

UNIVERSIDAD NACIONAL DE CAJAMARCA

FACULTAD DE INGENIERÍA

Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil



**“EVALUACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO UTILIZANDO EL ÍNDICE
DE VULNERABILIDAD DE BENEDETTI - PETRINI EN LAS
VIVIENDAS DE ADOBE EXISTENTES EN LA ZONA URBANA
DEL DISTRITO DE LLACANORA, CAJAMARCA”**

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE INGENIERO
CIVIL**

AUTOR:

BACH. JUAN DENIS TUCTO ASENCIO

ASESOR:

MCs. Ing. MAURO A. CENTURIÓN VARGAS

Cajamarca - Perú

2018

DEDICATORIA

A Dios por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, y darme lo necesario para seguir adelante día a día para lograr mis objetivos.

A mis padres Jose Santos y María Juana por su gran apoyo en todo momento, así también a mis hermanas, que de una u otra manera me supieron apoyar incondicionalmente día a día en este duro camino.

A mi hija Evelyn que es el motor de mi vida, a Edisa por su apoyo y ánimo que me brinda día a día para alcanzar nuevas metas, tanto profesionales como personales.

A ustedes les debo todo lo que he logrado en representación de todos los esfuerzos realizados durante la carrera, a mis queridos maestros, mis amigos de la facultad y administrativos de la universidad.

AGRADECIMIENTO

Agradecimiento a la Escuela Académico Profesional de Ingeniería Civil por las enseñanzas y conocimientos impartidos.

A mi asesor, MCs. Ing. Mauro Centurión Vargas, por su orientación en la elaboración de la presente tesis de investigación.

Agradezco infinitamente a mis padres, que han sido mi fuente de inspiración y fuerzas para lograr cada meta propuesta; nunca desmayaré en tratar de hacerlos sentir cada vez más orgullosos.

A la compañera de mi vida gracias por siempre estar ahí para mí, por tu constante apoyo y entrega, sin ti no habría sido posible.

A todos ellos les expreso mi agradecimiento y que Dios los ilumine siempre...

ÍNDICE GENERAL

| | |
|---|-----------|
| DEDICATORIA | II |
| AGRADECIMIENTO | III |
| RESUMEN | IX |
| ABSTRACT | X |
| 1. CAPÍTULO I | 1 |
| 1.1. INTRODUCCIÓN | 1 |
| 1.2. PROBLEMA | 2 |
| 1.3. HIPÓTESIS | 2 |
| 1.4. JUSTIFICACIÓN | 3 |
| 1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN | 4 |
| 1.6. LIMITACIONES | 4 |
| 1.7. ALCANCES | 5 |
| 1.8. OBJETIVOS | 5 |
| 1.9.1. OBJETIVO GENERAL | 5 |
| 1.9.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 5 |
| 1.9. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO | 6 |
| 2. CAPÍTULO II | 7 |
| 2.1. ANTECEDENTES | 7 |
| 2.2. BASES TEÓRICAS | 9 |
| 2.2.1. SISMICIDAD EN EL PERÚ | 9 |
| 2.2.2. SISMICIDAD EN CAJAMARCA | 10 |
| 2.2.3. RIESGO SÍSMICO (R) | 11 |
| 2.2.3.1. METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL RIESGO SÍSMICO | 12 |
| 2.2.3.2. MÉTODOS ANALÍTICOS | 12 |
| 2.2.3.3. MÉTODOS CUALITATIVOS | 12 |
| 2.2.4. VULNERABILIDAD SÍSMICA (V) | 13 |
| 2.2.4.1. CLASES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA | 13 |
| 2.2.4.2. METODOLOGÍA ELEGIDA | 15 |
| 2.2.4.3. METODOLOGÍA DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI Y PETRINI, 1982) | 15 |
| 2.2.5. PELIGRO SÍSMICO (P) | 19 |
| 2.2.6. COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES | 19 |
| 2.2.6.1. ADOBE | 19 |
| 2.2.6.2. SISTEMAS CONSTRUCTIVO TRADICIONAL EN ADOBE | 21 |
| 2.2.6.3. CRITERIOS DE CONFIGURACIÓN DE LAS EDIFICACIONES DE TIERRA REFORZADA | 21 |
| 2.2.6.4. CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS HORIZONTALES | 23 |
| 2.2.6.5. SISTEMA ESTRUCTURAL PARA EDIFICACIONES DE TIERRA REFORZADA | 25 |
| 2.2.7. CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES | 29 |
| 2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS | 30 |
| 3. CAPÍTULO III | 33 |
| 3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA | 33 |
| 3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN | 33 |
| 3.3. PROCEDIMIENTO | 34 |
| 3.3.1. POBLACIÓN | 34 |
| 3.3.2. MUESTRA | 34 |
| 3.3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN | 35 |
| 3.3.3.1. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN | 35 |
| 3.3.3.2. INSTRUMENTOS PARA LA INVESTIGACIÓN | 35 |
| 3.3.4. METODOLOGÍA | 36 |

