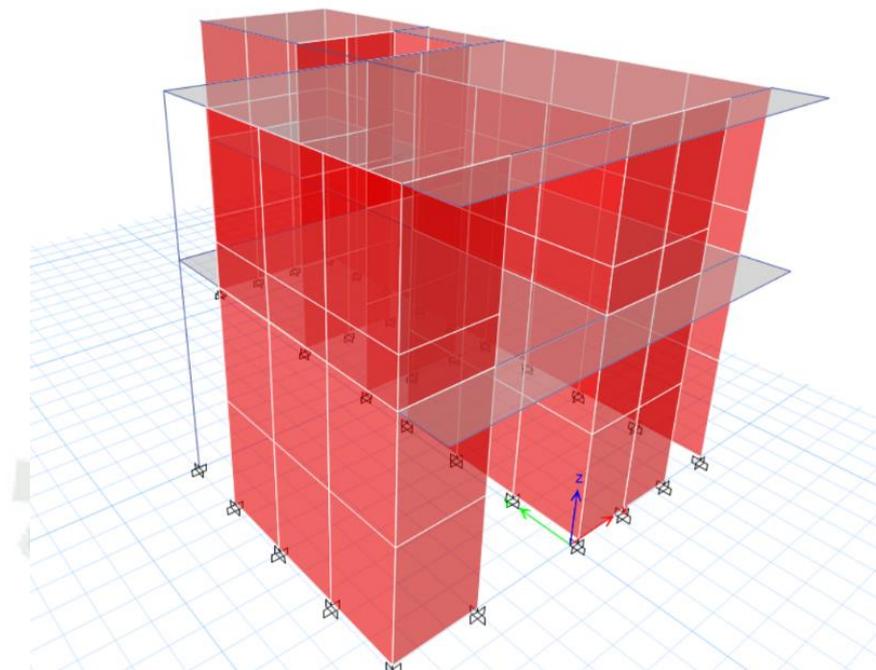
Tabla de características de materiales utilizados en el programa ETABS para la vivienda C7.

Albañilería Sólida artesanal	
Resistencia a la compresión (f'_m)	31 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (E_m)	17500 kg/cm ²
Resistencia al corte (V'_m)	5.1 kg/cm ²
Módulo de corte ($G_c = E_c / 2(\mu_c + 1)$)	7000 kg/cm ²
Módulo de poisson	0.25
Albañilería Pandereta	
Resistencia a la compresión (f'_m)	22.1 kg/cm ²
Módulo de elasticidad (E_m)	11050 kg/cm ²
Resistencia al corte (V'_m)	6.7 kg/cm ²
Módulo de corte ($G_c = E_c / 2(\mu_c + 1)$)	4420 kg/cm ²
Módulo de poisson	0.25

Nota: Elaboración propia.

Figura 52

Modelado de la estructura de la vivienda C7.



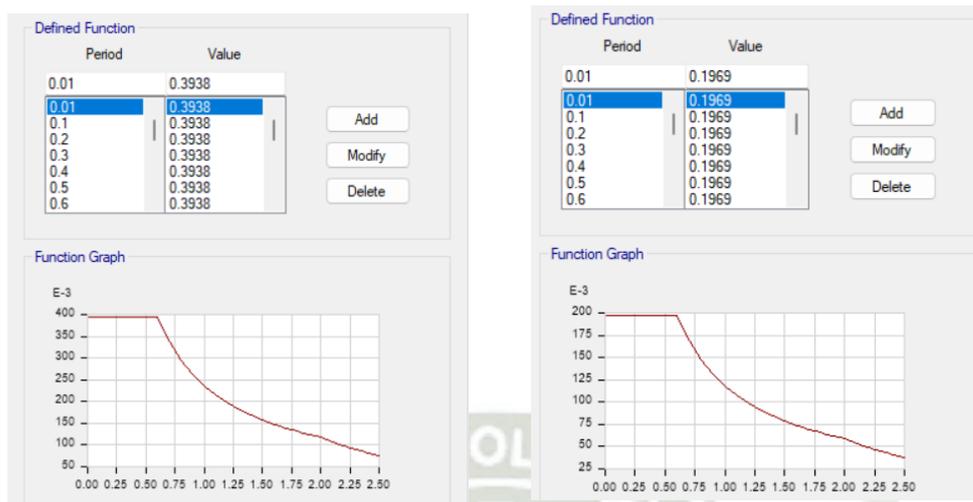
Nota: Elaboración propia.

Se realiza el metrado de cargas en cada elemento asignando los pesos correspondientes y se introduce los espectros de respuesta de la norma como se muestra en la Figura 53 tanto como el del sismo severo y el sismo moderado para los respectivos análisis.

Peso propio elementos de concreto armado	2400 kg/m ³
Peso propio elementos de albañilería	1800 kg/m ³
Peso propio elementos de albañilería	1345 kg/m ³
Peso propio de losa aligerada (h=0.20m)	300 kg/m ²
Peso propio de piso terminado	100 kg/m ²
Peso tabiquería repartida	150 kg/m ²

Figura 53

Espectro de respuesta según E.030 para la vivienda C7

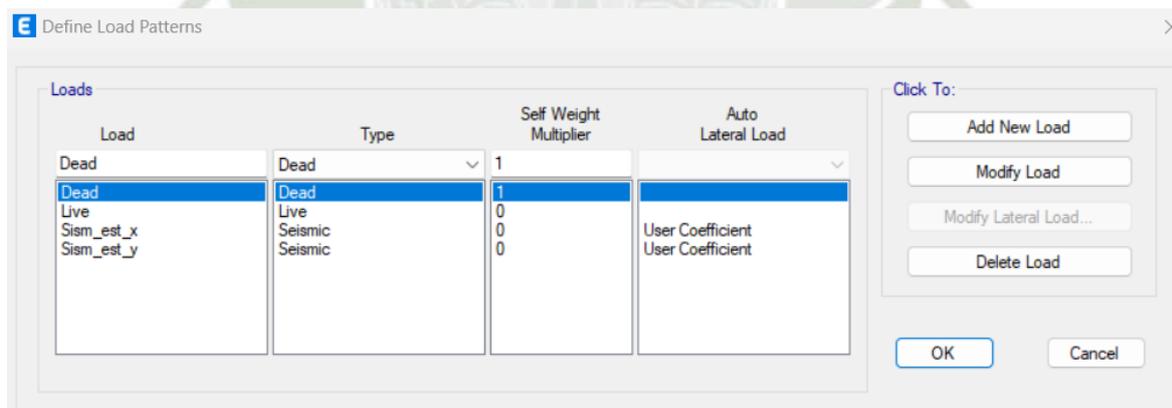


Nota: Elaboración propia.

Se define el sismo estático, sismo dinámico moderado y sismo dinámico severo, así como las combinaciones modales y de derivas las cuales se muestran en las Figuras 54; 55 y 56.

Figura 54

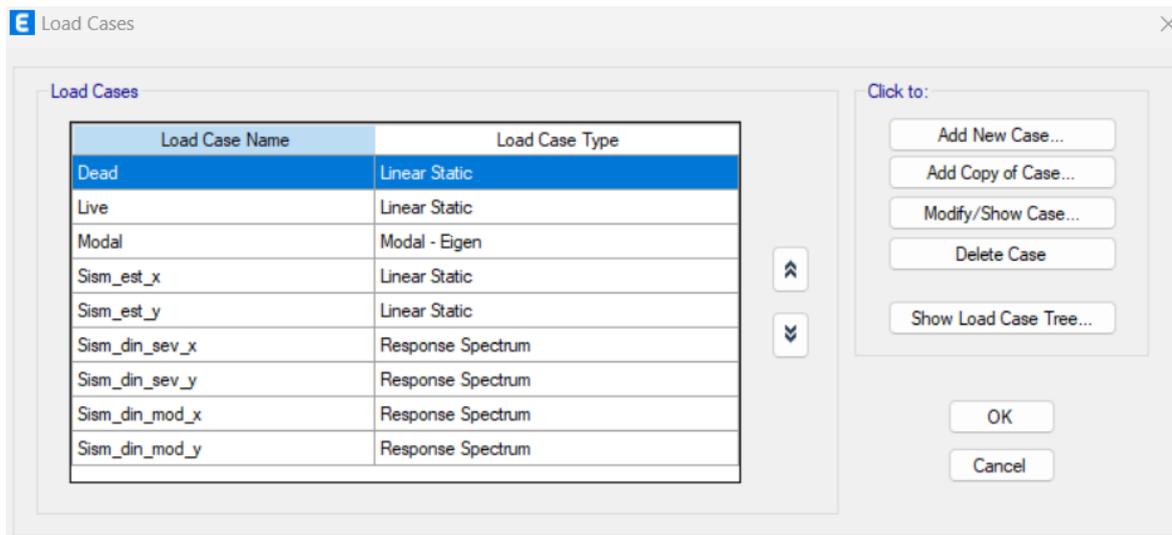
Patrones de carga utilizados para la vivienda C7.



Nota: Elaboración propia.

Figura 55

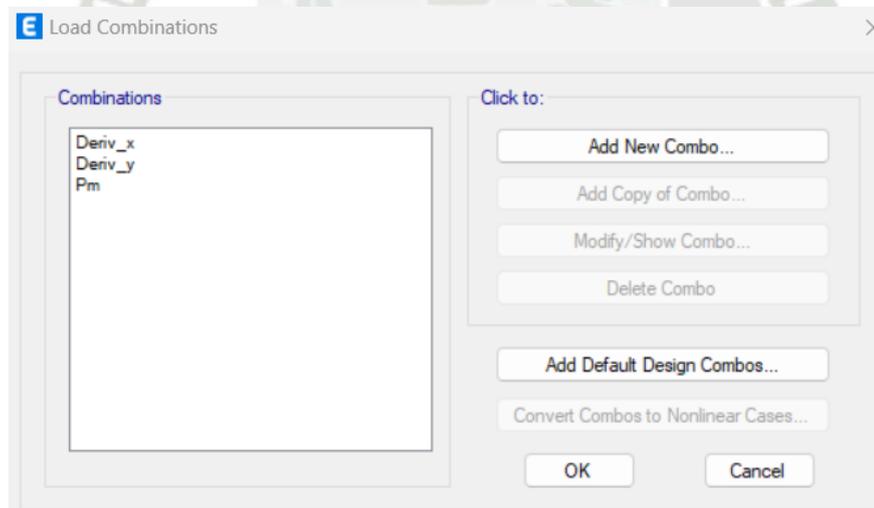
Casos de carga utilizados para la vivienda C7.



Nota: Elaboración propia.

Figura 56

Combinaciones de carga utilizados para la vivienda C7.



Nota: Elaboración propia.

Por último, se corre el análisis y se interpretan los resultados.

Se consideraron los siguientes datos:

$$t = 0.15m$$

$$U = 1$$

$$S = 1.05$$

$$N = 2$$

$$Z = 0.45$$

$$Ap = 53.46 \text{ m}^2$$

$$Ct = 60$$

$$hn = 6.4$$

$$Tp = 0.4$$

$$T = \frac{hn}{Ct} = \frac{6.4}{60} = 0.107$$

$$C = 2.5$$

C. Análisis de vulnerabilidad sísmica

a) Comprobación de espesor mínimo.

$$h = 2.15m$$

Obtenemos el espesor del muro de albañilería mínimo con la siguiente formula:

$$t = \frac{h}{20} = \frac{2.15}{20} = 0.1075m$$

Todos los muros con un aparejo en soga, siendo el espesor de este 15 cm.

$$15cm \geq 10.75cm \text{ OK}$$

b) Densidad mínima de muros.

Determinamos si se cumple la densidad del muro es correcta con la siguiente ecuación:

$$\frac{\sum L \cdot t}{Ap} \geq \frac{Z \cdot U \cdot S \cdot N}{56}$$

En la Tabla 27 se definen los parámetros sísmicos correspondientes a la vivienda C2.

Tabla 27

Parámetros sísmicos para la zona de estudio y utilizados para la vivienda C7.

Parámetros Sísmicos				
Z	U	S	N	ZUSN/56
0.45	1	1.05	2	0.01688

Nota: Elaboración propia.

Se presentan los cálculos del parámetro densidad de muros en las Tablas 28 y 29 para los sentidos XX y YY respectivamente.

Tabla 28

Cálculo de la densidad de muros en el eje X para la vivienda C7.

Densidad de muros XX			
Muro	L (m)	t (m)	Lxt (m2)
X1	1.5	0.15	0.23
X2	2.2	0.15	0.33
X3	2.35	0.15	0.35
X4	3.25	0.15	0.49
X5	2.35	0.15	0.35
Σ			1.75

Nota: Elaboración propia.

$$\frac{1.75}{53.46} \geq 0.01688$$

$$0.03269 \geq 0.01688 \text{ OK}$$

Tabla 29

Cálculo de la densidad de muros en el eje Y para la vivienda C7.

Densidad de muros YY			
Muro	L (m)	t (m)	Lxt (m2)
Y1	3.9	0.15	0.585
Y2	3.9	0.15	0.585
Y3	3.9	0.15	0.585
Y4	1.2	0.15	0.18
Y5	2.1	0.15	0.315
Y6	3.6	0.15	0.54
Σ			2.79

Nota: Elaboración propia.

$$\frac{2.79}{53.46} \geq 0.01688$$

$$0.05219 \geq 0.01688 \text{ OK}$$

Se puede concluir que el espesor utilizado satisface la densidad de muros mínima en el sentido XX y YY para el área techada de la vivienda.

c) Verificación de esfuerzo axial máximo.

La Tabla 30 muestra la verificación del esfuerzo axial de cada muro portante perteneciente a la vivienda C7.

Tabla 30

Cuadro de verificación de fuerza axial que soporta cada muro para la vivienda C7.

Piso	Muro	Caso	P	L	T	h	Esfuerzo	1ra condición	2da condición	
				m	m	m	Pm/(l*t) ton/m2	ton/m2	ton/m2	
S1	X1	Pm	-5.82	1.5	0.15	2.15	25.88	58.26	52.5	OK
S1	X2	Pm	-9.88	2.2	0.15	2.15	29.94	58.26	52.5	OK
S1	X3	Pm	-10.57	2.35	0.15	2.15	29.99	58.26	52.5	OK
S1	X4	Pm	-10.95	3.25	0.15	2.15	22.47	58.26	52.5	OK
S1	X5	Pm	-8.26	2.35	0.15	2.15	23.44	58.26	52.5	OK
S1	Y1	Pm	-15.98	3.9	0.15	2.15	27.31	58.26	52.5	OK
S1	Y2	Pm	-22.53	3.9	0.15	2.15	38.50	58.26	52.5	OK
S1	Y3	Pm	-13.75	3.9	0.15	2.15	23.50	58.26	52.5	OK
S1	Y4	Pm	-3.71	1.2	0.15	2.15	20.60	58.26	52.5	OK
S1	Y5	Pm	-5.80	2.1	0.15	2.15	18.42	58.26	52.5	OK
S1	Y6	Pm	-8.72	3.6	0.15	2.15	16.16	58.26	52.5	OK

Nota: Elaboración propia.

d) Diseño sísmico (derivadas).

Las derivadas máximas se muestran en la Tabla 31.

Tabla 31

Cuadro de verificación de deriva en el eje X y Y para la vivienda C7.

Deriva máxima XX						
Piso	Caso	Tipo	Paso	Item	Max Drift	Criterio
S2	deriv_x	Combination	Max	Diaph D1 X	0.00298	OK
S1	deriv_x	Combination	Max	Diaph D1 X	0.00221	OK
Deriva máxima YY						
Piso	Caso	Tipo	Paso	Item	Max Drift	Criterio
S2	deriv_y	Combination	Max	Diaph D1 Y	0.000831	OK
S1	deriv_y	Combination	Max	Diaph D1 Y	0.000646	OK

Nota: Elaboración propia.

De acuerdo con el análisis estructural basado en la norma E.030 los desplazamientos máximos en cada sentido de análisis y en cada piso son menores a los máximos permitidos para el sistema estructural de albañilería.

e) Verificación de agrietamiento y resistencia al corte.