| | |
|--|-----------|
| 3.3.4.1. METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL RIESGO SÍSMICO | 36 |
| 3.3.4.2. METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL PELIGRO SÍSMICO SEGÚN LA CONDICIÓN DE PARÁMETROS. | 37 |
| 3.3.4.3. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD | 41 |
| 3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN | 52 |
| 3.4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN: | 52 |
| 3.4.1.1. DETERMINACIÓN DE SITUACIÓN ACTUAL Y ENCUESTA | 52 |
| 3.4.2. FORMULACIÓN DE LA TIPOLOGÍA REPRESENTATIVA | 53 |
| 3.4.3. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL | 53 |
| 3.5. LINEAMIENTOS DE INTERVENCIÓN | 54 |
| 3.6. TIPO DE ANÁLISIS | 54 |
| 3.7. PROCESAMIENTO DE DATOS | 54 |
| 3.8. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS | 54 |
| 4. CAPITULO IV | 55 |
| 4.1. DESCRIPCIÓN. | 55 |
| 4.2. NIVEL DE PELIGRO SÍSMICO | 55 |
| 4.3. NIVEL DE VULNERABILIDAD | 57 |
| 4.3.1. RESULTADOS DE LOS 11 PARÁMETROS POR CLASE. | 57 |
| 4.3.1.1. PARÁMETRO 1 - Organización del sistema resistente. | 57 |
| 4.3.1.2. PARÁMETRO 2 – Calidad del sistema resistente. | 59 |
| 4.3.1.3. PARÁMETRO 3 – Resistencia convencional. | 62 |
| 4.3.1.4. PARÁMETRO 4 – Posición del edificio y cimentación. | 63 |
| 4.3.1.5. PARÁMETRO 5 – Diafragma horizontales. | 64 |
| 4.3.1.6. PARÁMETRO 6 – Configuración en planta. | 65 |
| 4.3.1.7. PARÁMETRO 7 – Configuración en elevación. | 67 |
| 4.3.1.8. PARÁMETRO 8 – Distancia máxima entre los muros. | 69 |
| 4.3.1.9. PARÁMETRO 9 – Tipo de cubierta. | 70 |
| 4.3.1.10. PARÁMETRO 10 – Elementos no estructurales. | 72 |
| 4.3.1.11. PARÁMETRO 11 – Estado de conservación. | 73 |
| 4.3.2. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (Iv). | 74 |
| 4.4. NIVEL DE RIESGO SÍSMICO | 77 |
| 5. CAPÍTULO V | 79 |
| 5.1. NIVEL DE PELIGRO SÍSMICO | 79 |
| 5.2. NIVEL DE VULNERABILIDAD | 80 |
| 5.2.1. RESULTADOS DE LOS 11 PARÁMETROS POR CLASE. | 80 |
| 5.2.1.1. PARÁMETRO 1 - Organización del sistema resistente. | 80 |
| 5.2.1.2. PARÁMETRO 2 – Calidad del sistema resistente. | 81 |
| 5.2.1.3. PARÁMETRO 3 – Resistencia convencional. | 82 |
| 5.2.1.4. PARÁMETRO 4 – Posición del edificio y cimentación. | 83 |
| 5.2.1.5. PARÁMETRO 5 – Diafragma horizontales. | 84 |
| 5.2.1.6. PARÁMETRO 6 – Configuración en planta. | 85 |
| 5.2.1.7. PARÁMETRO 7 – Configuración en elevación. | 86 |
| 5.2.1.8. PARÁMETRO 8 – Distancia máxima entre los muros. | 87 |
| 5.2.1.9. PARÁMETRO 9 – Tipo de cubierta. | 88 |
| 5.2.1.10. PARÁMETRO 10 – Elementos no estructurales. | 89 |
| 5.2.1.11. PARÁMETRO 11 – Estado de conservación. | 90 |
| 5.2.2. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (Iv). | 91 |
| 5.3. NIVEL DE RIESGO SÍSMICO | 92 |
| 6. CAPÍTULO VI | 93 |
| 6.1. CONCLUSIONES | 93 |
| 6.2. RECOMENDACIONES. | 93 |
| 7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS. | 94 |
| 8. ANEXOS. | 96 |

ÍNDICE DE TABLAS

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

| | |
|---|----|
| TABLA 2.1. ESCALA DE VULNERABILIDAD BENEDETTI-PETRINI PARA EDIFICACIONES DE ADOBE Y ALBAÑILERÍA | 16 |
| TABLA 2.2. COMPARACIÓN ENTRE EL REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES Y LOS PARÁMETROS PROPUESTOS POR EL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD. | 18 |
| TABLA 2.3. FACTOR DE SUELO (S). | 24 |
| TABLA 2.4. FACTOR DE USO (U) Y DENSIDAD SEGÚN TIPO DE EDIFICACIÓN. | 24 |
| TABLA 2.5. COEFICIENTE SÍSMICO POR ZONA SÍSMICA PARA EDIFICACIONES DE TIERRA REFORZADA. . | 24 |

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| TABLA 3.1. CALIFICACIÓN Y NIVEL DE RIESGO SÍSMICO..... | 36 |
| TABLA 3.2. VALORES DE LAS VARIABLES PARA CUANTIFICAR EL PELIGRO SÍSMICO..... | 37 |
| TABLA 3.3. RANGO DE VALORES DE LAS VARIABLES PARA CUANTIFICAR EL PELIGRO SÍSMICO..... | 38 |
| TABLA 3.4. CALIFICACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO..... | 39 |
| TABLA 3.5. CALIFICACIÓN DE ZONAS SÍSMICAS..... | 39 |
| TABLA 3.6. VALORES RECOMENDADOS DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO PARA MAMPOSTERÍA DE EDIFICIOS HISTÓRICOS. | 43 |
| TABLA 3.7. VALORES RECOMENDADOS DE ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO PARA PANELES DE MAMPOSTERÍA. | 44 |
| TABLA 3.8. DIAFRAGMAS TIPO, UTILIZADO PARA EL CÁLCULO DE COEFICIENTE. | 45 |

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

| | |
|--|----|
| TABLA 4.1. ASIGNACIÓN DE VALORES PARA LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO..... | 55 |
| TABLA 4.2. NIVEL DEL PELIGRO SEGÚN CONDICIONES..... | 56 |
| TABLA 4.3. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 1 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADAS (PRIMERAS 50 VIVIENDAS). | 58 |
| TABLA 4.4. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 2 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADAS (PRIMERAS 50 VIVIENDAS). | 60 |
| TABLA 4.5. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 3 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADAS (PRIMERAS 35 VIVIENDAS). | 62 |
| TABLA 4.6. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 4 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADAS..... | 63 |
| TABLA 4.7. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 5 EDIFICACIONES EVALUADAS (PRIMERAS 20 VIVIENDAS). 64 | |
| TABLA 4.8. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 6 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADOS (PRIMERAS 40 VIVIENDAS). | 66 |
| TABLA 4.9. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 7 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADAS (PRIMERAS 50 VIVIENDAS). | 68 |
| TABLA 4.10. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 8 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADAS (PRIMERAS 20 VIVIENDAS). | 69 |
| TABLA 4.11. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 9 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADAS (PRIMERAS 50 VIVIENDAS). | 71 |

| | |
|--|----|
| TABLA 4.12. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 10 (PRIMERAS 20 VIVIENDAS). | 72 |
| TABLA 4.13. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 11 PARA LAS EDIFICACIONES EVALUADAS..... | 73 |
| TABLA 4.14. RESULTADOS DEL IV POR VIVIENDA PARA CADA PARÁMETRO Y ASIGNACIÓN DE VALOR SEGÚN CLASE. | 74 |
| TABLA 4.15. RESULTADOS DEL IV POR VIVIENDA CON PORCENTAJE PARA ASIGNACIÓN DE VULNERABILIDAD..... | 76 |
| TABLA 4.16. RESULTADOS DEL NIVEL DE RIESGO SÍSMICO PARA CADA VIVIENDA EVALUADA..... | 77 |

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| TABLA 5.1. RESULTADOS DE LA EVALUACIÓN DEL PELIGRO SÍSMICO EN PORCENTAJE..... | 79 |
| TABLA 5.2. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 1 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 80 |
| TABLA 5.3. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 2 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 81 |
| TABLA 5.4. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 3 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 82 |
| TABLA 5.5. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 4 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 83 |
| TABLA 5.6. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 5 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 84 |
| TABLA 5.7. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 6 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 85 |
| TABLA 5.8. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 7 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 86 |
| TABLA 5.9. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 8 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 87 |
| TABLA 5.10. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 9 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 88 |
| TABLA 5.11. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 10 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 89 |
| TABLA 5.12. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 11 EN CANTIDAD Y PORCENTAJE SEGÚN CLASE. | 90 |
| TABLA 5.13. RESULTADOS DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD EN CANTIDAD Y PORCENTAJE..... | 91 |
| TABLA 5.14. RESULTADOS DEL NIVEL DE RIESGO SÍSMICO EN CANTIDAD Y PORCENTAJE..... | 92 |