La verificación de agrietamientos en el primer y segundo nivel es presentada en las Tablas 32 y 33 respectivamente.

Tabla 32

Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del primer nivel para la vivienda C7.

S	Muro	L(m)	t (m)	Pg	Ve	Me	alfa	Vm (ton/m ²)	0.55 Vm	Criterio	Nota:
1	X1	1.5	0.15	3.51	1.79	3.59	0.75	5.09	2.80	No fisura	
1	X2	2.2	0.15	4.59	3.87	8.93	0.95	9.08	4.99	No fisura	
1	X3	2.35	0.15	1.88	2.34	8.35	0.66	6.37	3.50	No fisura	
1	X4	3.25	0.15	5.27	4.83	15.71	1.00	13.63	7.49	No fisura	
1	X5	2.35	0.15	0.86	2.76	9.03	0.72	6.64	3.65	No fisura	
1	Y1	3.9	0.15	2.27	3.17	8.48	1.00	15.44	8.49	No fisura	
1	Y2	3.9	0.15	2.14	2.26	5.96	1.00	15.41	8.48	No fisura	
1	Y3	3.9	0.15	4.01	3.07	5.57	1.00	15.84	8.71	No fisura	
1	Y4	1.2	0.15	0.28	1.17	1.14	1.00	4.65	2.56	No fisura	
1	Y5	2.1	0.15	0.36	2.12	2.10	1.00	8.12	4.46	No fisura	
1	Y6	3.6	0.15	2.50	3.52	4.18	1.00	14.35	7.89	No fisura	

Elaboración propia.

Tabla 33

Cuadro de verificación de agrietamiento de muros del segundo nivel para la vivienda C7.

S	Muro	L(m)	t (m)	Pg	Ve	Me	alfa	Vm (ton/m ²)	0.55 Vm	Criterio
2	X1	1.5	0.15	0.49	0.76	0.59	1.00	7.65	4.21	No fisura
2	X2	2.2	0.15	0.85	2.13	1.99	1.00	11.25	6.19	No fisura
2	X3	2.35	0.15	0.76	1.00	1.42	1.00	11.98	6.59	No fisura
2	X4	3.25	0.15	1.70	2.35	3.40	1.00	16.72	9.20	No fisura
2	X5	2.35	0.15	0.30	1.64	1.96	1.00	11.88	6.53	No fisura
2	Y1	3.9	0.15	0.44	1.67	1.98	1.00	19.70	10.83	No fisura
2	Y2	3.9	0.15	0.48	1.07	1.21	1.00	19.71	10.84	No fisura
2	Y3	3.9	0.15	1.11	1.33	0.83	1.00	19.85	10.92	No fisura
2	Y4	1.2	0.15	0.13	0.67	0.25	1.00	6.06	3.33	No fisura
2	Y5	2.1	0.15	0.16	1.25	0.48	1.00	10.59	5.82	No fisura
2	Y6	3.6	0.15	0.77	1.90	0.88	1.00	18.27	10.05	No fisura

Nota: Elaboración propia.

Se concluye que ningún muro se agrieta por el sismo moderado.

Resistencia al corte en el eje X.

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Primer nivel

Segundo nivel

$$40.80 \geq 32.03 \text{ OK}$$

$$45.50 \geq 17.15 \text{ OK}$$

Resistencia al corte en el eje Y.

$$\sum V_{mi} \geq V_{Ei}$$

Primer nivel

Segundo nivel

$$73.80 \geq 26.11 \text{ OK}$$

$$71.86 \geq 13.09 \text{ OK}$$

Se concluye que la vivienda en el sentido XX Y YY cuenta con una suficiente resistencia al corte.

De acuerdo con los porcentajes dados en la sección 6.3 la vulnerabilidad sísmica de acuerdo con el método de Demanda-Resistencia para la vivienda C7 se aprecia en la Tabla 33:

Tabla 34

Resultado de vulnerabilidad por el método Demanda – Resistencia para la vivienda C7.

Parámetro	Porcentaje
Espesor mínimo de muros	5%
Esfuerzo axial máximo	5%
Densidad de muros	20%
Derivas	30%
Agrietamiento y Resistencia al corte	40%
Σ	100%
Vulnerabilidad	BAJA

Nota: Elaboración propia.

CAPÍTULO VI

6. RESULTADOS Y EVALUACIÓN DE METODOLOGÍAS

6.1 Evaluación método INDECI

De la recopilación de datos obtenidos y procesados en el capítulo anterior, obtenemos el siguiente resumen del puntaje de cada parámetro, puntaje total y nivel de vulnerabilidad para cada vivienda evaluada, mostrado en la figura 58. Con la intención de poder explicar los puntajes altos primero analizaremos el puntaje mínimo que puede tener una vivienda según las características de la zona evaluada, ya que muchos parámetros tienden a repetirse; y posteriormente interpretaremos los resultados de cada parámetro.

Para determinar cuánto es el puntaje mínimo que puede obtener una vivienda identificamos los parámetros que son constantes y su puntuación, como en el parámetro 1 donde la puntuación varía según el material predominante siendo esta albañilería confinada obteniendo una puntuación de 2 para todas las viviendas. Una vez seleccionados los parámetros que serán constantes, y sumamos la puntuación mínima de 1 a todos los demás parámetros, obtenemos el puntaje base para la zona de estudio (Figura 57).

Figura 57

Cálculo de puntaje mínimo para la zona de estudio.

PUNTAJE MINIMO	METODO INDECI	
1. MATERIAL PREDOMINANTE DE LA EDIFICACIÓN	PUNT. MINIMA	2
3. Albañilería confinada, Otros similares	CONSTANTE	
2. LA EDIFICACIÓN CONTÓ CON LA PARTICIPACIÓN DE INGENIERO CIVIL EN EL DISEÑO	PUNT. MINIMA	2
3. Solo diseño	CONSTANTE	
3. ANTIGÜEDAD DE LA EDIFICACIÓN	PUNT. MINIMA	2
3. De 3 a 19 años		
4. TIPO DE SUELO	PUNT. MINIMA	2
3. Granular fino y Arcilloso	CONSTANTE	
5. TOPOGRAFÍA DE LA VIVIENDA	PUNT. MINIMA	1
4. Hasta 10%	CONSTANTE	
6. TOPOGRAFÍA DEL TERRENO COLINDANTE A LA VIVIENDA Y/O ÁREA DE INFLUENCIA	PUNT. MINIMA	1
7. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN PLANTA	PUNT. MINIMA	1
8. CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA EN ELEVACIÓN	PUNT. MINIMA	1
9. JUNTAS DE DILATACIÓN SÍSMICA SON ACORDES A LA ESTRUCTURA	PUNT. MINIMA	1
10. NO EXISTE CONCENTRACIÓN DE MASAS EN NIVEL...	PUNT. MINIMA	1
11. EN LOS PRINCIPALES ELEMENTOS ESTRUCTURALES SE OBSERVA...	PUNT. MINIMA	1
12. OTROS FACTORES QUE INCIDEN EN LA VULNERABILIDAD POR...	PUNT. MINIMA	1
NIVEL DE VULNERABILIDAD MINIMA	MEDIA	16

Nota: Elaboración propia.

Obtenemos un puntaje base de 16 lo que nos indica que, para el MÉTODO INDECI, toda vivienda de 2 pisos tendrá una vulnerabilidad media; y, además, de tener más de 2 deficiencias en cualquier parámetro pasaría a ser una vulnerabilidad alta.

Figura 58

Resumen de resultados obtenidos por el método INDECI.

CODIGO	PARAMETROS												RESULTADO	
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	Σ	VULNERABILIDAD
	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT	PUNT		
C1	2.00	4.00	3.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	22.00	ALTA
C2	2.00	4.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	21.00	ALTA
C3	2.00	4.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	20.00	ALTA
C4	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	18.00	ALTA
C5	2.00	4.00	3.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	1.00	23.00	ALTA
C6	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	2.00	1.00	20.00	ALTA
C7	2.00	4.00	2.00	2.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	1.00	2.00	1.00	22.00	ALTA
C8	2.00	4.00	3.00	2.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	2.00	3.00	27.00	MUY ALTA
C9	2.00	4.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	3.00	2.00	21.00	ALTA
C10	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	19.00	ALTA
C11	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	16.00	MEDIA
C12	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	4.00	2.00	2.00	24.00	ALTA
C13	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	3.00	21.00	ALTA
C14	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	19.00	ALTA
C15	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	2.00	1.00	22.00	ALTA
C16	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	20.00	ALTA
C17	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	1.00	2.00	2.00	23.00	ALTA
C18	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	4.00	1.00	1.00	2.00	22.00	ALTA
C19	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	4.00	1.00	2.00	2.00	25.00	MUY ALTA
C20	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	4.00	2.00	2.00	23.00	ALTA
C21	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	18.00	ALTA
C22	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	4.00	4.00	1.00	4.00	2.00	2.00	29.00	MUY ALTA
C23	2.00	4.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	4.00	1.00	4.00	1.00	3.00	28.00	MUY ALTA
C24	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	18.00	ALTA
C25	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	18.00	ALTA
C26	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	2.00	2.00	18.00	ALTA
C27	2.00	2.00	2.00	2.00	1.00	1.00	1.00	1.00	4.00	4.00	2.00	3.00	25.00	MUY ALTA

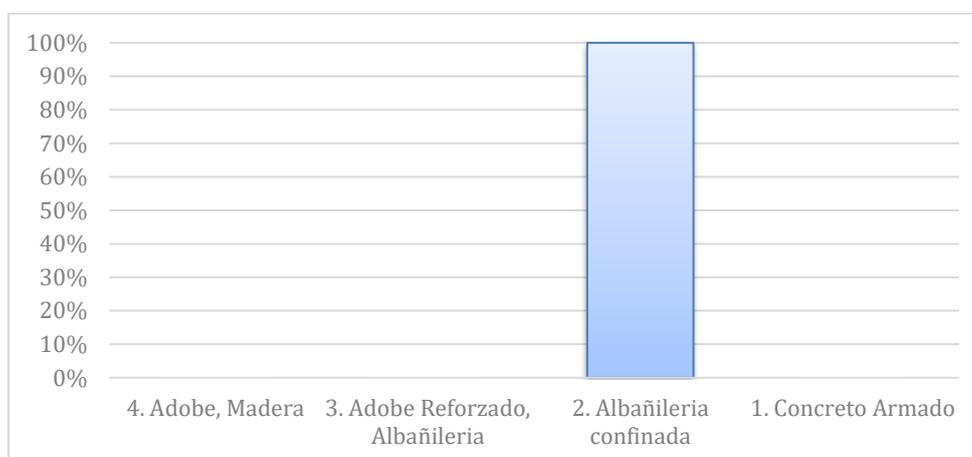
Nota: Elaboración propia.

6.1.1 *Parámetro 1: Material predominante de la edificación*

Todas las edificaciones evaluadas fueron de albañilería y de 2 pisos (Figura 59), siendo estos requisitos mínimos para poder ser parte de este estudio.

Figura 59

Resultados de Paramero 1 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

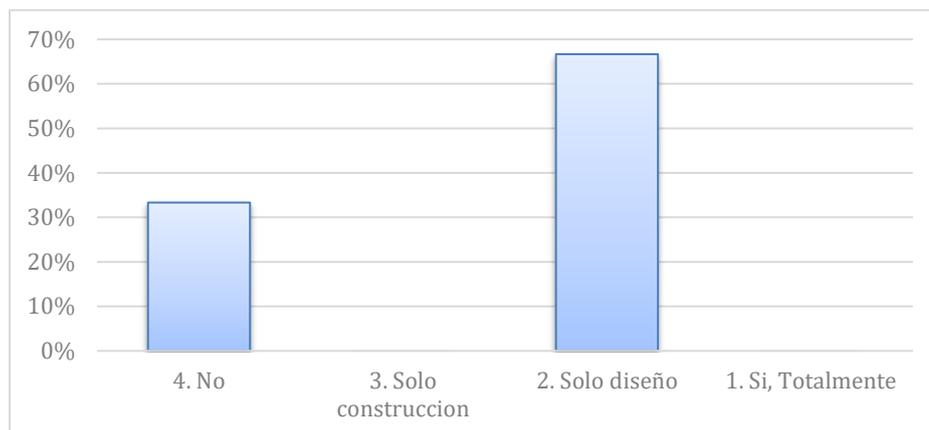
Este parámetro otorga un puntaje mayor a 1 a todas las edificaciones que no se hayan construido con concreto armado sin tener en consideración la funcionalidad de los otros sistemas constructivos que bajo los parámetros sísmicos de zona y suelo pueden ser adecuados para la construcción de una vivienda. Además penaliza a toda la estructura de manera conjunta, sin considerar las variaciones que esta pueda tener según las etapas de construcción afectando la resistencia de los diferentes elementos estructurales. Por lo que este parámetro no aporta de manera precisa la vulnerabilidad en una vivienda.

6.1.2 *Parámetro 2: La edificación contó con la participación de ingeniero civil en el diseño y/o construcción*

En este parámetro se obtuvo que la participación de un Ingeniero Civil se limitaba solo al diseño y la construcción ejecutada por un maestro de obra (Figura 60), o simplemente ningún tipo de participación por parte del ingeniero, el diseño por medio del trazo en campo según la experiencia del maestro y lo solicitado por el dueño.

Figura 60

Resultados de Paramero 2 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

Este parámetro otorga el criterio del nivel de participación que tuvo el ingeniero civil, por lo que es adecuado para la medición de la vulnerabilidad.

6.1.3 Parámetro 3: Antigüedad de la edificación

Las viviendas de albañilería confinada en la zona de estudio son relativamente jóvenes debido a que años atrás el material predominante para las construcciones y viviendas era a base de adobe y quincha; con el pasar del tiempo y el avanzar de las tecnologías constructivas las viviendas evolucionaron a ser de albañilería confinada actualmente.

Figura 61

Resultados de Paramero 3 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

En este parámetro, el método busca tener una relación entre antigüedad y daños considerable en la vivienda, la cual se aprecia visualmente de mejor manera, como plasman en el parámetro 11 del mismo método. Además, se encontraron viviendas con diferencia de edades entre el primer piso y segundo, incluso hasta reacondicionadas, circunstancias que este parámetro no toma en cuenta. Por lo que este no aporta de una manera realista a la vulnerabilidad.

6.1.4 Parámetro 4: Tipo de suelo

El tipo de suelo tiende a no variar significativamente a menos que se abarque una gran área, en nuestro caso, según Kosaka et al (2001), la zona de estudio presenta estudios de suelos que nos confirman un tipo de suelo en común, siendo este un suelo Granular Fino (S2).

Figura 62

Resultados de Paramero 4 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

Este parámetro otorga una puntuación correcta según el tipo de suelo bajo la vivienda.

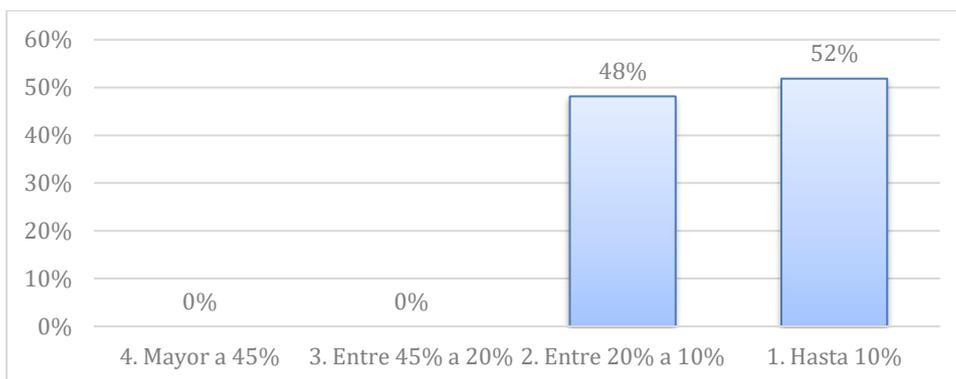
6.1.5 Parámetro 5: Topografía de la vivienda

La zona de estudio se ubica en un valle, teniendo zonas accidentadas y ligeras pendientes mientras más nos alejamos de la vía principal, por lo que algunas viviendas

poseen hasta una pendiente del 17% en los terrenos colindantes.

Figura 63

Resultados de Paramero 5 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

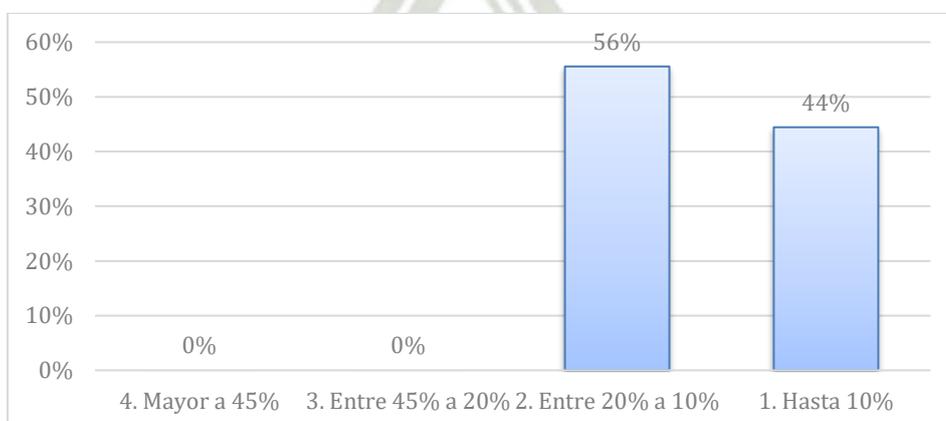
Este parámetro otorga una puntuación correcta según la pendiente de la vivienda.

6.1.6 Parámetro 6: Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia

La zona de estudio se ubica en un valle, teniendo zonas accidentadas y ligeras pendientes mientras más nos alejamos de la vía principal, por lo que algunas viviendas poseen hasta una pendiente del 17% en los terrenos colindantes.

Figura 64

Resultados de Paramero 6 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

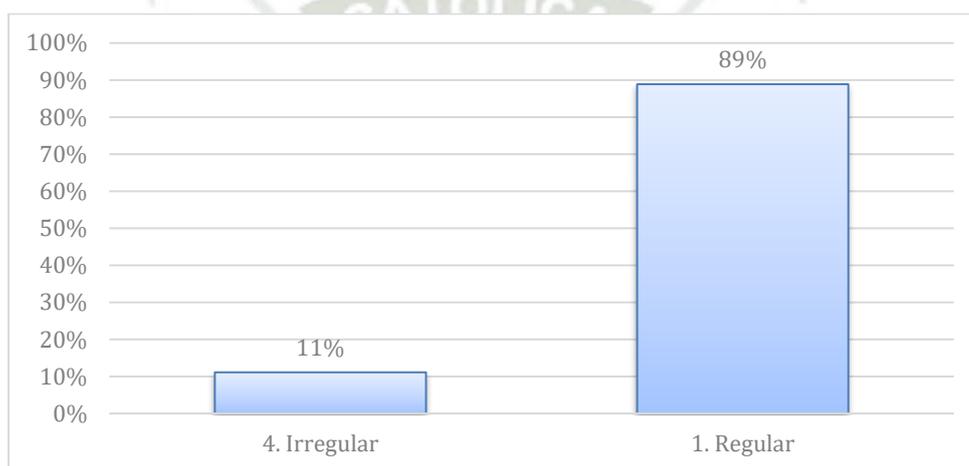
Considerando una vivienda cuadrada, tenemos 4 terrenos aledaños, de los cuales se debería considerar el mayor o más crítico. Este parámetro otorga una puntuación correcta según la pendiente del terreno aledaño.

6.1.7 *Parámetro 7: Configuración geométrica en planta*

La mayoría de las viviendas al poseer una estructuración rectangular, no presentan irregularidad en planta para este método.

Figura 65

Resultados de Paramero 7 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

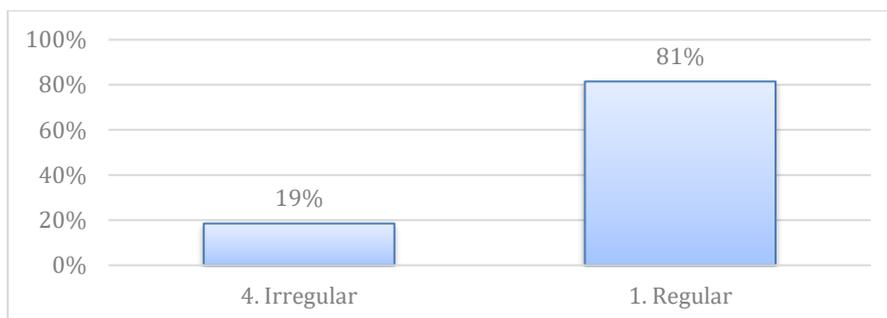
Para este parámetro, INDECI en su manual nos propone que toda estructura que siga la configuración de una figura geométrica es una estructura regular, sin considerar algún tipo de cálculo. Además, al ser un parámetro con solo 2 resultados, no podemos diferenciar una gran irregularidad de una pequeña. Por lo que este parámetro no aporta de manera precisa la vulnerabilidad en una vivienda.

6.1.8 *Parámetro 8: Configuración geométrica en elevación*

De igual manera que en el anterior punto, las viviendas no presentan en su mayoría irregularidades en elevación, pero de lo contrario la puntuación será de 4, ocasionando una gran posibilidad de que la vivienda tenga una vulnerabilidad alta para este método.

Figura 66

Resultados de Paramero 8 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

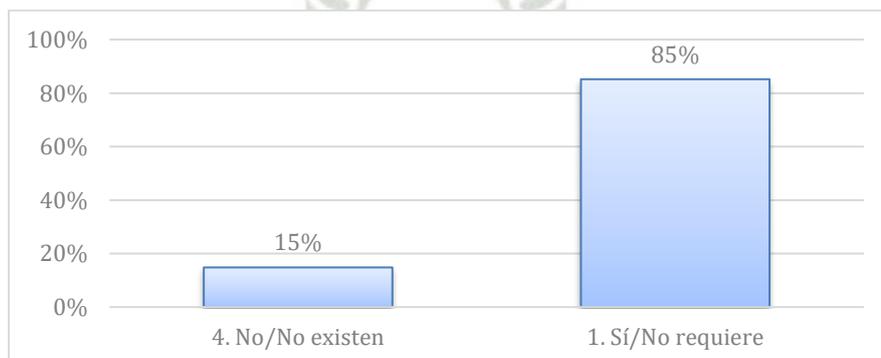
Para este parámetro, INDECI en su manual nos propone que toda estructura que siga la configuración de una figura geométrica es una estructura regular, sin considerar algún tipo de cálculo. Además, al ser un parámetro con solo 2 resultados, no podemos diferenciar una gran irregularidad de una pequeña. Por lo que este parámetro no aporta de manera precisa la vulnerabilidad en una vivienda.

6.1.9 Parámetro 9: Juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura

Para este parámetro lo primero que se evidencio fue que en la mayoría de viviendas no cuentan con viviendas adyacentes, lo que indica que no requiere, sin embargo, en más de la mitad que si necesitan estas juntas, no las poseen, siendo este un posible indicio de que al construir más viviendas tampoco se consideren las juntas de dilatación.

Figura 67

Resultados de Paramero 9 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

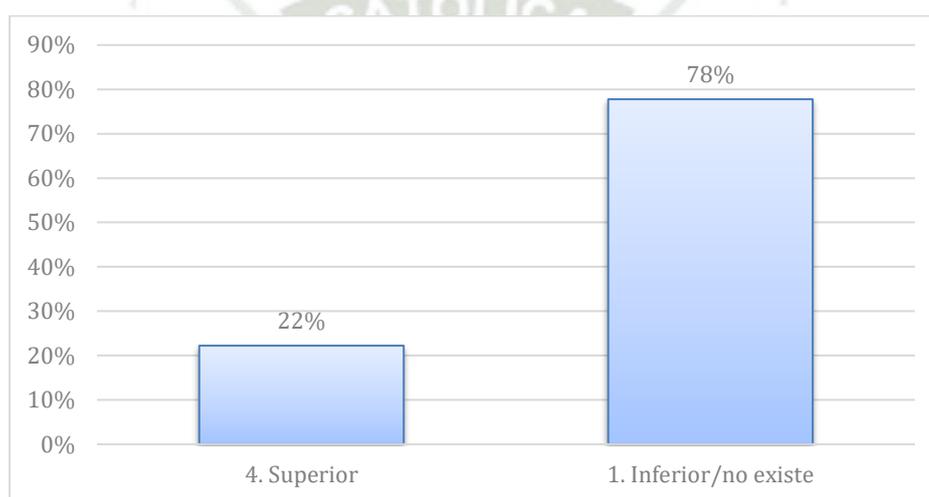
A pesar de ser un parámetro adecuado para medir la vulnerabilidad, carece de variables, como la cantidad de juntas que debería tener o el espesor mínimo, lo cual podría ampliar el número de resultados haciendo más preciso este parámetro.

6.1.10 Parámetro 10: No existe concentración de masas en nivel

En este parámetro hemos considerado principalmente a los tanques de agua al ser el elemento encontrado comúnmente en viviendas y con una gran concentración de masa.

Figura 68

Resultados de Paramero 10 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

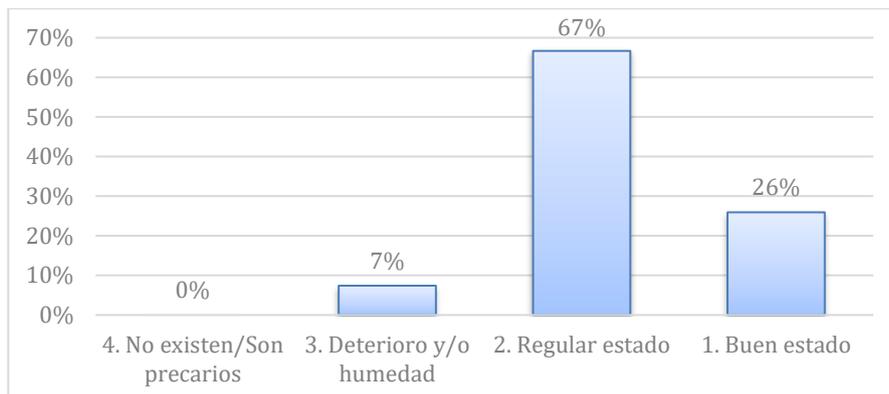
Este parámetro busca determinar si la vivienda presenta una irregularidad de masa o peso, por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad.

6.1.11 Parámetro 11: En los principales elementos estructurales se observa

Para determinar este parámetro, evaluamos el estado de los elementos estructurales en función a una inspección visual y tiempo de vida de las viviendas.

Figura 69

Resultados de Paramero 11 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

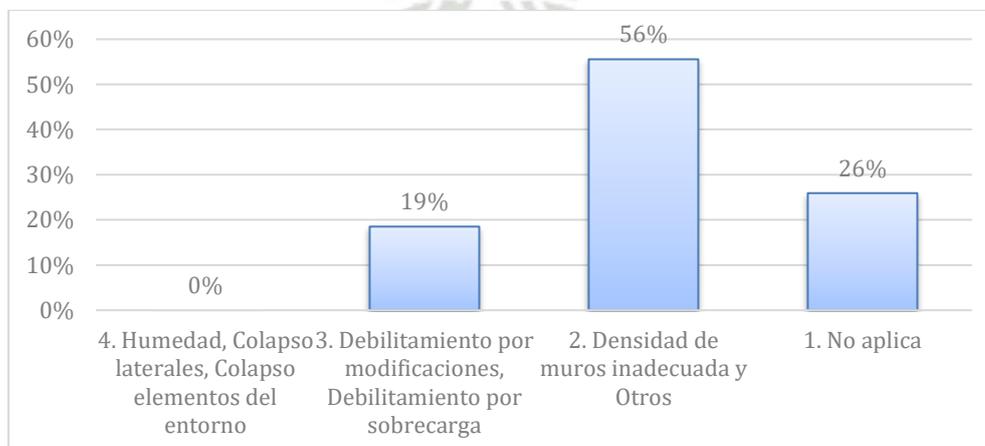
Este parámetro se otorga una puntuación dependiendo del nivel de deterioro de los elementos estructurales, por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad.

6.1.12 Parámetro 12: Otros factores que inciden en la vulnerabilidad

En este parámetro consideramos los indicadores propuestos por el método y otras consideraciones que el método no considera en sus parámetros menciona y hemos podido encontrar al momento de evaluar las viviendas.

Figura 70

Resultados de Paramero 12 – Método INDECI



Nota: Elaboración propia.

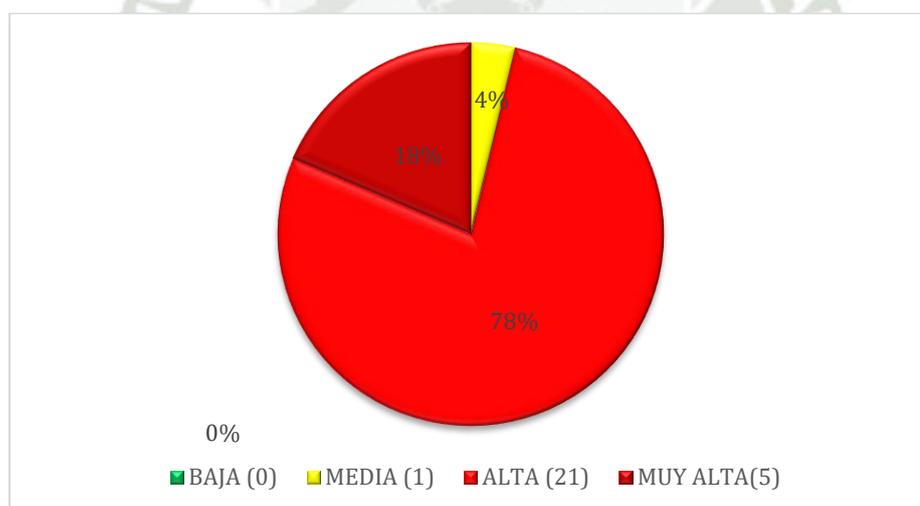
Este parámetro considera muchos aspectos importantes al momento de medir la vulnerabilidad de una vivienda, tan importantes como para considerar parámetros independientes de cada uno, por lo que, este parámetro necesita ser más desglosado y explicado. Algo positivo de este también es que coloca la variable “OTROS” siendo ideal para agregar un puntaje extra, según el criterio del evaluador, a casos particulares las cuales pueden presentarse principalmente en viviendas autoconstruidas.

6.1.13 Resultados y discusión del MÉTODO INDECI

En la figura 71 podemos apreciar que, para el método INDECI, en el área de estudio no se cuenta con ninguna vivienda con una vulnerabilidad baja, un 4% posee una vulnerabilidad media, un 78% posee una vulnerabilidad alta y un 18% una vulnerabilidad muy alta

Figura 71

Puntajes obtenidos por el método INDECI.



Nota: Elaboración propia.

Este método es ideal para evaluaciones rápidas de vulnerabilidad con propósitos de censo, pero no es confiable cuando se requieran resultados más precisos porque contiene parámetros con interpretación ambigua al evaluador según su nivel de experiencia. El método otorga además una puntuación alta a sistemas constructivos que no sean aporticados, a pesar de que existen parámetros normativos que permiten la construcción de estructuras con otros sistemas constructivos.

6.2 Evaluación método BENEDETTI Y PETRINI

A diferencia del anterior método como podemos observar en la Figura 73, se resalta la diferencia de vulnerabilidad obtenida en cada vivienda siendo menor, adicionalmente podemos visualizar que existen resultados variados en los parámetros lo cual se refleja en sus puntajes, teniendo un único parámetro que no varía siendo este el tipo de suelo que al igual que en el anterior método, no cambia al ser un área de estudio pequeña.