ÍNDICE DE FIGURAS

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN

| | |
|--|---|
| FIGURA 1.1: MATERIAL PREDOMINANTE EN LAS PAREDES EXTERIORES DE LA VIVIENDA. | 4 |
|--|---|

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO

| | |
|---|----|
| FIGURA 2.1: ZONAS SÍSMICAS DEL PERÚ. | 9 |
| FIGURA 2.2: MAPA DE SÍSMICO DE LA REGIÓN CAJAMARCA. | 10 |
| FIGURA 2.3: MAPA GEOMORFOLÓGICO DE LA CIUDAD DE LLACANORA. | 11 |
| FIGURA 2.4: LÍMITES GEOMÉTRICOS DE MUROS Y VANOS. | 22 |
| FIGURA 2.5: EJEMPLO ESQUEMÁTICO DE UN TIPO DE VIGA COLLAR. | 23 |
| FIGURA 2.6. ESQUEMA DE CIMENTACIÓN. | 26 |
| FIGURA 2.7. MURO LATERAL NO PORTANTE. | 27 |
| FIGURA 2.8. VANOS DE PUERTAS MUY GRANDES Y MAL UBICADOS. | 28 |
| FIGURA 2.9. VIVIENDA CON VIGA COLLAR. | 28 |
| FIGURA 2.10. VIVIENDA CON CONTRAFUERTE. | 29 |
| FIGURA 2.11. VIVIENDA CON ANTIGÜEDAD DE MÁS DE 50 AÑOS. | 29 |

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS

| | |
|---|----|
| FIGURA 3.1. FORMAS ORIGINALES EN PLANTA CONSIDERADAS EN LA METODOLOGÍA DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD. | 48 |
| FIGURA 3.2. CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN. | 49 |

CAPÍTULO IV: RESULTADOS

| | |
|--|----|
| FIGURA 4.1. EDIFICACIÓN DE ADOBE SIN ARRIOSTRAMIENTO HORIZONTAL Y VERTICAL. | 59 |
| FIGURA 4.2. MAMPOSTERÍA DE ADOBE HOMOGÉNEO Y DE REGULAR CALIDAD. | 61 |
| FIGURA 4.3. CONSTRUCCIONES ANTIGUAS Y DE BAJA CALIDAD. | 61 |
| FIGURA 4.4. PRESENCIA DE HUMEDAD EN EL SOBRECIMIENTO Y MUROS. | 64 |
| FIGURA 4.5. TECHO COMPUESTO DE CAÑA Y VIGAS DE MADERA EN ESTADO DEFLECTADO. | 65 |
| FIGURA 4.6. VIVIENDA CON IRREGULARIDAD EN PLANTA. | 67 |
| FIGURA 4.7. EDIFICACIÓN DE ADOBE CON EXCESIVA SEPARACIÓN DE MUROS. | 70 |
| FIGURA 4.8. VIVIENDAS EN MAL Y BUEN ESTADO DE CONSERVACIÓN. | 74 |

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS

| | |
|---|----|
| FIGURA 5.1. NIVEL DE PELIGRO SÍSMICO EN PORCENTAJE. | 79 |
| FIGURA 5.2. RESULTADOS DEL PARÁMETRO 1 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 80 |
| FIGURA 5.3. RESULTADOS PARÁMETRO 2 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 81 |
| FIGURA 5.4. RESULTADOS PARÁMETRO 3 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 82 |
| FIGURA 5.5. RESULTADOS PARÁMETRO 4 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 83 |
| FIGURA 5.6. RESULTADOS PARÁMETRO 5 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 84 |
| FIGURA 5.7. RESULTADOS PARÁMETRO 6 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 85 |
| FIGURA 5.8. RESULTADOS PARÁMETRO 7 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 86 |
| FIGURA 5.9. RESULTADOS PARÁMETRO 8 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 87 |
| FIGURA 5.10. RESULTADOS PARÁMETRO 9 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 88 |
| FIGURA 5.11. RESULTADOS PARÁMETRO 10 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 89 |
| FIGURA 5.12. RESULTADOS PARÁMETRO 11 SEGÚN CLASE EN PORCENTAJE. | 90 |
| FIGURA 5.13. RESULTADOS DEL NIVEL DE VULNERABILIDAD EN PORCENTAJE. | 91 |
| FIGURA 5.14. RESULTADOS DEL NIVEL DE RIESGO SÍSMICO EN PORCENTAJE. | 92 |

RESUMEN

Para el desarrollo de esta investigación se contó con una población de 137 viviendas existentes con el material Adobe, predominante en sus paredes según datos del INEI – Censos 2007, la población estudiada pertenece a los 7 barrios de la zona urbana, con los datos preliminares se selecciona una muestra específica de 56 viviendas mediante el muestreo aleatorio simple, esta muestra permitió conocer las características constructivas de las viviendas en la cual se logró representar la tipología Adobe, eligiéndolas según el estado de conservación y la ubicación según topografía.

La investigación tiene como objetivo principal “Evaluar y determinar el Nivel de Riesgo Sísmico en las Viviendas de Adobe Existentes en la Zona Urbana del Distrito de Llacanora, Cajamarca”, aplicando la metodología del Índice de Vulnerabilidad propuesta por Benedetti y Petrini.

La investigación fue realizada de forma que puede ser aplicado especialmente a zonas donde no se cuenta con información de daños sísmicos reales. El método se basa en la identificación de las características más relevantes e influyentes en el daño que sufrirá una edificación de adobe bajo la acción de un sismo. La valoración de estas características se realizó mediante la determinación de once parámetros, a los cuales se les asignó un grado de vulnerabilidad y un valor de importancia según el método propuesto por Benedetti y Petrini.

Finalmente se determinó que el Nivel de Riesgo Sísmico de las viviendas de adobe existentes es **ALTO**, debido a su Nivel de Vulnerabilidad Sísmica Alto y Nivel de Peligro Sísmico Medio.

Palabras Clave: Riesgo Sísmico, Vulnerabilidad Sísmica, Peligro Sísmico, Índice de Vulnerabilidad, Benedetti-Petrini.