Para analizar de manera más crítica el método, revisaremos cada parámetro individualmente según los resultados obtenidos y lo común que fueron en la encuesta.

6.2.1 Parámetro 1: Organización del Sistema Resistente

En este parámetro, el hecho de que un ingeniero no participara en la etapa de construcción y que visualmente se aprecian si los muros cuentan con vigas y columnas, elimina el puntaje “A” por lo que, como se muestra en la figura 72 la mayoría de las viviendas no cumple en su totalidad con la norma E.070, y las restantes confinan parcialmente los muros.

Figura 72

Resultados de Parámetro 1 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

Este parámetro evalúa de una manera general en qué nivel la estructura sigue la normativa técnica, en este caso la E.070, por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad.

Figura 73

Resumen de resultados obtenidos por el método Benedetti & Petrini.

CODIGO	PARAMETROS																				RESULTADO			
	1		2		3		4		5		6		7		8		9		10		11		Σ	VULNERABILIDAD
	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT	TIP O	PUNT		
C1	B	5.00	B	1.25	A	0.00	B	3.75	D	45.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	A	0.00	B	0.00	B	5.00	71.25	BAJA
C2	B	5.00	A	0.00	D	67.50	B	3.75	A	0.00	A	0.00	A	0.00	C	6.25	A	0.00	A	0.00	B	5.00	87.5	MEDIA
C3	B	5.00	A	0.00	D	67.50	B	3.75	A	0.00	A	0.00	A	0.00	C	6.25	A	0.00	B	0.00	B	5.00	87.5	MEDIA
C4	C	20.00	B	1.25	A	0.00	B	3.75	B	5.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	B	15.00	C	6.25	B	5.00	67.5	BAJA
C5	C	20.00	C	6.25	A	0.00	B	3.75	C	15.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	B	15.00	C	6.25	C	25.00	102.50	MEDIA
C6	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	B	5.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	A	0.00	A	0.00	B	5.00	30.00	BAJA
C7	C	20.00	C	6.25	A	0.00	B	3.75	C	15.00	D	22.50	A	0.00	D	11.25	B	15.00	C	6.25	B	5.00	105.00	MEDIA
C8	C	20.00	C	6.25	C	37.50	B	3.75	B	5.00	B	2.50	C	25.00	D	11.25	B	15.00	C	6.25	B	5.00	137.50	MEDIA
C9	C	20.00	C	6.25	B	7.50	B	3.75	B	5.00	A	0.00	A	0.00	C	6.25	C	25.00	C	6.25	C	25.00	105.00	MEDIA
C10	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	B	5.00	A	0.00	A	0.00	C	6.25	B	15.00	A	0.00	A	0.00	35.00	BAJA
C11	SIN INSPECCION DETALLADA																				-	-		
C12	SIN INSPECCION DETALLADA																				-	-		
C13	C	20.00	C	6.25	A	0.00	B	3.75	B	5.00	A	0.00	A	0.00	C	6.25	B	15.00	C	6.25	B	5.00	67.50	BAJA
C14	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	B	5.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	B	15.00	A	0.00	A	0.00	40.00	BAJA
C15	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	A	0.00	A	0.00	C	25.00	C	6.25	B	15.00	B	0.00	B	5.00	60.00	BAJA
C16	C	20.00	C	6.25	B	7.50	B	3.75	C	15.00	A	0.00	A	0.00	C	6.25	B	15.00	D	11.25	C	25.00	110.00	MEDIA
C17	C	20.00	B	1.25	B	7.50	B	3.75	B	5.00	A	0.00	D	45.00	C	6.25	B	15.00	C	6.25	B	5.00	115.00	MEDIA
C18	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	A	0.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	B	15.00	B	0.00	B	5.00	40.00	BAJA
C19	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	A	0.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	A	0.00	B	0.00	B	5.00	25.00	BAJA
C20	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	B	5.00	A	0.00	A	0.00	C	6.25	B	15.00	B	0.00	B	5.00	40.00	BAJA
C21	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	A	0.00	B	2.50	A	0.00	C	6.25	A	0.00	C	6.25	B	5.00	28.75	BAJA
C22	C	20.00	C	6.25	A	0.00	B	3.75	C	15.00	D	22.50	B	5.00	D	11.25	C	25.00	D	11.25	C	25.00	145.00	ALTA
C23	C	20.00	C	6.25	A	0.00	B	3.75	B	5.00	B	2.50	D	45.00	D	11.25	B	15.00	C	6.25	A	0.00	115.00	MEDIA
C24	D	45.00	C	6.25	A	0.00	B	3.75	C	15.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	B	15.00	D	11.25	A	0.00	107.50	MEDIA
C25	SIN INSPECCION DETALLADA																				-	-		
C26	SIN INSPECCION DETALLADA																				-	-		
C27	B	5.00	A	0.00	A	0.00	B	3.75	A	0.00	A	0.00	A	0.00	D	11.25	B	15.00	B	0.00	B	5.00	40.00	BAJA

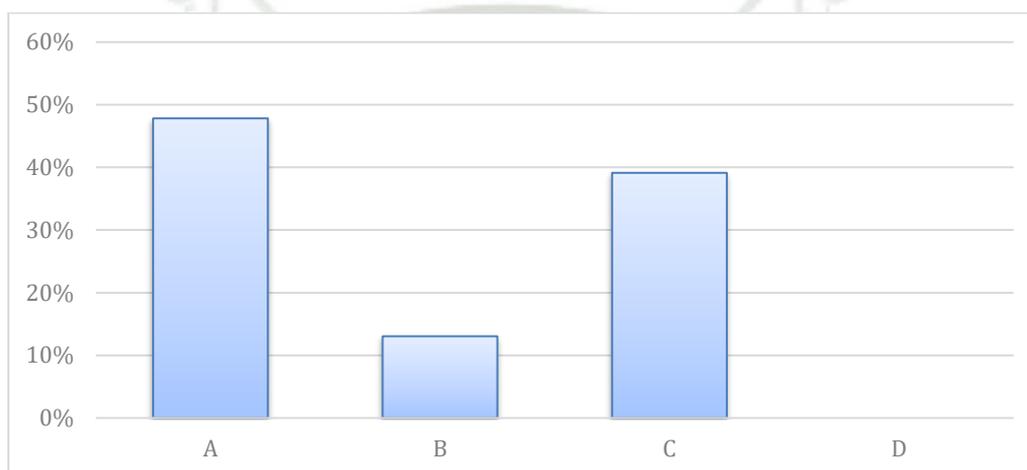
Nota: Elaboración propia.

6.2.2 *Parámetro 2: Calidad de Sistema Resistente*

En este parámetro se refleja que menos de la mitad los usuarios no temen invertir en unidades de albañilería de buena calidad y un proceso de construcción de muros adecuados, los restantes cometen errores como la falta de dentado en las viviendas, cambio de ladrillo King Kong a ladrillos pandereta en muros portantes del primer al segundo piso, lo cual se refleja en las puntuaciones “B” y “C”.

Figura 74

Resultados de Parámetro 2 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

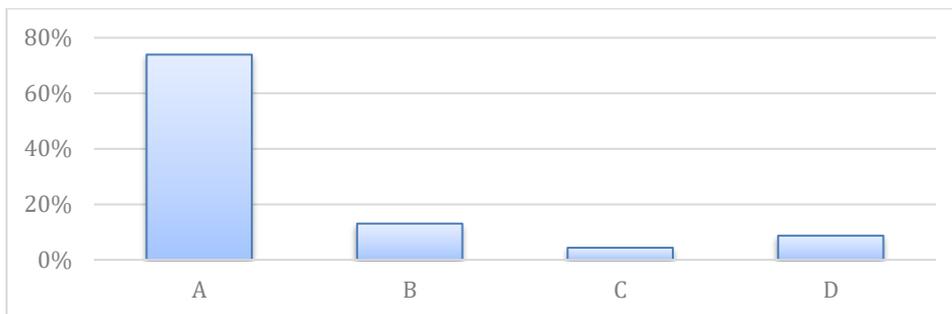
Como se puede observar el número de viviendas que cuentan con una adecuada calidad del sistema resistente es casi el mismo que las que no cuentan con ello, teniendo en varios casos el uso de un ladrillo no normado para su respectiva zona sísmica y una incorrecta unión entre el muro y la columna. Este parámetro es adecuado para medir el nivel de vulnerabilidad.

6.2.3 *Parámetro 3: Resistencia Convencional*

Para este parámetro se utiliza una formula en función a aspectos estructurales de los cuales resaltamos a: el área cubierta, la cual de ser pequeña nos da mayormente una puntuación de “A”; Área resistente, que básicamente se traduce en la densidad de muros y de ser mínima indica valores altos de “C” o “D”; y la Resistencia cortante de la albañilería, que como mencionamos en el parámetro anterior varía según el ladrillo utilizado.

Figura 75

Resultados de Parámetro 3 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

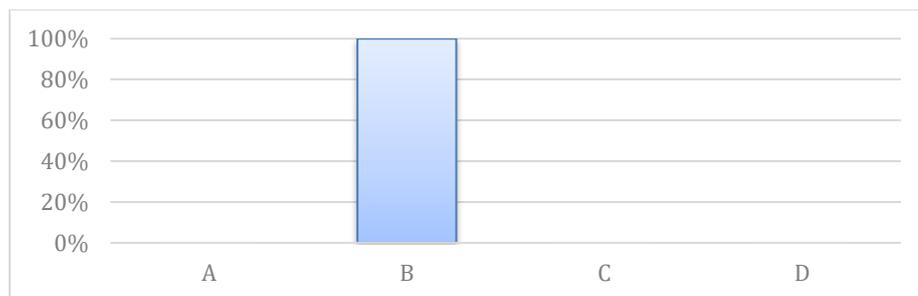
Los resultados de este parámetro nos indican que la resistencia convencional es alta en la mayor parte de las viviendas, esto debido a que cuentan con una baja área techada y con pocos niveles. Es un parámetro adecuado para tener una perspectiva acertada del nivel de resistencia que brinda la configuración estructural.

6.2.4 Parámetro 4: Posición del Edificio y de la Cimentación

Para este parámetro, tomaremos de base el estudio de suelos de Kosaka et al (2001) en el cual concluye que el tipo de suelo que abarcó nuestra zona de muestreo (S2) es un suelo medianamente rígido sin presencia de sales ni humedad, dándonos un resultado común para todas las viviendas siendo esta una puntuación “B”. Cabe resaltar que al no contar con un ingeniero encargado de la planificación y construcción en las viviendas, no se puede asegurar el uso de la norma E070.

Figura 76

Resultados de Parámetro 4 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

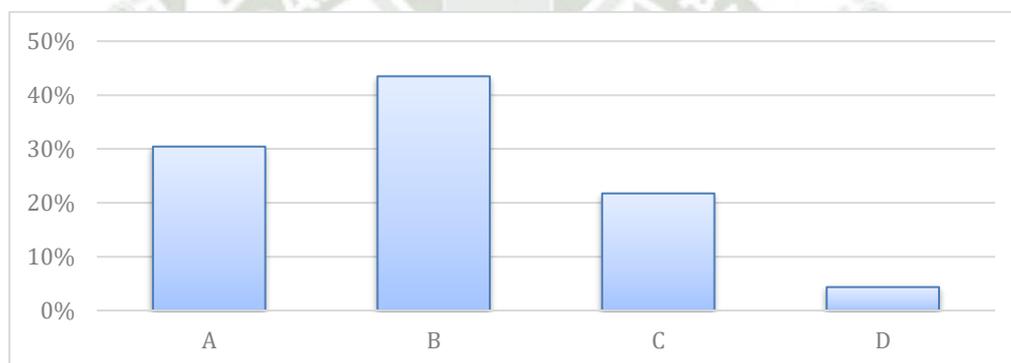
Para este parámetro evaluamos no solo el tipo de suelo, sino también los criterios para una correcta cimentación para albañilería propuesto en la norma E.070 y otras consideraciones como la existencia de sales, arcillas expansivas o el nivel freático. Por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad.

6.2.5 Parámetro 5: Diafragmas Horizontales

Para este parámetro, el diafragma horizontal podemos destacar que solo en una vivienda se presenta un desnivel en la losa, también existe deformación en el diafragma causada principalmente por escaleras interiores.

Figura 77

Resultados de Parámetro 5 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

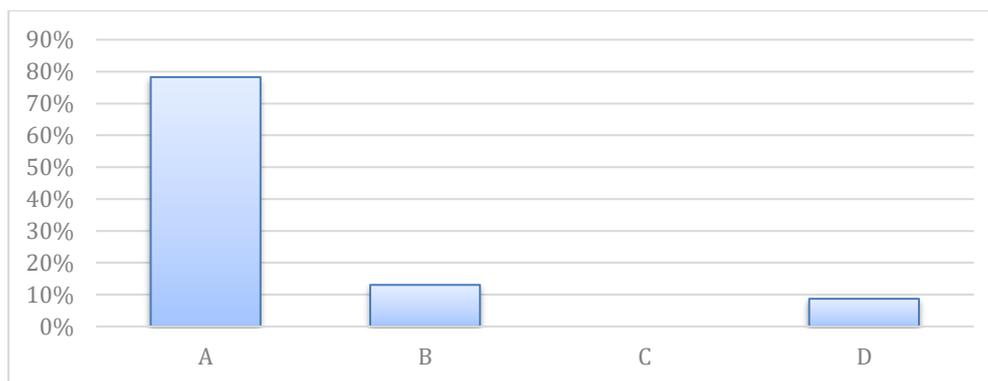
Para este parámetro evaluamos específicamente a la losa construida con variables como la ausencia de desniveles, deformaciones o nivel de conexión con los muros, donde no se considera el peralte de la losa o las dimensiones y sentido de las viguetas. Por lo que es un parámetro importante para la medición de vulnerabilidad sísmica que puede mejorarse debido a que compatibiliza los desplazamientos laterales.

6.2.6 Parámetro 6: Configuración de Planta

Para este parámetro, calculamos a regularidad en planta de la estructura, donde en la mayoría de las viviendas posee un área rectangular y estructura de muros simétrica sin irregularidades considerables, por lo que poseen una puntuación “A”, salvo excepciones donde existe una considerable distancia entre el largo y ancho de una vivienda.

Figura 78

Resultados de Parámetro 6 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

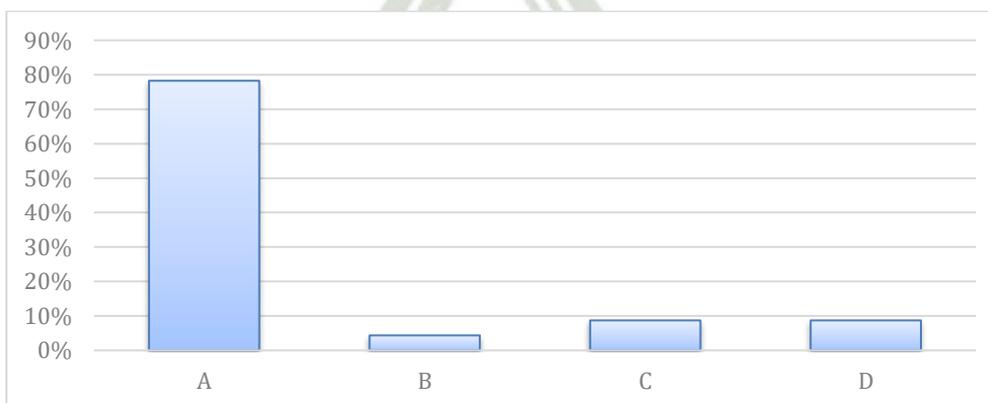
Para este parámetro evaluamos la geometría en planta por medio de las fórmulas propuestas por el método para un análisis rápido, donde de ser necesario y para tener una mayor precisión, calculamos la irregularidad geométrica con respecto a la de la masa. Por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad.

6.2.7 Parámetro 7: Configuración en elevación

En este parámetro evaluamos la diferencia de áreas entre los diferentes pisos que como en el anterior parámetro sigue presentando una cantidad mínima de viviendas que presentan una irregularidad en elevación.