ABSTRACT

For the development of this research we had a population of 137 existing dwellings with Adobe material, predominantly on their walls according to INEI - Census 2007, the population studied belongs to the 7 neighborhoods of the urban area, with preliminary data is selected a specific sample of 56 dwellings by simple random sampling, this sample allowed to know the constructive characteristics of the dwellings in which it was possible to represent the typology Adobe, choosing them according to the state of conservation and location according to topography.

The main objective of this research is to "Evaluate and determine the Level of Seismic Risk in Existing Adobe dwellings in the Urban Zone of the District of Llacanora, Cajamarca", applying the Vulnerability Index methodology proposed by Benedetti and Petrini.

The research was carried out in such a way that it can be applied especially to areas where there is no information on real seismic damage. The method is based on the identification of the most relevant and influential characteristics in the damage that an adobe building will suffer under the action of an earthquake. The assessment of these characteristics was carried out by determining eleven parameters, which were assigned a degree of vulnerability and a value of importance according to the method proposed by Benedetti and Petrini.

It was determined that the Seismic Risk Level of existing adobe dwellings is HIGH, due to their High Seismic Vulnerability Level and High Seismic Hazard Level.

Keywords: Seismic Risk, Seismic Vulnerability, Seismic Hazard, Vulnerability Index, Benedetti-Petrini.

1. CAPÍTULO I

INTRODUCCIÓN

1.1. INTRODUCCIÓN

El Perú se caracteriza por presentar cuatro zonas sísmicas, donde cada una de estas presenta un coeficiente sísmico variable de acuerdo a la zona, Cajamarca y en especial el Distrito de Llacanora que es la base del presente trabajo está ubicado dentro de la zona 3 (NTE 030, 2016), zona que presenta alto grado de sismicidad del Perú, y que además el material predominante en la mayoría de las viviendas de la zona urbana es la tipología adobe, la cual las hace vulnerables, estando expuestas a un riesgo sísmico, y a todo esto se le suma la falta de criterios técnicos para la buena construcción de este tipo de viviendas.

En las zonas urbanas como es el caso del Distrito de Llacanora no existe un adecuado control en las construcciones de viviendas, en lo que se refiere a normas constructivas de diseño sísmico, además no se han llevado a cabo ningún estudio que permita determinar el grado de vulnerabilidad de las viviendas frente a un desastre natural.

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica en esta zona mediante el método del Índice de Vulnerabilidad permitirá conocer el grado de susceptibilidad de las viviendas, además servirá como base para realizar estudios similares, permitiendo implementar la toma de decisiones que lleven a una mayor seguridad en las viviendas construidas a base de mampostería de adobe.

El desarrollo del presente trabajo se ha realizado en dos etapas, la primera consistió en los trabajos netamente de campo, consistente en la recolección de datos mediante una evaluación a cada una de las viviendas mediante las fichas de evaluación de vulnerabilidad sísmica, que fue tomado como base de trabajos similares, en la que toma como base la reglamentación de la Norma técnica E.080.

La segunda etapa está referido a trabajos de gabinete, en la que los datos recopilados en la primera etapa fueron procesados para así determinar el grado de vulnerabilidad de las viviendas.

El objetivo de los estudios de vulnerabilidad es determinar el daño esperado en una estructura, en un grupo de estructuras o en toda una zona urbana, suponiendo que llegue a ocurrir un sismo de determinadas características. Una vez conocido el daño esperado, se pueden buscar soluciones para reducirlo, con lo cual se lograría disminuir en gran medida las pérdidas que ocasionase un futuro terremoto.

Por este motivo, los estudios de vulnerabilidad sísmica constituyen, conjuntamente con los estudios de peligrosidad, uno de los factores determinantes del riesgo sísmico específico, el cual representa la probabilidad total de que una estructura sufra varios niveles de daño durante un periodo específico de tiempo.

Más importante aún resulta ser el hecho de que, debido a los importantes movimientos sísmicos ocurridos en los últimos años, es una necesidad imperiosa mitigar los efectos de estos fenómenos, lo cual hace posible que los estudios sobre vulnerabilidad sísmica ocupen uno de los primeros lugares de atención de los investigadores en todo el mundo.

1.2. PROBLEMA

¿Cuál es el nivel de Riesgo sísmico utilizando el índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini en las viviendas de adobe existentes en la zona urbana del distrito de Llacanora?

1.3. HIPÓTESIS

El Nivel de riesgo sísmico utilizando el índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini en las viviendas de adobe existentes en la zona urbana del distrito de Llacanora es alto.

1.4. JUSTIFICACIÓN

El Perú está localizado dentro de una de las zonas sísmicas más activas del planeta, pues se encuentra en el Cinturón Circumpacífico. El emplazamiento tectónico del Perú es complejo pues en su territorio converge la placa de Nazca y la placa Sudamericana, debido a ello algunas zonas del país son afectadas por una serie de movimientos sísmicos.

Las nuevas tendencias en ingeniería sísmica, reconocen la necesidad de evaluar el riesgo sísmico en los centros urbanos. De hecho, es aquí donde se concentra la mayor parte de la población mundial, la infraestructura y los servicios.

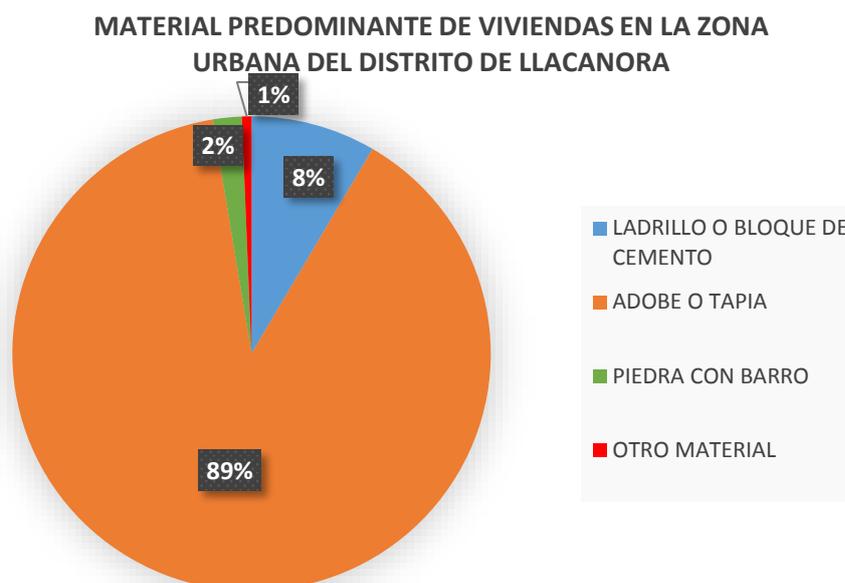
Trabajos realizados anteriormente demuestran que una estimación de escenarios de daño sísmico puede ser suficiente para identificar los principales factores que contribuyen al riesgo sísmico. A partir de estos escenarios es posible identificar los sistemas estructurales con un desempeño deficiente, y por tanto realizar estudios más detallados que permitan aplicar técnicas de reforzamiento con el fin de garantizar su buen desempeño.