Figura 79

Resultados de Parámetro 7 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

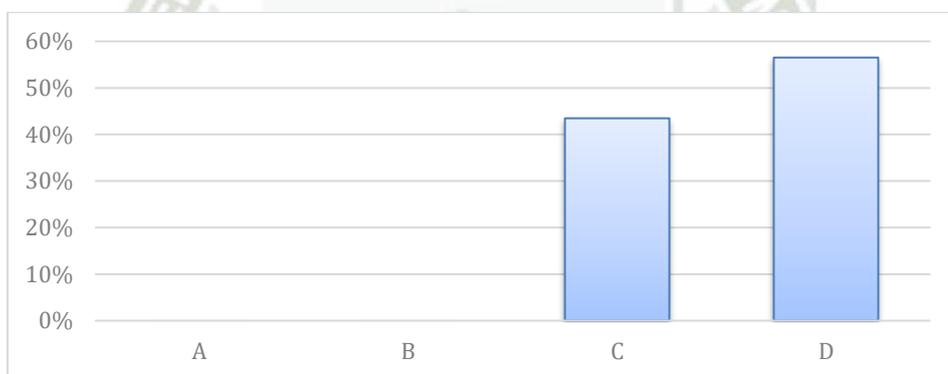
Para este parámetro de la misma manera evaluamos la geometría en elevación como en el anterior, por medio de las fórmulas propuestas por el método para un análisis rápido, donde de ser necesario y para tener una mayor precisión, calculamos la diferencia de área superior e inferior entre el área total mayor. Por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad.

6.2.8 Parámetro 8: Distancia máxima entre los muros

En este parámetro evaluamos al muro más largo entre columna y columna para determinar su puntuación, encontrando mínimamente en las viviendas muros de 3 metros otorgando una puntuación “C”. Cabe resaltar que solo evaluamos el muro mayor, sin tomar en cuenta los demás o hacer un promedio de estos.

Figura 80

Resultados de Parámetro 8 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

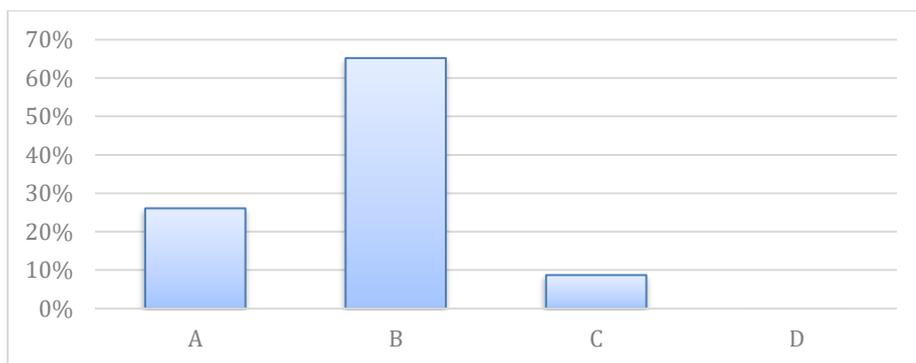
Para este parámetro evaluamos la distancia máxima entre los ejes de la columna de cada muro, a pesar de ser una calculo necesario posee un coeficiente de 0.25 siendo el más bajo para el método. Por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad, pero no fundamental, que podría incluirse en el Parámetro 2.

6.2.9 Parámetro 9: Tipo de cubierta

Para este parámetro se encontró cubiertas en la mayoría planas, con algunas excepciones que presentan una losa inclinada en el último piso o utilizan el techo generando un peso extra a la cubierta, obteniendo mayormente una puntuación “B”.

Figura 81

Resultados de Parámetro 9 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

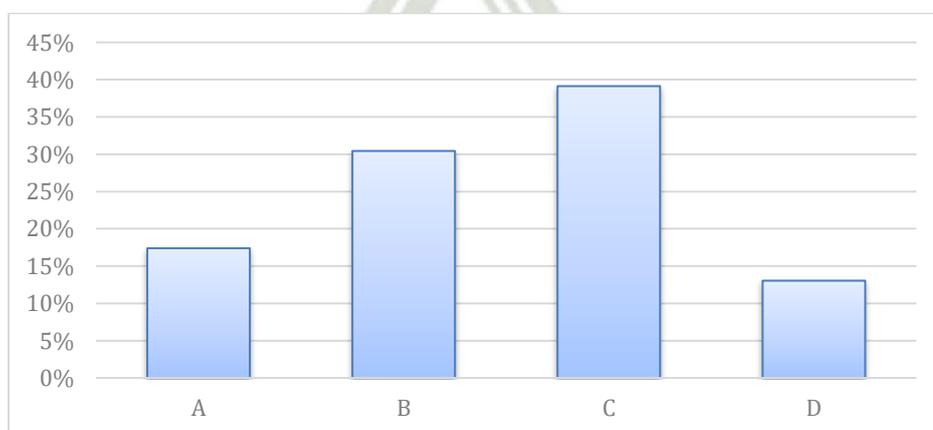
Para este parámetro evaluamos específicamente a la losa del último piso, es decir la losa de techo, la cual de la misma manera que en el parámetro 5, cuenta con variables similares. Por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad que puede mejorarse e incluirse en el parámetro 5.

6.2.10 Parámetro 10: Elementos no estructurales

Para este parámetro, encontramos viviendas con elementos no estructurales sin columnas, falta de dentado o unidades deterioradas o fisuradas, lo cual se refleja principalmente en los puntajes “C” y “D”.

Figura 82

Resultados de Parámetro 10 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

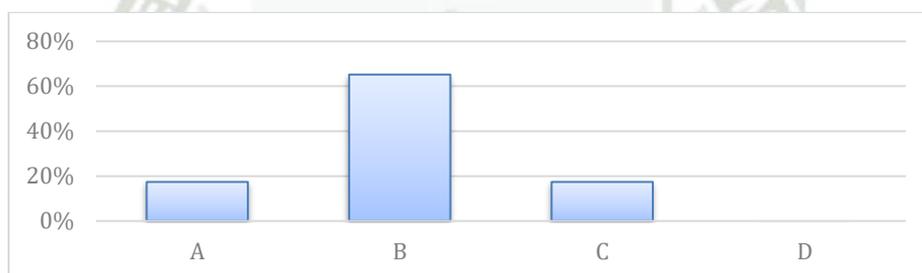
Para este parámetro evaluamos los elementos no estructurales, como vendrían a ser muro de tabiquería, elementos propensos a desplomarse durante un sismo al no estar debidamente integrados en la estructura, los cuales al representar una carga adicional a la estructura merecen ser considerados al momento de una evaluación sísmica. Por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad.

6.2.11 Parámetro 11: Estado de conservación

Este parámetro, al igual que el parámetro 11 del método INDECI, califica el estado de conservación de la vivienda, pero nuestro principal indicador son las fisuras y el deterioro. La mayoría de las viviendas no presentan fisuras significativas a pesar de no contar con un mantenimiento adecuado, por lo que la puntuación usual es “B”.

Figura 83

Resultados de Parámetro 11 – Método Benedetti & Petrini



Nota: Elaboración propia.

Para este parámetro evaluamos de manera visual principalmente los elementos estructurales en busca de señales de deterioro del elemento o deficiencias como fisuras, acero expuesto, presencia de sales o humedecimiento, entre otros. Por lo que es un parámetro adecuado para la medición de vulnerabilidad.

6.2.12 Evaluación de resultados del método Benedetti & Petrini

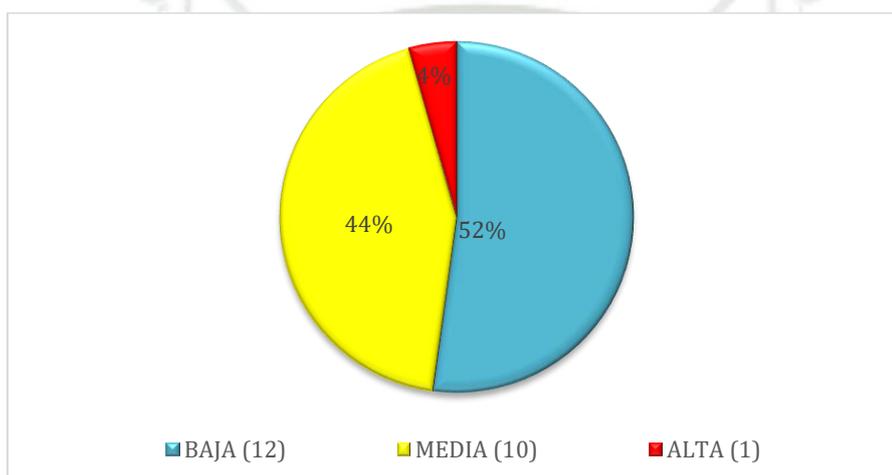
Después de analizar cada parámetro, determinamos que para el método de Benedetti & Petrini, a pesar de tener muchos parámetros visuales al igual que el método de INDECI, están mejor definidos y explicados además de tener a la Norma E.030 y E.070 como base. También en este método podemos dividir los parámetros en aspectos estructurales, constructivos y geométricos, haciendo una evaluación más completa.

Otro punto a favor de este método es que se necesita realizar mediciones de los elementos estructurales, áreas techadas, distanciamiento entre muros y considerar características de la unidad de albañilería empleada dando resultados concretos.

En la figura 84 podemos ver en los resultados obtenidos por el método de Benedetti & Petrini, donde un 52% de las viviendas presenta una vulnerabilidad Baja, un 44% una vulnerabilidad Media y solo un 4% una vulnerabilidad alta.

Figura 84

Puntajes obtenidos por el método Benedetti & Petrini.



Nota: Elaboración propia.

Finalmente podemos concluir que el método Benedetti & Petrini da una explicación más extensa a sus parámetros abarcando de manera clara y directa la metodología para su análisis. A criterio nuestro es un método ideal para zonas en las que el método de INDECI otorga una vulnerabilidad alta por razones poco relevantes en el análisis.

6.3 Evaluación método DEMANDA-RESISTENCIA

Este método refleja un resultado más real acorde a la estructuración de la vivienda, poniendo en evidencia la eficacia de este al poder escoger el tipo de material a analizar, como es el caso de muchas viviendas en las que al no ser planificadas desde el inicio de su construcción muestran una mezcla de materiales, específicamente de ladrillos de distintos tipos de resistencia a la compresión y corte. Añadido a esto la inclusión de un espectro de sismo establecido por la norma nos muestra el comportamiento que tendría la vivienda y el

cómo las estructuras se comportan durante este caso.

Se evalúan cinco parámetros de los cuales dos corresponden a un análisis por gravedad (espesor mínimo de muros y esfuerzo axial máximo) y tres a un análisis sísmico (densidad de muros, derivas, agrietamiento y resistencia al corte). Se consideraron a estos últimos como los más importantes. Además, se asignaron los siguientes porcentajes para determinar la vulnerabilidad sísmica en las Tablas 35 y 36.

Tabla 35

Parámetros y su puntuación para el método Demanda-Resistencia.

Parámetro	Porcentaje si cumple	Porcentaje si no cumple
Espesor mínimo de muros	5%	0%
Esfuerzo axial máximo	5%	0%
Densidad de muros	20%	0%
Derivas	30%	0%
Agrietamiento y Resistencia al corte	40%	0%

Nota: Elaboración propia.

Tabla 36

Rangos de calificación para el método Demanda-Resistencia.

Vulnerabilidad	Porcentaje
Baja	100% - 96%
Media	95% - 71%
Alta	70% - 0%

Nota: Elaboración propia.

Cabe recalcar que la asignación de estos porcentajes se determinó bajo nuestro criterio luego de cuestionar la importancia de cada parámetro en un análisis de vulnerabilidad sísmica. En función a la recopilación de datos se obtuvo el resumen de las viviendas evaluadas mostrado en la Figura 85.

Figura 85

Resumen de resultados obtenidos por el método DEMANDA-RESISTENCIA

CODIGO	VERIFICACION																			Σ	VULNERABILIDAD
	ESPESOR MINIMO DE MUROS		DENSIDAD DE MUROS			ESFUERZO AXIAL M		DERIVAS (DRIFTS)					AGRIETAMIENTO								
	CONDICION	PUNT	X	Y	PUNT	MUROS FALLAN	PUNT	PISO 1		PISO 2		PUNT	MUROS NO AGRIETA	PISO 1		PISO 2		PUNT			
C1	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	15	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C2	CUMPLE	5%	NO CUMPL	CUMPLE	0%	0	5%	NO CUMPL	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	4	NO CUMPL	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	10%	ALTA	
C3	CUMPLE	5%	NO CUMPL	CUMPLE	0%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	5	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	40%	ALTA	
C4	CUMPLE	5%	NO CUMPL	CUMPLE	0%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	12	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	80%	MEDIA	
C5	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	13	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C6	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C7	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	11	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C8	CUMPLE	5%	NO CUMPL	CUMPLE	0%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	10	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	40%	ALTA	
C9	CUMPLE	5%	NO CUMPL	CUMPLE	0%	0	5%	NO CUMPL	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	6	NO CUMPL	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	0%	10%	ALTA	
C10	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	14	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C11	SIN INSPECCION DETALLADA																			-	SIN INSP
C12	SIN INSPECCION DETALLADA																			-	SIN INSP
C13	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	13	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C14	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	11	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C15	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	4	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C16	CUMPLE	5%	NO CUMPL	CUMPLE	0%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	9	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	10%	ALTA	
C17	CUMPLE	5%	NO CUMPL	CUMPLE	0%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	5	NO CUMPL	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	10%	ALTA	
C18	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	7	NO CUMPL	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	0%	60%	ALTA	
C19	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	11	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	70%	ALTA	
C20	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	
C21	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	NO CUMPL	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	5	NO CUMPL	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	0%	30%	ALTA	
C22	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	14	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	70%	ALTA	
C23	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	5	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	70%	ALTA	
C24	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	NO CUMPL	CUMPLE	0%	9	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	70%	ALTA	
C25	SIN INSPECCION DETALLADA																			-	SIN INSP
C26	SIN INSPECCION DETALLADA																			-	SIN INSP
C27	CUMPLE	5%	CUMPLE	CUMPLE	20%	0	5%	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	30%	14	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	CUMPLE	40%	100%	BAJA	

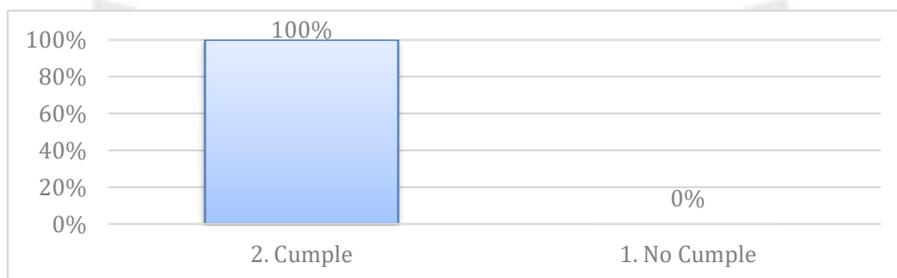
Nota: Elaboración propia.

6.3.1 *Parámetro 1: Espesor mínimo de muros*

Este parámetro está en función a la altura del muro, donde la mayoría de viviendas cumple con el espesor mínimo al contar con una altura de piso a techo no mayor a 2.60 m ni menor a 2.30 m.

Figura 86

Resultados de Paramero 1 – Método Demanda - Resistencia



Nota: Elaboración propia.