El riesgo sísmico debe ser evaluado para luego gestionar políticas de inversión, rehabilitaciones y reforzamientos que minimicen las pérdidas humanas, sociales y económicas; es decir con el presente estudio las autoridades competentes pueden tomar la decisión política de gestionar el riesgo de una manera prudente y adecuada.

La ciudad de Llacanora a pesar de estar ubicada en una zona de sismicidad III, se caracteriza por albergar edificaciones en su mayoría de adobe y tapial, lo que incrementa el riesgo sísmico debido a una alta vulnerabilidad de las mismas, pudiendo generar cuantiosos daños materiales y pérdida de vidas humanas.

La finalidad del trabajo es evaluar el riesgo sísmico en la zona urbana de la ciudad de Llacanora, en particular de las edificaciones de adobe existentes, por tratarse de una zona comercial y turística, con el fin de establecer niveles de vulnerabilidad sísmica y estimar los posibles daños en las edificaciones debido a los movimientos sísmicos esperados en la zona.

Figura 1.1: Material predominante en las paredes exteriores de la vivienda.



Fuente: Censo INEI 2007.

1.5. DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN

La investigación se desarrolló en la zona urbana de la ciudad de Llacanora, Distrito Llacanora, Provincia de Cajamarca.

El tiempo en que se realizó la investigación fue desde el mes de Marzo al mes de Junio (04 meses) del año 2018 para aprovechar las condiciones de humedad generadas por el tiempo climático (lluvias).

1.6. LIMITACIONES

La colaboración del propietario de la edificación en brindar la información acertada y las facilidades para inspeccionar la edificación interna y externamente, ya que es probable que durante los días programados para aplicar las encuestas (Ficha INDECI) en campo, los habitantes de la zona urbana de Llacanora no se encuentren en sus hogares por motivos de trabajos u otros ajenos a la voluntad del investigador.

A Pesar de estas limitaciones se pudo realizar la investigación ya que se tiene 137 viviendas y para nuestra muestra solo es necesario 56, según el muestreo aleatorio simple.

1.7. ALCANCES

Es importante anotar que en nuestro país, y en general en todo el mundo, no existe una metodología específica para realizar estudios de vulnerabilidad. Esto se debe en gran parte a que las fuentes sísmicas de cada zona en el planeta son particulares, a que las tipologías estructurales varían de una cultura a otra, y primordialmente, a que incluso con toda la tecnología con la que cuenta el ser humano, el tiempo que se lleva registrando daños ocurridos en edificaciones en todo el mundo debido a eventos sísmicos no es lo suficientemente amplio para aplicar la tradicional filosofía de "teoría y experimentación".

Así mismo, se debe tener presente que para mejorar la metodología se deben visitar las viviendas estudiadas después de que cada fenómeno sísmico ocurra en la ciudad, por muy pequeño que este sea; con la finalidad de observar cómo las viviendas responden ante tales eventos y de qué manera la calificación inicial de vulnerabilidad de la estructura se va modificando.

1.8. OBJETIVOS

1.9.1. OBJETIVO GENERAL

- Determinar el nivel de riesgo sísmico utilizando el índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini en las viviendas de adobe existentes en la zona urbana del distrito de Llacanora.

1.9.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Determinar la vulnerabilidad sísmica utilizando el índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini en las viviendas de adobe existentes en la zona urbana del distrito de Llacanora.
- Determinar el peligro sísmico utilizando el índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini en las viviendas de adobe existentes en la zona urbana del distrito de Llacanora.

1.9. ORGANIZACIÓN DEL TRABAJO

CAPÍTULO I: INTRODUCCIÓN. Contiene el Contexto y el Problema (Pregunta Principal e Hipótesis), la definición de Variables, la Justificación, la Delimitación de la Investigación, las Limitaciones, los Alcances de la Investigación y sus Objetivos.

CAPÍTULO II: MARCO TEÓRICO. Contiene Antecedentes Teóricos de la Investigación, Bases Teóricas y Definición de Términos Básicos.

CAPÍTULO III: MATERIALES Y MÉTODOS. Describe el procedimiento, el Tratamiento y Análisis de Datos.

CAPÍTULO IV: RESULTADOS. Presenta en forma detallada los Resultados obtenidos de la investigación.

CAPÍTULO V: ANÁLISIS DE RESULTADOS. Describe y explica los resultados de la investigación.

CAPÍTULO VI: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

ANEXOS.

2. CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. ANTECEDENTES

- **Ruiz S, Vidal S y Aranda C. (2010).** Presentaron un estudio titulado “Estudio de la vulnerabilidad sísmica del centro histórico de Tapachula, Chiapas, con el método del índice de vulnerabilidad”, el cual tuvo como objetivo evaluar el grado de vulnerabilidad sísmica de una muestra representativa en la ciudad de Tapachula. Los resultados indican que la mayoría de las edificaciones (83.2%) son de vulnerabilidad alta.

Las edificaciones con vulnerabilidad A, muy alta, (9 %) son todas las de muros de adobe (material de alta fragilidad) y también muchas de ladrillo y alguna de bloques de concreto, por su antigüedad (>35 años), presentan daños por eventos sísmicos pasados.

- **Caballero (2007)** en su tesis de maestría “Determinación de la vulnerabilidad sísmica por medio del método de índice de vulnerabilidad en las estructuras ubicadas en el centro histórico de Sincelejo, utilizando la tecnología del sistema de información geográfica - Colombia”, determinó la Vulnerabilidad sísmica del Centro de Sincelejo y sus alrededores, donde determinaron los Índices de Vulnerabilidad Sísmica para las 28 Edificaciones en mampostería no estructural y 42 estructuras en hormigón armado, resultando un 13.32% para un Iv Bajo, de 18.68% para un Iv medio y del 68.01% para un Iv Alto. Además concluye que; el método de Índice de Vulnerabilidad es un procedimiento adecuado para una evaluación cualitativa y rápida de la vulnerabilidad de las estructuras, la metodología elaborada para la construcción de la base de datos, puede ser utilizada para la determinación de Índices relacionados con otros riesgos.
- **Tinoco (2014)** en su tesis “Determinación del grado de vulnerabilidad sísmica por medio del método de índice de vulnerabilidad en las viviendas construidas con adobe en el caserío de Hornuyoc - provincia de Carhuaz”, determinó el Grado de Vulnerabilidad Sísmica para las 81 viviendas construidas a base de mampostería de adobe en el Caserío de Homuyoc,

utilizando para ello el método Italiano desarrollado por Benedetti y V. Petrini (1982). Los resultados finales nos muestran que existe: 11 vivienda con un Índice de Vulnerabilidad media, la cual corresponde el 13.58% del total y 70 viviendas con un Índice de Vulnerabilidad Alta, la cual corresponde el 86.42%, por lo que las viviendas de este Caserío son muy vulnerables ante la eventual ocurrencia de un sismo.

- **Manfuñay & Santisteban (2015)**, en su tesis “Vulnerabilidad sísmica en el distrito de ciudad Eten aplicando índices de vulnerabilidad (Benedetti – Petrini)”, realizaron un estudio de la Vulnerabilidad Sísmica de la Infraestructura construida con las tipologías adobe, albañilería y concreto armado en la ciudad de Eten - Lambayeque, en donde determinaron que los Índices de vulnerabilidad de las diferentes infraestructuras construidas, resultando un 97.19% para un lv Alta, la cual indica que casi el 100% de las viviendas son más probables a sufrir una falla total ante un acontecimiento sísmico.
- **Alvarez (2015)** en su tesis " Vulnerabilidad sísmica de viviendas de adobe del C.P. La Huaraclla, Jesús, Cajamarca”, Para recolectar la información se seleccionaron 13 viviendas en el C.P, La Huaraclla, que se eligieron por sus características morfológicas. La información de campo se recolectó en fichas de reporte, en las que se recopiló datos de ubicación, proceso constructivo, estructuración, y calidad de la construcción, la vulnerabilidad de las 13 viviendas encuestadas en el C.P. La Huaraclla, es media con un 54%, sólo un 23% tiene baja vulnerabilidad, y un 23% tiene alta vulnerabilidad.
- **Vera (2014)**, en su tesis “Riesgo sísmico de las viviendas de albañilería confinada del barrio el estanco, Cajamarca”, empleó la metodología propuesta por Mosqueira y Tarque (2005) para determinar la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico de las viviendas de albañilería confinada del Barrio El Estanco de la ciudad de Cajamarca. La conclusión de la investigación fue que el 53.33% de las viviendas evaluadas tienen un nivel de riesgo sísmico alto.

2.2. BASES TEÓRICAS

2.2.1. SISMICIDAD EN EL PERÚ

El borde occidental de América del Sur se caracteriza por ser una de las regiones sísmicamente más activas en el mundo. El Perú forma parte de esta región y su actividad sísmica más importante está asociada al proceso de subducción de la placa oceánica bajo la placa continental, generando terremotos de magnitud elevada con relativa frecuencia. Un segundo tipo de actividad sísmica está producida por las deformaciones corticales presentes a lo largo de la Cordillera Andina, con terremotos menores en magnitud y frecuencia (Tavera y Buforn, 1998).

Es así que, en base a la distribución espacial de la sismicidad observada, las características generales de los movimientos sísmicos y la atenuación de éstos con la distancia epicentral, así como la información neotectónica, el Perú está dividido en cuatro zonas sísmicas (Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”, 2016).

Figura 2.1: Zonas Sísmicas del Perú.

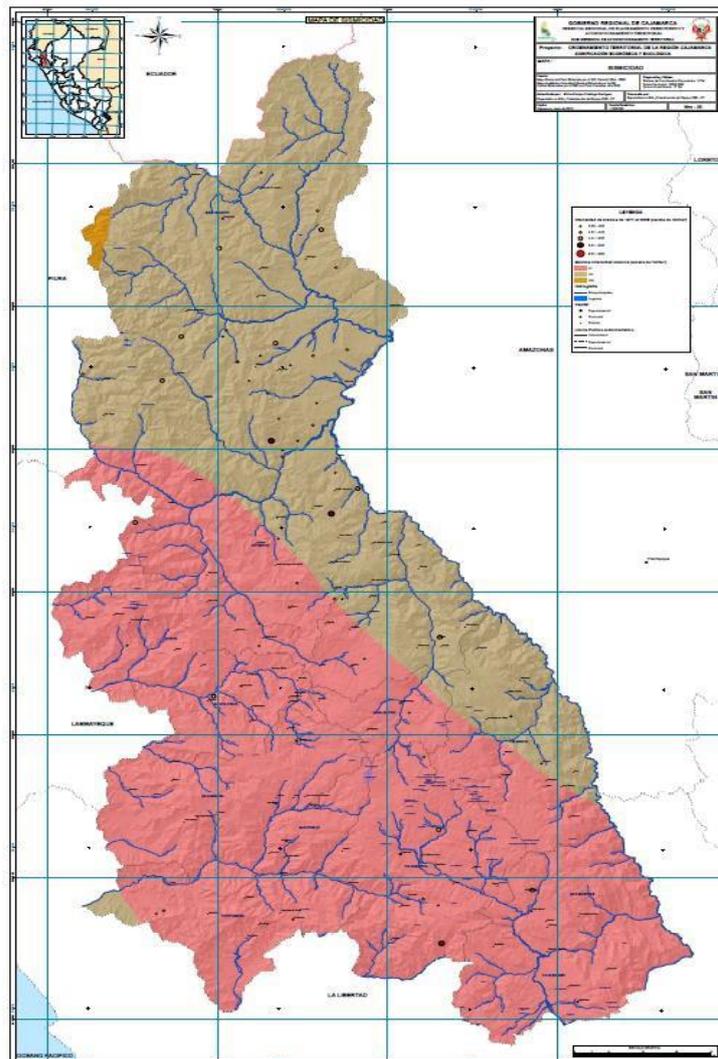


Fuente: Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente”, 2016.

2.2.2. SISMICIDAD EN CAJAMARCA

En la región Cajamarca, en las últimas décadas, no ha ocurrido sismos de regular y gran intensidad; sin embargo, debe considerarse a la misma como zona de silencio sísmico debido a su formación geológica, naturaleza de suelos y presencia volcánica. Esto quiere decir que existe una gran probabilidad de ocurrencia de sismos de regular y gran intensidad (Mosqueira, 2012).