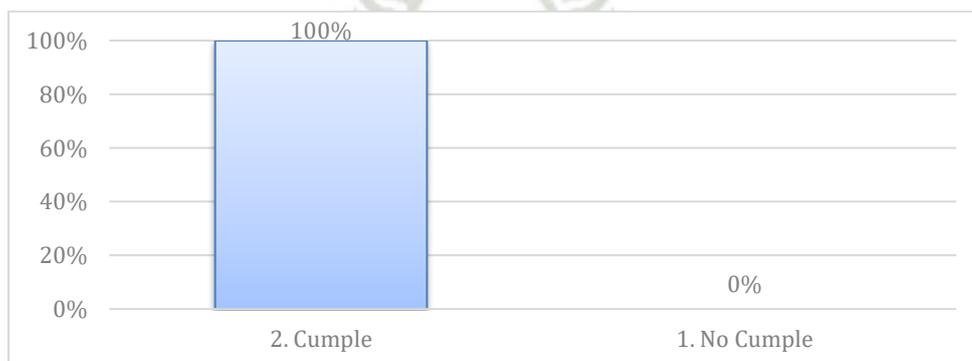
Para este parámetro, debemos considerar solo la altura efectiva de muro, restando si es necesario el sobrecimiento o la altura de losa o viga solera. Es importante debido a que de este parámetro dependen los siguientes.

6.3.2 *Parámetro 2: Esfuerzo axial máximo*

Este parámetro varía según el tipo de ladrillo empleado debido a la resistencia a la compresión del muro de albañilería y a la cantidad de tabiquería repartida en la losa.

Figura 87

Resultados de Paramero 2 – Método Demanda - Resistencia



Nota: Elaboración propia.

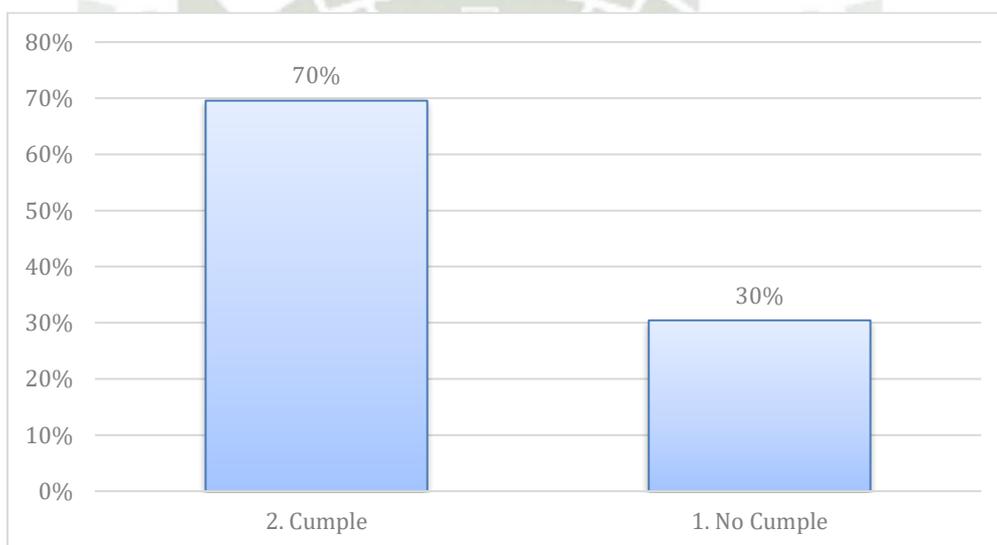
Como pudimos observar en la etapa de recopilación de información ninguna estructura de las viviendas evidenció problemas de aplastamiento o deflexiones peligrosas, por lo que el total de viviendas cumplió con este parámetro.

6.3.3 *Parámetro 3: Densidad de muros*

En este parámetro toma en cuenta el largo y espesor de los muros portantes, dándonos una primera vista a la resistencia al corte de la estructura, una alta densidad de muros equivale a un buen comportamiento lateral ante los sismos.

Figura 88

Resultados de Paramero 3 – Método Demanda - Resistencia



Nota: Elaboración propia.

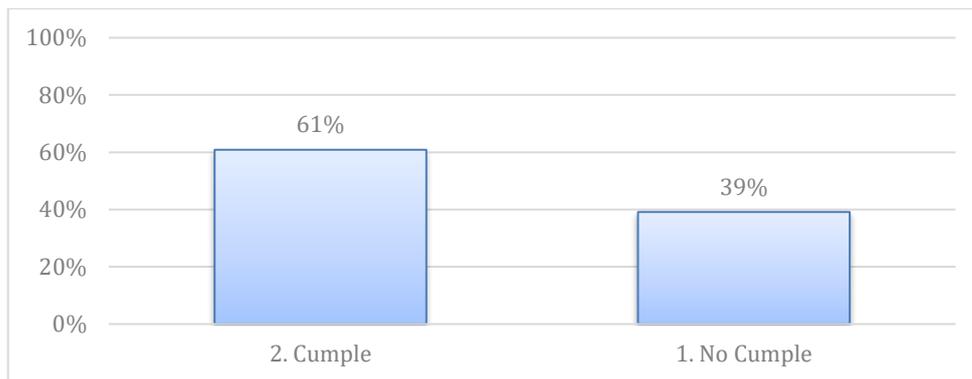
Se observó que es muy común la construcción alargada de las viviendas debido a que los lotes son de forma rectangular esto conlleva a tener una menor cantidad de muros en el sentido de la fachada obteniendo una baja o nula densidad de muros en esa dirección, esto refleja un mal comportamiento sísmico.

6.3.4 *Parámetro 4: Derivas*

Los elementos que controlan los desplazamientos laterales son en este caso los muros portantes para todas las viviendas. Aquellos que conectados mediante un diafragma rígido permiten la compatibilización de deformaciones.

Figura 89

Resultados de Paramero 4 – Método Demanda - Resistencia



Nota: Elaboración propia.

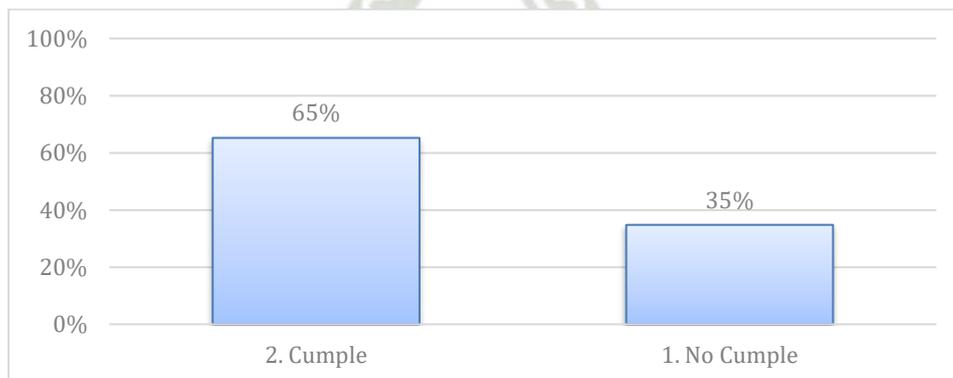
Como lo visto en el parámetro anterior, al no tener una buena cantidad de muros en un sentido las fuerzas sísmicas que actúan en esa dirección desplazan la estructura aumentando la distorsión de entrecapso excedente a la norma siendo uno de los parámetros más importantes de este método.

6.3.5 Parámetro 5: Agrietamiento y Resistencia al corte

En este parámetro se estudia el comportamiento elástico de los muros de albañilería, analizando que el sismo moderado o de servicio no produzca agrietamientos. La resistencia al corte de todos los muros por cada piso debe ser mayor a la generada por el espectro de sismo.

Figura 90

Resultados de Paramero 5 – Método Demanda - Resistencia



Nota: Elaboración propia.

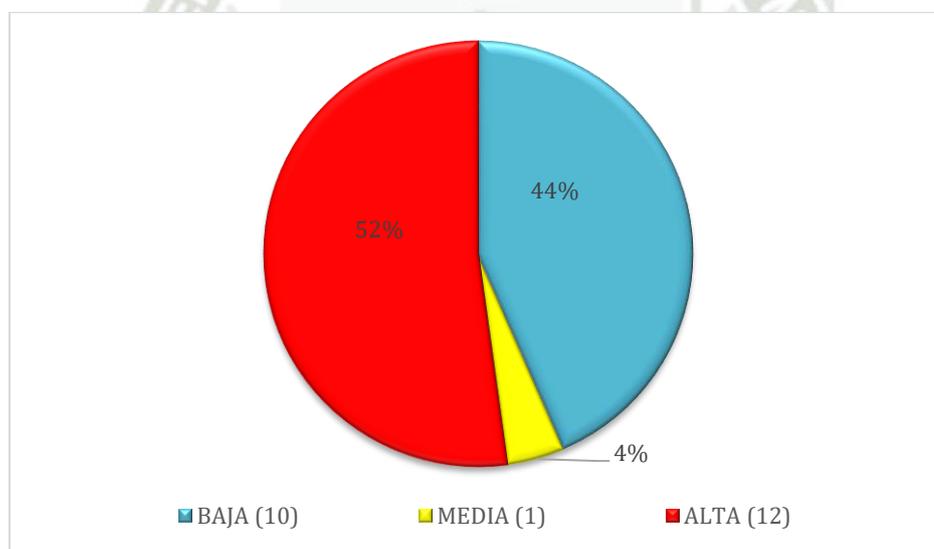
Al igual que los dos parámetros anteriores (Parámetro 3 y 4), en una de las direcciones en cierto número de viviendas no cumplen con la resistencia al corte exigida por el espectro de sismo de la norma. Este es un parámetro fundamental para este método ya que luego de un sismo severo la estructura puede colapsar.

6.3.6 Resultados y discusión del Demanda – Resistencia

Los resultados obtenidos, como se muestra en la figura 91, podemos observar que un 52% de viviendas posee una vulnerabilidad baja, un 4% una vulnerabilidad media y un 44% una vulnerabilidad Alta. Una de las razones detener más viviendas con vulnerabilidad baja es que estas viviendas poseen un área pequeña y muchos muros, lo cual agrega una rigidez excesiva para una pequeña vivienda.

Figura 91

Gráfico de participación de un profesional en el diseño.



Nota: Elaboración propia.

Este método es adecuado cuando se requiere una evaluación minuciosa para edificaciones esenciales o viviendas multifamiliares en las que se tenga incertidumbre de su comportamiento ante un evento sísmico, debido a que requiere una cantidad de tiempo para la recolección de datos y su posterior procesamiento, así como personal con conocimientos técnicos en ingeniería estructural.

6.4 Cotejo entre los tres métodos estudiados

Durante la recolección de datos solo se consideraron las 27 viviendas adecuadas para el estudio, como se aprecia en la Tabla 7, de las cuales 4 presentaron el inconveniente de no tener autorización del dueño para la toma de datos o la ausencia de este. Estas dificultades que impidieron la evaluación de algunos parámetros métodos de Benedetti & Petrini y la totalidad del método Demanda – Resistencia; mas no el método de INDECI que con las herramientas actuales como lo son las fotos tomadas por satélites se puede tener una estimación de la vulnerabilidad por este método, por lo que este método es aplicado a todas las viviendas.

También se presentaron dificultades adicionales en la toma de las demás viviendas, donde a pesar de haber comunicado y tener el apoyo de la municipalidad, indicando que no se obligue a los pobladores a participar (Anexo 6.2), la mayoría de los propietarios solo nos permitió realizar una evaluación externa o evaluación interna relatada, siendo un impedimento el cual nos limitó parcialmente la toma de datos.

Se presentan los resultados en un cuadro comparativo (Figura 92) por cada vivienda a fin de observar de una manera más eficiente los resultados obtenidos según los tres métodos de análisis de vulnerabilidad.

Al revisar los datos obtenidos, como mencionamos en el punto 6.1, el método INDECI presenta resultados de vulnerabilidad mucho más altos que los demás métodos, siguiendo al método de demanda – Resistencia y finalmente Benedetti & Petrini las vulnerabilidades más bajas. Cabe mencionar que cada uno de los 3 métodos nos pueden dar un indicio del nivel vulnerabilidad, pero ninguno puede asegurar con total acierto este nivel al no poder plasmar el 100% de características de la vivienda en cada uno de los métodos por separado, siendo el método de Demanda – Resistencia el que abarca la mayor parte de características de estudio en su método como se puede ver en la Tabla 37.

Figura 92

Resumen de resultados obtenidos por los 3 métodos utilizados.

CODIGO	INDECI	BENEDETTI Y PETRINI	DEMANDA - RESISTECIA	RESULTADO
	VULNERABILIDAD	VULNERABILIDAD	VULNERABILIDAD	
C1	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
C2	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
C3	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
C4	ALTA	BAJA	MEDIA	MEDIA
C5	ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA
C6	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
C7	ALTA	MEDIA	BAJA	MEDIA
C8	MUY ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
C9	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
C10	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
C11	MEDIA	SIN INSPECCION RIGUROSA		
C12	ALTA	SIN INSPECCION RIGUROSA		
C13	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
C14	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
C15	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
C16	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
C17	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
C18	ALTA	BAJA	ALTA	MEDIA
C19	MUY ALTA	BAJA	ALTA	MEDIA
C20	ALTA	BAJA	BAJA	BAJA
C21	ALTA	BAJA	ALTA	MEDIA
C22	MUY ALTA	ALTA	ALTA	ALTA
C23	MUY ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
C24	ALTA	MEDIA	ALTA	ALTA
C25	ALTA	SIN INSPECCION RIGUROSA		
C26	ALTA	SIN INSPECCION RIGUROSA		
C27	MUY ALTA	BAJA	BAJA	BAJA

Nota: Elaboración propia.

6.4.1 Parámetros esenciales para un análisis de vulnerabilidad sísmica en viviendas autoconstruidas de albañilería estructural

Existen parámetros similares entre los 3 métodos, los cuales se diferencian principalmente por la amplitud y exactitud de datos que abarcan. En la Tabla 37 se observan los 14 parámetros considerados que mejor evalúan la vulnerabilidad sísmica para la zona de estudio. Se otorga un puntaje de 0 si el parámetro no se consideró, 1 se consideró parcialmente y 2 si puede mejorarse o se consideró de manera adecuada.

Tabla 37

Parámetros esenciales para un análisis de vulnerabilidad

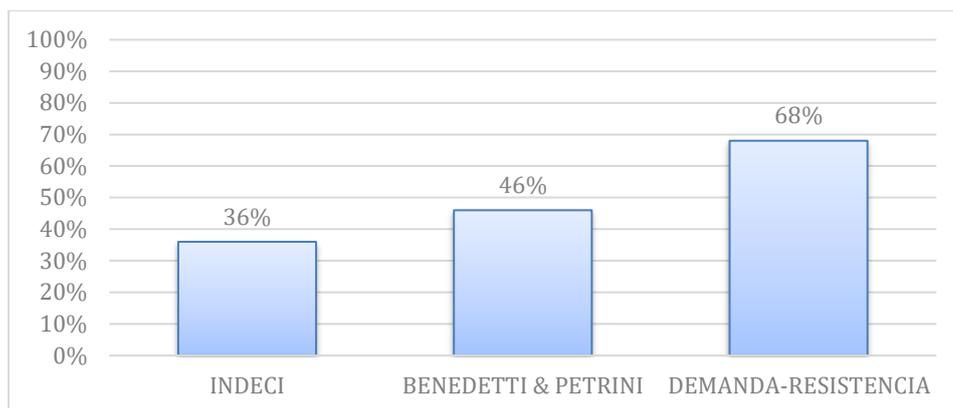
PARÁMETROS	INDECI	B & P	D - R
1. Participación de ingeniero civil	2	1	0
2. Características del material	1	1	2
3. Estado de conservación	1	2	0
4. Tipo de suelo	1	2	1
5. Topografía de la vivienda y de terrenos colindantes	1	0	0
6. Configuración en planta	1	2	2
7. Configuración en elevación	1	2	2
8. Comprobación espesor mínimo de muros	0	0	2
9. Densidad mínima de muros	1	2	2
10. Verificación de esfuerzo axial máximo	0	1	2
11. Comprobación de derivas máximas	0	0	2
12. Juntas de dilatación sísmica acordes a la estructura	1	0	0
13. Verificación de agrietamiento de muros	0	0	2
14. Resistencia al corte	0	0	2
SUMATORIA	10	13	19

Nota: Elaboración propia.