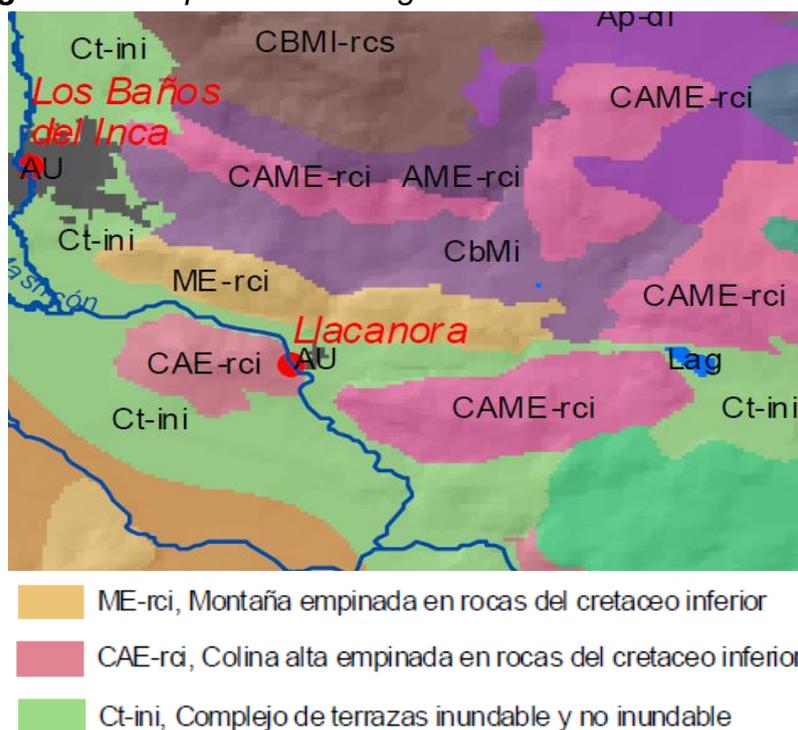
Figura 2.2: Mapa de Sísmico de la Región Cajamarca.



Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca, 2013.

Por lo antes expuesto, entre otras variables, la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” (2016) ubica a la ciudad de Cajamarca en la Zona de Sismicidad III.

Figura 2.3: Mapa Geomorfológico de la Ciudad de Llacanora.



Fuente: Gobierno Regional de Cajamarca, 2012.

2.2.3. RIESGO SÍSMICO (R)

Es el grado de pérdidas esperadas que sufren las estructuras durante el lapso de tiempo que permanecen expuestas a la acción sísmica, (Bonett R.; 2003:19), (Barbart A.; 1998:231).

También es el daño que podría presentar una obra determinada como consecuencia del peligro que la amenaza y de su propia vulnerabilidad. Simbólicamente se puede expresar en función del peligro y la vulnerabilidad (Muñoz, Quiun, & Tinman, 1999).

También, el riesgo sísmico es definido como una función de la vulnerabilidad sísmica y del peligro sísmico, que de forma general se puede expresar como: Kuroiwa (2010:66).

$$\text{Riesgo Sísmico (R)} = f[\text{Vulnerabilidad (V)}, \text{Peligro Sísmico (P)}]$$

Ecuación 1. Riesgo sísmico en función de la vulnerabilidad y el peligro sísmico.

2.2.3.1. METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL RIESGO SÍSMICO

Existen muchas metodologías que han sido propuestas por diferentes autores para evaluar el riesgo sísmico de las edificaciones. Elegir una metodología depende de algunos factores, por ejemplo: objetivo del estudio, información disponible, tiempo de ejecución, características del edificio que se estudiará, entre otras. Estos métodos se pueden clasificar en dos grupos: Métodos Analíticos y los Métodos Cualitativos.

2.2.3.2. MÉTODOS ANALÍTICOS

Los métodos analíticos se basan en análisis más detallados y por consiguiente obtendremos resultados más precisos, es característico de estos métodos contar con dos o más niveles de evaluación, con esto se pretende tomar en cuenta las limitaciones que puede tener el evaluador con respecto a la información disponible, de esta manera, si se tienen restricciones de información, estos métodos permiten evaluar las edificaciones hasta un nivel donde la información existente sea capaz de satisfacer sus requisitos. Típicamente se basan en las prescripciones de análisis y diseño antisísmico y algunos son extensiones propias de los procedimientos por las normas modernas.

Generalmente los métodos analíticos, se realizan mediante modelaciones matemáticas de la estructura, en las cuales se deben considerar aspectos tales como: interacción de la estructura con los elementos no estructurales, cargas reales a las que está sometida la estructura, análisis para los diferentes sismos que se pueden presentar, etc.

2.2.3.3. MÉTODOS CUALITATIVOS

Los métodos cualitativos se emplean para evaluar de manera rápida y sencilla un grupo grande de edificaciones. En estos métodos, la edificación recibe calificaciones o puntajes de acuerdo a sus características particulares, tales como: estado de conservación,

irregularidad en planta, irregularidad vertical, etc. Estas calificaciones, están asociadas a índices globales que han sido calibrados con la experiencia adquirida por los efectos provocados por sismos pasados en las edificaciones, que permiten identificar la vulnerabilidad en términos generales y en algunos casos el nivel de daño.

2.2.4. VULNERABILIDAD SÍSMICA (V)

Es el nivel de daño que pueden sufrir las edificaciones durante un sismo y depende de las características del diseño de la edificación, de la calidad de materiales y de la técnica de construcción (Kuroiwa, Pacheco, & Pando, 2010).

2.2.4.1. CLASES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

2.2.4.1.1. Vulnerabilidad Sísmica Estructural

Se refiere a qué tan susceptibles a ser afectados o dañados son los elementos estructurales de una edificación o estructura frente a las fuerzas sísmicas inducidas en ella.

A causa de sismos fuertes es común que se presenten daños estructurales en columnas, tales como grietas diagonales causadas por cortante y/o torsión, grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo de las barras longitudinales por exceso de esfuerzos de flexocompresión. En vigas, se presentan grietas diagonales y rotura de estribos a causa de cortante y/o torsión, grietas verticales, rotura del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por la flexión que impone el sismo arriba y abajo de la sección como resultado de las cargas alternadas (OPS, 2004).

Las conexiones o uniones entre elementos estructurales son, por lo general, los puntos más críticos. En las uniones viga-columna (nudos) el cortante produce grietas diagonales y es común ver fallas por adherencia y anclaje del refuerzo longitudinal de las vigas a causa del poco desarrollo del mismo y/o a consecuencia de esfuerzos excesivos de flexión (OPS, 2004).

En las losas se pueden presentar grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la placa debido a la excesiva demanda por flexión que en ciertas circunstancias puede imponer el sismo (OPS, 2004).

2.2.4.1.2. Vulnerabilidad Sísmica No Estructural

Un edificio puede quedar en pie luego de un desastre y quedar inhabilitado debido a daños no estructurales. A esto se le denomina Vulnerabilidad No Estructural.

Los elementos no estructurales se pueden clasificar en las siguientes tres categorías: elementos arquitectónicos, equipos y mobiliarios, e instalaciones básicas (OPS, 2004).

Elementos Arquitectónicos: incluyen componentes como muros exteriores no portantes, paredes divisorias, sistemas de tabiques interiores, ventanas, cielos rasos, sistema de alumbrado, etc. (OPS, 2004).

Equipos y Mobiliarios: incluyen elementos como equipo médico, equipo industrial mecánico, muebles de oficina, recipientes de medicamentos, etc. (OPS, 2004).