La sumatoria obtenida nos indica qué tan eficaz fue cada método según los 14 parámetros esenciales identificados. Teniendo como máximo una puntuación de 28, INDECI nos entrega un 36% de eficacia, Benedetti & Petrini un 46% y Demanda – Resistencia un 68% como se puede observar en la Figura 93.

Figura 93

Eficacia de cada método según los parámetros esenciales identificados.



Nota: Elaboración propia.

6.4.2 Evaluación metodológica respecto a la implementación de cada método

Para poder realizar esta evaluación primero definiremos los criterios de recursos y energía que utilizamos para cada método.

- Nivel de capacidad del personal: en este criterio definimos que tan capacitado debe estar el evaluador al momento de realizar las mediciones, solo necesitando una capacitación (BAJA), capacitación y experiencia en construcción (MEDIA) y necesitando además conocimientos técnicos (ALTA).
- Costo de herramientas y equipos: en este criterio definimos el costo de materiales a utilizar, solo necesitando hasta útiles de escritorio (BAJA), necesitando hasta herramientas de medición computarizadas (MEDIA) y necesitando hasta software especializado (ALTA).
- Tiempo de toma de datos: en este criterio consideramos cuánto tiempo nos demanda hacer todas las mediciones pertinentes para realizar la evaluación, solo necesitando hasta 15 minutos (BAJA), hasta 45 minutos (MEDIA) y más de 1.5 hora (ALTA).
- Tiempo de procesamiento de datos: en este criterio consideramos cuánto tiempo nos demanda analizar y obtener los resultados de todos los parámetros del método

y la vulnerabilidad de cada vivienda, solo necesitando hasta 45 minutos (BAJA), hasta 1 hora (MEDIA) y más de 4 hora (ALTA).

- Dificultad de acceso a las viviendas: En este criterio tomamos en consideración la dificultad de acceso a las viviendas que depende del permiso de los habitantes para su revisión al ingresar a sus hogares y a su ambiente personal y tomando en cuenta el criterio anterior tenemos los siguientes puntajes, Aceptación (BAJA), incomodidad (MEDIA) y total disgusto (Alta).

Definidos los criterios, evaluamos cada parámetro y obtenemos los resultados presentados en la Figura 94.

Figura 94

Cuadro de comparación de recursos y energía (metodologías) utilizados por método.

	INDECI	B & P	D - R
NIVEL DE CAPACITACION DEL PERSONAL	BAJA	BAJA	ALTA
COSTO DE HERRAMIENTAS Y EQUIPOS	BAJA	BAJA	ALTA
TIEMPO DE TOMA DE DATOS	BAJA	ALTA	MEDIA
TIEMPO PROCESAMIENTO DATOS	BAJA	BAJA	ALTA
DIFICULTAD DE ACCESO A LAS VIVIENDAS	BAJA	ALTA	ALTA
TOTAL	5	9	14

Nota: Elaboración propia.

El método de INDECI es el que requiere menor tiempo de toma de datos, así como el que menor disgusto genera al considerar la dificultad de acceso a las viviendas. El método de Benedetti y Petrini es el que, a pesar de que tiene aspectos bajos como el nivel de capacitación, costo y tiempo de procesamiento, genera mayor tiempo de toma de datos debido a que junta aspectos cualitativos y cuantitativos. Por último, el método de Demanda-Resistencia necesita de una mayor especialización en el tema, así mismo el procesamiento de datos es mayor de manera significativa a los dos métodos antes mencionados.

En conclusión, el método de Demanda-Resistencia emplea una metodología compleja en comparación al método de INDECI, siendo el método de Benedetti y Petrini un punto intermedio entre ambas.

Ahora definiremos de la misma forma criterios para evaluar el nivel de precisión que pudo tener cada método para este caso de estudio.

- Claridad de datos: En este criterio definimos el nivel de claridad de datos, es decir que tan ambiguos pueden llegar a ser estos dependiendo del evaluador, necesitando datos de medición visual (BAJA), necesitando datos visuales y a la vez herramientas de medición (MEDIA) y necesitando solo herramientas de medición (ALTA).
- Parámetros esenciales: En este criterio definimos la importancia de los parámetros que nos presenta cada método en función a los resultados de la tabla 36, teniendo una participación por debajo del 33% (BAJA), por debajo del 66% (MEDIA) y hasta un 100% (ALTA)
- Propiedades físicas de materiales de construcción: En este criterio evaluamos qué tantas propiedades físicas y mecánicas de los materiales de construcción necesita cada método, sin utilizar propiedades de los materiales (BAJA), utilizando algunas propiedades (MEDIA) y utilizando casi todas las propiedades (ALTA).
- Necesidad de personal calificado: En este criterio evaluamos el nivel de especialización del evaluador, necesitando un evaluador con ligero conocimiento de construcción (BAJA), necesitando un evaluador con conocimiento en construcción y experiencia (MEDIA) y necesitando un evaluador con grado profesional (ALTA).

Definidos los criterios, evaluamos cada parámetro y obtenemos los resultados presentados en la Figura 95.

Figura 95

Cuadro de comparación de precisión de cada método.

	INDECI	B & P	D - R
CLARIDAD DE DATOS	BAJA	MEDIA	ALTA
PARAMETROS ESCENCIALES (TABLA 37)	BAJA	MEDIA	ALTA
PROPIEDAD FISICAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCION	BAJA	MEDIA	ALTA
NECESIDAD DE PERSONAL CON EXPERIENCIA	BAJA	MEDIA	ALTA
TOTAL	4	8	12

Nota: Elaboración propia.

El método de INDECI es el que presenta un número bajo de parámetros esenciales para el análisis de vulnerabilidad, también no requiere información técnica de los materiales de construcción utilizados ni personal con una capacitación mayor. El método de Benedetti y Petrini considera un punto medio en todos los criterios y el método de Demanda-Resistencia es el que mayor precisión abarca en comparación a los dos anteriores.

Por ende, en función al análisis de ambas matrices concluimos que el método de Benedetti y Petrini modificado a la norma peruana es el más recomendable a utilizar en investigaciones que dependen del contexto geográfico y económico similares al de la zona de estudio. El método Demanda-Resistencia es el más complejo a realizar y el más preciso, mientras que el método de INDECI es más sencillo y conservador.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Se llevó a cabo un estudio de vulnerabilidad de 27 viviendas autoconstruidas mediante los métodos de INDECI, Benedetti & Petrini y Demanda-Resistencia para el caso de estudio del anexo La Real en Arequipa, Perú. Se adaptaron los formatos y se recopiló información en campo para los 3 métodos. En el método INDECI se aplicaron 12 parámetros para evaluar las viviendas, de las cuales 0% tienen vulnerabilidad baja, 4% media, 78% alta y 18% muy alta. En el método Benedetti & Petrini se aplicaron 11 parámetros para evaluar las viviendas, de las cuales 48% tienen vulnerabilidad baja, 48% media y 4% alta. En el método Demanda-Resistencia se aplicaron 5 parámetros para evaluar las viviendas, de las cuales 65% tienen vulnerabilidad baja, 4% media y 31% alta.
- Se discutió cada parámetro de cada método estudiado en esta investigación dando apreciaciones y críticas acerca de su utilidad y empleabilidad, entre las más importantes están: Para el método INDECI, los puntos desfavorables que se pudieron determinar fueron los parámetros 1 y 3, en los que aplicados a la realidad peruana se abarcan de manera imprecisa por su falta de detalle según el caso de estudio y los más destacables fueron los parámetros 2; 5 y 12 que nos permiten reconocer de una buena manera las características de la vivienda, como es el caso de la participación de un ingeniero civil; la topografía, y las juntas de dilatación sísmicas. Para el método ByP, los puntos desfavorables determinados fueron la falta de información acerca de la topografía del terreno, y lo más destacable fueron los parámetros 3 y 11 que nos dan a conocer la situación de la vivienda en cuestiones de resistencia y la incorporación del factor de suelo en el parámetro 4, relevante para el análisis sísmico. En el método de Demanda-Resistencia no se toma en consideración la participación de un ingeniero civil, la topografía del terreno ni el estado de conservación de la estructura, lo más destacado es el uso correcto de todos sus parámetros para el análisis sísmico en respuesta al espectro especificado en la norma según la zona de estudio en la cual interfiere de una manera relevante el parámetro de derivas debido a que si estos desplazamientos superan lo establecido por la norma, los elementos

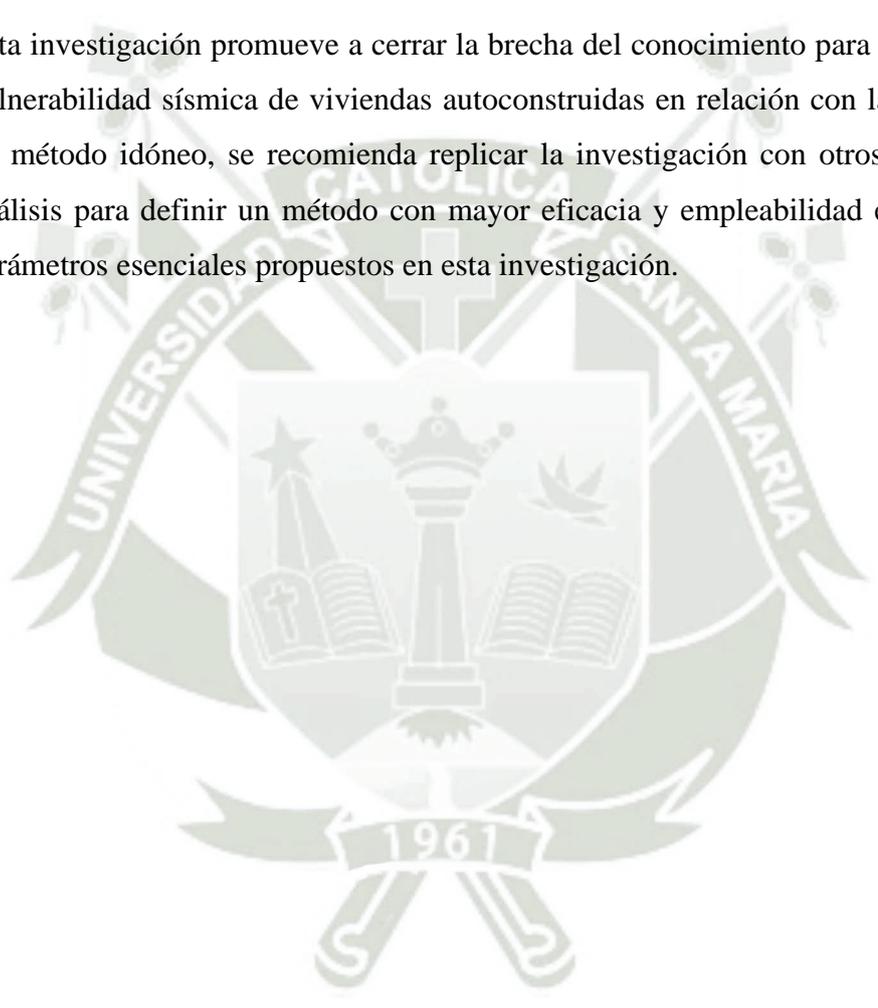
estructurales quedan irreparables. En conclusión, de los 28 parámetros de los 3 métodos se identificaron 14 parámetros esenciales que debe contener un análisis de vulnerabilidad sísmica en los cuales según el número de parámetros que incluye cada método tenemos que INDECI nos entrega un 36% de eficacia, Benedetti & Petrini un 46% y Demanda – Resistencia un 68%.

- Se realizaron 2 cuadros comparativos para evaluar las metodologías y el nivel de precisión de cada método. El cuadro comparativo de recursos y energía utilizados que evalúa los criterios de tiempo necesario para la evaluación, nivel de capacitación, dificultad de acceso, costo de herramientas y equipos, donde INDECI presenta un bajo tiempo y recursos utilizados, siendo el de Benedetti y Petrini un punto intermedio entre ambas y Demanda-Resistencia el que emplea mayores recursos.; y el cuadro comparativo de precisión que evalúa los criterios de incidencia de los parámetros esenciales, claridad de datos, propiedades físicas de materiales y necesidad de personal con experiencia, en el cual el método de Demanda-Resistencia es el que mejor se desempeña. En conclusión, se obtuvo como la mejor alternativa de análisis sísmico para una vivienda autoconstruida para caso de estudio o casos de estudio similares, el método de Benedetti & Petrini modificado a la norma peruana, debido a que nos da una precisión aceptable sin necesidad de un empleo de recursos importantes.

Recomendaciones

- Se recomienda para investigaciones futuras realizar un estudio hidrológico complementario debido al riesgo latente de deslizamientos. Con esto se podría elaborar un mapa de riesgos completo para la zona de estudio.
- Si no se cuenta con estudios previos de suelos de la zona escogida para la investigación, es necesario solicitar un informe técnico de suelos para obtener el tipo de suelo que es un factor indispensable para un correcto análisis de vulnerabilidad sísmica.

- Para un resultado más preciso en el método de Demanda-Resistencia se puede optar por ensayos destructivos y no destructivos (siendo este último de mejor aceptación por los dueños de las viviendas) para obtener una lectura real del material resistente.
- Se puede asignar con mayor precisión la puntuación de cada parámetro para la determinación de la vulnerabilidad sísmica en el método de Demanda-Resistencia a través de una validación con expertos utilizando encuestas o entrevistas.
- Esta investigación promueve a cerrar la brecha del conocimiento para el análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas en relación con la elección de un método idóneo, se recomienda replicar la investigación con otros métodos de análisis para definir un método con mayor eficacia y empleabilidad en base a los parámetros esenciales propuestos en esta investigación.



ANEXOS

Plano de ubicación

El plano de ubicación se encuentra al final del documento.



Autorización de Trabajo de Campo



MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CASTILLA
"Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo"



AUTORIZACIÓN DE TRABAJO EN CAMPO

22 de febrero del 2023

La Gerencia de Desarrollo Urbano e Infraestructura manifiesta el **CONSENTIMIENTO Y AUTORIZACIÓN** a:

Sr. Juan Raúl Escobar Martínez, Bachiller en Ingeniería Civil de la Universidad Católica Santa María, Identificado con N° de D.N.I. 72016376, domicilio en Urb. Juan el Bueno A-17. Provincia y Departamento de Arequipa.

Sr. Fernando David Iquira Torres, Bachiller en Ingeniería Civil de la Universidad Católica Santa María, Identificado con N° de D.N.I. 70652902, con domicilio ubicado en Calle Francisco Mostajo 208, Provincia y Departamento de Arequipa.

Ambos en la Condición de tesis planteando una investigación denominada: "COMPARACIÓN DE MÉTODOS PARA ANALIZAR LA VULNERABILIDAD SISMICA DE VIVIENDAS AUTOCONSTRUIDAS (BENEDETTI Y PETRINI, DEMANDA-RESISTENCIA, INDECI) – CASO DE ESTUDIO: ANEXO LA REAL, DISTRITO DE APLAO, AREQUIPA, PERÚ"

La Gerencia de Desarrollo Urbano e Infraestructura contribuye en brindar la presente autorización para la investigación de tesis que servirá para un inicio de estudios de prevención del riesgo de desastres PPRD. Con la finalidad de que Sr. Juan Raul Escobar Martínez y Fernando David Iquira Torres, tengan un acercamiento con la Población del Anexo La Real.

No obstante, la Gerencia de Desarrollo Urbano e Infraestructura en la presente autorización no obliga a los propietarios de las viviendas a permitir el ingreso por lo cual, los interesados (bachilleres y/o evaluadores) deberán tener las coordinaciones con los beneficiarios con el fin de llegar a un acuerdo para las evaluaciones pertinentes dentro de las viviendas.

Atentamente,



Sr. Juan Raúl Escobar Martínez

Sr. Fernando David Iquira Torres

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE CASTILLA

DR. MÁRCO GUTIERREZ VILLA
GERENTE DE DESARROLLO URBANO E INFRAESTRUCTURA

GERENCIA DE DESARROLLO URBANO E INFRAESTRUCTURA DE LA MPC.

Panel fotográfico

Figura 96

Visita al anexo La real - inicio de la zona de estudio.



Nota: Elaboración propia.

Figura 97

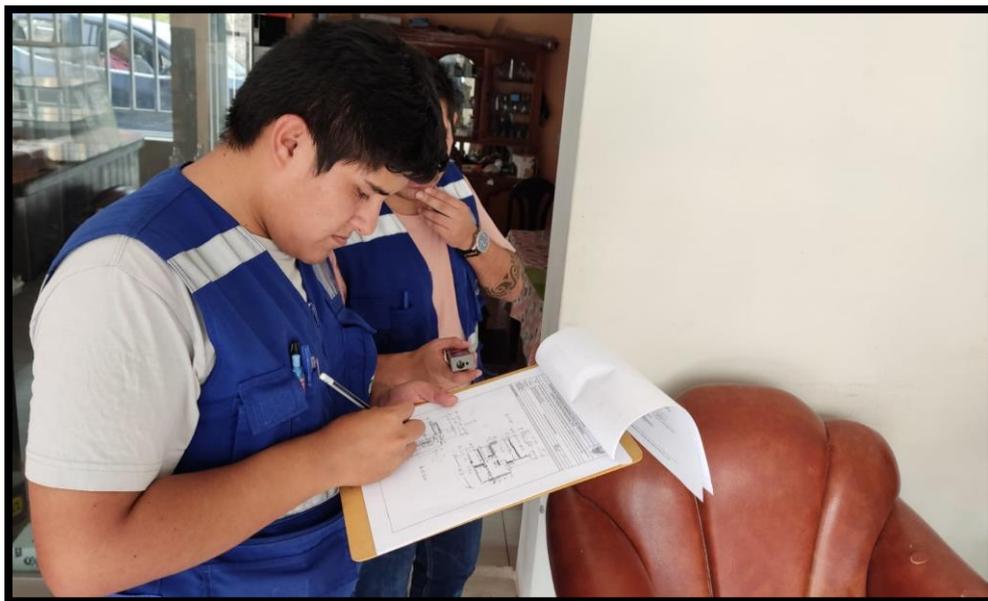
Medidor laser CROWN CT 44028 – el cual se utilizó para realizar todas las medidas de esta investigación



Nota: Elaboración propia.

Figura 98

Llenado de fichas de cada método para la vivienda C1.



Nota: Elaboración propia.

Figura 99

Toma de datos y dibujo de la configuración estructural de la vivienda C1.



Nota: Elaboración propia.

Figura 100

Dialogo con los propietarios y toma de datos de la vivienda C2.



Nota: Elaboración propia.

Figura 101

Inspección de la vivienda C2 en conjunto con los propietarios.



Nota: Elaboración propia.

Figura 102

Medición de la configuración estructural de la vivienda C2.



Nota: Elaboración propia.

Figura 103

Inspección interna de la vivienda C3.



Nota: Elaboración propia.

Figura 104

Inspección interna de la vivienda C3.



Nota: Elaboración propia.

Figura 105

Toma de datos y medición de la configuración estructural de la vivienda C10.



Nota: Elaboración propia.

Figura 106

Dialogo con los propietarios y toma de datos de la vivienda C13.



Nota: Elaboración propia.

Figura 107

Toma de datos y dibujo de la configuración estructural de la vivienda C13.



Nota: Elaboración propia.

Figura 108

Toma de datos y dibujo de la configuración estructural de la vivienda C21.



Nota: Elaboración propia.



VERIFICACIÓN DE PARÁMETROS PROCESADOS MEDIANTE ETABS

a) Verificación del esfuerzo axial máximo:

Se realizó el metrado de cargas para la vivienda C2 para hallar el valor de Pm donde:

PISO	MURO	L	t	h	PESO PROPIO	ÁREA TRIBUTARIA	CARGA GRAV.	SOBRECARGA	Pm	ESFUERZO
		m	m	m	ton/m	m ²	ton/m ²	ton/m ²	ton	ton/m ²
S1	Y1	1.9	0.15	3.8	1.03	6.73	0.55	0.20	7.00	24.55
S1	Y2	3.3	0.15	3.8	1.03	6.75	0.55	0.20	8.45	17.07
S1	Y3	1.9	0.15	3.8	1.03	6.22	0.55	0.20	6.61	23.21
S1	Y4	3.3	0.15	3.8	1.03	6.20	0.55	0.20	8.04	16.23
S2	Y1	1.9	0.15	2.6	0.70	6.73	0.40	0.20	5.37	18.85
S2	Y2	3.3	0.15	2.6	0.70	6.75	0.40	0.20	6.37	12.86
S2	Y3	1.9	0.15	2.6	0.70	6.22	0.40	0.20	5.07	17.77
S2	Y4	3.3	0.15	2.6	0.70	6.20	0.40	0.20	6.04	12.20

Obteniendo como resultado la sumatoria de los esfuerzos axiales para cada muro, comparando con los valores extraídos del software

Muro	Esfuerzo
Y1	43.399
Y2	29.929
Y3	40.983
Y4	28.429

Piso	Muro	Esfuerzo
S1	Y1	43.21
S1	Y2	29.20
S1	Y3	42.39
S1	Y4	28.69

Dando valores cercanos a los extraídos del software.

b) Derivas

Realizamos el metrado de cargas para el análisis sísmico de la vivienda C7 obteniendo el siguiente resultado:

NIVEL	hi	Hi	PESO	WxH	ALPHA	Fi
1	3.8	3.8	57.05	216.77	0.51	17.9679781
2	2.6	6.4	32.86	210.33	0.49	17.4340844
				427.11	1.00	35.4020625

Y hallamos las rigideces de los muros de albañilería en el sentido de análisis:

SENTIDO XX					
PRIMER PISO					
Muro	Em	l	h	t	k
X1	155,000.00	1.50	3.80	0.15	320.10
X2	155,000.00	2.20	3.80	0.15	901.34
X3	155,000.00	2.35	3.80	0.15	1,068.30
X4	155,000.00	3.25	3.80	0.15	2,348.13
X5	155,000.00	2.35	3.80	0.15	1,068.30
				S	5,706.17

SEGUNDO PISO					
Muro	Em	l	h	t	k
X1	110,500.00	1.50	2.60	0.15	636.75
X2	110,500.00	2.20	2.60	0.15	1,633.33
X3	110,500.00	2.35	2.60	0.15	1,897.24
X4	110,500.00	3.25	2.60	0.15	3,726.39
X5	110,500.00	2.35	2.60	0.15	1,897.24
				S	9,790.95

SENTIDO YY					
PRIMER PISO					
Muro	Em	t	h	L	k
Y1	155,000.00	0.15	3.80	3.90	3,510.38
Y2	155,000.00	0.15	3.80	3.90	3,510.38
Y3	155,000.00	0.15	3.80	3.90	3,510.38
Y4	155,000.00	0.15	3.80	1.20	170.31
Y5	155,000.00	0.15	3.80	2.10	10,701.46
Y6	155,000.00	0.15	3.80	3.60	2,953.86
				S	24,356.78

SEGUNDO PISO					
Muro	Em	t	h	L	k
Y1	110,500.00	0.15	2.60	3.90	5,203.78
Y2	110,500.00	0.15	2.60	3.90	5,203.78
Y3	110,500.00	0.15	2.60	3.90	5,203.78
Y4	110,500.00	0.15	2.60	1.20	351.28
Y5	110,500.00	0.15	2.60	2.10	15,962.61
Y6	110,500.00	0.15	2.60	3.60	4,512.01
				S	36,437.24

Hallamos las derivas en relación con el entrepiso multiplicándolo por $0.75xR$ según la normativa:

SENTIDO X					
	F	K	U	A	Deriva
S1	17.43	5,706.17	0.00306	0.00080403	0.002
S2	35.40	9,790.95	0.00362	0.00139069	0.003

SENTIDO Y					
	F	K	U	A	Deriva
S1	17.4340844	24,356.78	0.000716	0.00018836	0.0004
S2	35.4020625	36,437.24	0.000972	0.00037369	0.0008

Dando valores cercanos a los extraídos del software.

Piso	Caso	Max Drift
S2	deriv_x	0.00298
S1	deriv_x	0.00221
Piso	Caso	Max Drift
S2	deriv_y	0.000831
S1	deriv_y	0.000646

REFERENCIAS

- AIS (2001). *Manual de Construcción. Evaluación y Rehabilitación Sismo Resistente de viviendas de Mampostería*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica
- Eduardo, A., Sanchez, A. (2020). *Aplicación del método de Benedetti y Petrini para determinar la vulnerabilidad sísmica en 16 viviendas informales en el Pueblo Joven Pro Vivienda - Primera Zona - del distrito de El Agustino - Lima*. [Tesis de grado, Universidad San Martín de Porres]. Repositorio académico USMP. <https://hdl.handle.net/20.500.12727/7010>
- Barbat, H., Canas, J. & Yépes, F. (1995). *Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería*. Centre Internacional de Mètodes Numèrics en Enginyeria (CIMNE). <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2117/27297/MIS12.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Benedetti, D. & Petrini, V. (1894). *Método de Índice de vulnerabilidad*. <https://webserver2.ineter.gob.ni//sis/vulne/cali/6.6.2.7-indice-vul.htm#:~:text=De%20acuerdo%20con%20la%20escala,papel%20importante%20en%20el%20comportamiento>
- Borja, M. (2016). *Metodología de la Investigación Científica para ingenieros*.
- Cajan, N., & Falla, X. (2020). *Vulnerabilidad sísmica aplicando el método de benedetti - petrini de las edificaciones categoría c descritas en la norma e.030 de nueve sectores de la ciudad de reque, provincia de chichlayo, departamento de lambayeque*. [Tesis de grado, Universidad San Martín de Porres]. Repositorio académico USMP. <https://repositorio.usmp.edu.pe/handle/20.500.12727/7467>.
- Chalco, D. (2021). *¿Qué tan grave es el problema de la autoconstrucción en el País?* San Pablo informa. <https://ucsp.edu.pe/que-tan-grave-problema-autoconstruccion-pais/>

- Congreso Constituyente Democrático. (1993). *Constitución Política del Perú*. Jurista Editores
- El Peruano. (2021). *Ley de Desarrollo Urbano Sostenible N°31313*. Diario Oficial. El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/ley-de-desarrollo-urbano-sostenible-ley-n-31313-1976352-2/>
- El Peruano. (2021). *Decreto Supremo 012-2021-Vivienda*. Diario Oficial. El Peruano. <https://busquedas.elperuano.pe/normaslegales/decreto-supremo-que-aprueba-la-politica-nacional-de-vivienda-decreto-supremo-n-012-2021-vivienda-1972990-13/>. Diario Oficial El Peruano.
- FEMA-154 (2015) *Rapid visual screening of buildings for potential seismic hazards: A Handbook*. FEMA
- Hernández, J. (2017). *Relación entre resistencia a compresión en cilindros de concreto y los rebotes con esclerómetro digital*. INGENIARE, Año 13, No. 22, pp 59-68, <https://revistas.unilivre.edu.co/index.php/ingeniare/article/view/1342/1024>
- Hernández, R., Fernández, C. & Baptista, M. (2014). *Metodología de la Investigación*. McGraw-Hill.
- INDECI. (2010). *Manual del verificador*. Lima: Dirección Nacional de Prevención.
- INEI. (2018). *Perú: Características de las viviendas particulares y los hogares. Acceso a servicios básicos*. Lima: INEI.
- INEI. (2022). *Sistema de Información Distrital para la Gestión Pública*. <https://estadist.inei.gob.pe/map>
- Juárez, M. & Loayza, J. (2019). *Análisis y evaluación de la vulnerabilidad sísmica y estados de daño en monumentos históricos de sillar en el barrio de san lázaro – arequipa*. [Tesis de grado, Universidad Católica de Santa María]. Repositorio de la Universidad Católica de Santa María. <http://tesis.ucsm.edu.pe/repositorio/handle/UCSM/2147>

- Kosaka Masuno, R., Arias Barahona, H., Farfán Bazán, E., Armando, M., Ticona Paucara, J., & Campano Frisancho, J. (2001). *ESTUDIO GEODINÁMICO Y EVALUACION DE PELIGROS DEL VALLE DE MAJES*. Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa.
- López-Roldán, P., & Fachelli, S. (2015). *METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN SOCIAL CUANTITATIVA*. Barcelona: Universidad Autonoma de Barcelona.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2018). *N.T.E. E.030 – Diseño Sismorresistente*. Diario Oficial El Peruano.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2009). *N.T.E. E.060 – Concreto Armado*. Diario Oficial El Peruano.
- Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento (2006). *N.T.E. E.070 – Albañilería*. Diario Oficial El Peruano.
- Miranda, L., Neira, E., Torres, R., & Valdivia, R. (2014). *Perú hacia la construcción sostenible en escenarios de cambio climático*. Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento. https://cies.org.pe/sites/default/files/investigaciones/edicion_final_estudio_construccion_sostenible.pdf
- Morillas, A. (s.f.). *MUESTREO EN POBLACIONES FINITAS*. ACADEMIA: https://www.academia.edu/19088809/Muestreo_de_las_poblaciones_finitas?from=cover_page
- Novidesa. (2018). El ciclo de la vida de las edificaciones y su importancia ambiental, operativa y financiera. Revista Mundo. *HVAC&R*. <https://www.mundohvacr.com.mx/2015/12/el-ciclo-de-vida-de-las-edificaciones-y-su-importancia-ambiental-operativa-y-financiera/>
- Pinto, G. (2020). *Vulnerabilidad sísmica, de edificaciones esenciales determinados con métodos convencionales – Institución Educativa N° 40092 – José Domingo Zuzunaga, Uchumayo, Arequipa, 2020*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo].

Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo.
<https://hdl.handle.net/20.500.12692/57472>

- Polo, J. (2017). *La auto construcción y su incidencia sobre los perjuicios ocasionados a los ocupantes del Asentamiento Humano Señor de los Milagros 2da zona Collique-Lima 2017* [Tesis de maestría, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/14388>
- Presidencia del Consejo de Ministros (2021). *ARCC transfiere más de S/ 640 millones para el financiamiento de 94 intervenciones de reconstrucción. Reconstrucción con Cambios.* <https://www.rcc.gob.pe/2020/arcc-transfiere-mas-de-s-640-millones-para-el-financiamiento-de-94-intervenciones-de-reconstruccion/>
- Redacción Gestión. (2023). *En Perú el 80% de viviendas son autoconstruidas ¿cuáles son los riesgos?*. Gestion. <https://gestion.pe/peru/en-peru-el-80-de-viviendas-son-autoconstruidas-cuales-son-los-riesgos-sismos-desastres-naturales-noticia/>
- Rojas, G. (2021). *Evaluación de los métodos cualitativos de vulnerabilidad sísmica en el Colegio San Juan Bosco de la Ciudad de Puno-2021.* [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/62410>
- San Bartolomé, Á. (2005). *COMENTARIOS A LA NORMA TÉCNICA DE EDIFICACIÓN E.070 ALBAÑILERÍA INFORME FINAL (Capítulos 1 a 10).* SENCICO
- Sanchez, A., & Orlando, X. (2019). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de Vulnerabilidad (Fema p-154) y su validación mediante cálculo de distorsiones laterales.* [Tesis de grado, Universidad de ciencias aplicadas]. Repositorio académico UPC. <https://repositorioacademico.upc.edu.pe/handle/10757/626377>

- Salinas, R., & Lázares, F. (2007). *La albañilería tubular y su uso en viviendas en zonas sísmicas*. Lima: Universidad Nacional de Ingeniería.
- Tito, K. (2018). *Vulnerabilidad sísmica de viviendas autoconstruidas mediante la aplicación del modelo estático no lineal en la Av. El Parral, Comas*. [Tesis de grado, Universidad Cesar Vallejo]. Repositorio de la Universidad Cesar Vallejo. <https://hdl.handle.net/20.500.12692/19527>
- Yauri, S. (2017). *Escenario sísmico para Lima Metropolitana y Callao: Sismo 8.8Mw*. LIMA: CEPIG.