Se considera que los elementos no estructurales son sensibles a las deformaciones si se ven afectados por la deformación de la estructura principal, determinada por la deriva, entendiéndose en general como deriva al desplazamiento lateral relativo entre los pisos. Cuando no hay interacción directa por deformación entre el elemento no estructural y la estructura, el elemento no estructural es considerado como sensible a la aceleración, como es el caso de un equipo mecánico en algún piso del edificio, ya que a medida que se ubique en pisos más altos, debido al comportamiento y el desplazamiento estructural, mayor será la aceleración y, por lo tanto, mayor será la fuerza a la que se verá sometido ante la vibración sísmica (OPS, 2004).

2.2.4.2. METODOLOGÍA ELEGIDA

La metodología elegida para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las viviendas de adobe en la zona urbana de Llacanora, es la “metodología del índice de vulnerabilidad” desarrollada por BENEDETTI Y PETRINI en 1982.

Las razones por la cual se escogió esta metodología son las siguientes:

- Se puede aplicar para un gran número de edificaciones (a nivel urbano).
- Se fundamenta en datos reales de las edificaciones.
- Se tiene la experiencia de haberse aplicado en diferentes ciudades de Italia con buenos resultados y como consecuencia se adoptó oficialmente por un organismo gubernamental de protección civil.
- Se ha aplicado en España en los sismos de Almería en 1993 y 1994 (Yépez, 1994) y Murcia en 1999 (MENA, et al 1999).
- En el Perú, se ha aplicado esta metodología en las ciudades de Ayacucho, lima, zona oeste y este de Chiclayo, distrito de la victoria, etc.; contribuyendo a obtener los escenarios de daño.

2.2.4.3. METODOLOGÍA DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI Y PETRINI, 1982)

El método consiste en hacer una calificación de los edificios mediante la observación de sus características físicas, apoyándose en cálculos simplificados, identificando los parámetros más relevantes que controlan el daño de los edificios causados por un terremoto, realizando así una calificación de la calidad del diseño y la construcción sismo resistente de los edificios mediante un coeficiente denominado índice de vulnerabilidad, I_v .

El método, califica diversos aspectos de los edificios tratando de

distinguir las diferencias existentes en un mismo tipo de construcción o tipología. Esta metodología considera aspectos como la configuración en planta y elevación, los elementos estructurales y no estructurales, el estado de conservación, el tipo y organización del sistema resistente, la calidad de los materiales, etc.

Luego de aplicar algunas consideraciones propias de la metodología se determina el índice de vulnerabilidad, el cual es un valor numérico que representa la calidad estructural o vulnerabilidad sísmica de las edificaciones.

2.2.4.3.1. Índice de Vulnerabilidad

El índice de vulnerabilidad, se puede entender como un valor que ayuda a evaluar la falta de seguridad en los edificios ante cargas sísmicas. Además forma parte de la edificación de las funciones de vulnerabilidad, las cuales relacionan el índice de vulnerabilidad “Iv” con el índice de daño global de las estructuras.

2.2.4.3.2. Índice de Vulnerabilidad para Construcciones de Adobe y Albañilería (Confinada y No Confinada)

De acuerdo con la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, el índice de vulnerabilidad para edificaciones de adobe se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que expresan la “calidad sísmica” de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales. A cada parámetro se le atribuye, durante las visitas técnicas (inspecciones), una de las cuatro clases A, B, C y D.

- La calificación “A” es óptima con un valor numérico $K_i=0$.
- Mientras que la “D” es la más desfavorable con un valor numérico $K_i=45$.

Para ello tenemos la siguiente tabla:

Tabla 2.1. *Escala de vulnerabilidad Benedetti-Petrini para edificaciones de adobe y albañilería*

| i | Parámetros | Clases Ki | | | | Peso Wi |
|----|--------------------------------------|-----------|-----|-----|-----|---------|
| | | KiA | KiB | KiC | KiD | |
| 1 | Organización del sistema resistente. | 0 | 5 | 20 | 45 | 1 |
| 2 | Calidad del sistema resistente. | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.25 |
| 3 | Resistencia convencional. | 0 | 5 | 25 | 45 | 1.5 |
| 4 | Posición del edificio y cimentación. | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.75 |
| 5 | Diafragma horizontales. | 0 | 5 | 15 | 45 | 1 |
| 6 | Configuración en planta. | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.5 |
| 7 | Configuración en elevación. | 0 | 5 | 25 | 45 | 1 |
| 8 | Distancia máxima entre los muros. | 0 | 5 | 25 | 45 | 0.25 |
| 9 | Tipo de cubierta. | 0 | 15 | 25 | 45 | 1 |
| 10 | Elementos no estructurales. | 0 | 0 | 25 | 45 | 0.25 |
| 11 | Estado de conservación. | 0 | 5 | 25 | 45 | 1 |

Por otra parte, cada parámetro es afectado por un coeficiente de peso “Wi”, que varía entre 0,25 y 1,5. Este coeficiente trata de enfatizar su importancia relativa en el resultado final.

Finalmente, el índice de vulnerabilidad “Iv” de cada edificación se define por la siguiente expresión:

$$I_v = \sum_{i=1}^{11} K_i \cdot W_i$$

Ecuación 2. Índice de Vulnerabilidad.

Al analizar la ecuación se puede deducir que el índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible. Los parámetros 1, 2, 4, 5, 9, 10 y 11 son de naturaleza descriptiva y quedan definidos completamente por los alcances que se presentan más adelante.

Por el contrario los parámetros 3, 6, 7 y 8 son de naturaleza cuantitativa y requieren de ciertas operaciones matemáticas muy sencillas.

2.2.4.3.3. Adaptación del Método del Índice de Vulnerabilidad para el Distrito de Llacanora

El método del índice de vulnerabilidad plantea tal y conforme se detalla, once parámetros para evaluar la calidad estructural de las edificaciones de la zona urbana de Llacanora, con el objetivo de establecer si estos 11 parámetros eran suficientes para realizar dicha evaluación en las edificaciones se comparó con lo que propone el reglamento nacional de edificaciones.

Se pudo observar que casi en su totalidad, el método del índice de vulnerabilidad satisfacía las exigencias del reglamento nacional de edificaciones.

Por lo que esta investigación se desarrolló con los 11 parámetros sin adicionar otro.

Tabla 2.2. Comparación entre el reglamento nacional de edificaciones y los parámetros propuestos por el índice de vulnerabilidad.

| i | Parámetros | Componente propuesto por el RNE |
|----|--------------------------------------|---|
| 1 | Organización del sistema resistente. | Asesoría técnica y criterios de estructuración en adobe y albañilería – norma del 97. |
| 2 | Calidad del sistema resistente. | Calidad del material y proceso constructivo, norma E060, E070, E080. |
| 3 | Resistencia convencional. | Factores sismorresistentes, Norma E060, E070, E080. |
| 4 | Posición del edificio y cimentación. | Condiciones geométricas: tipo de suelo muy rígido, intermedio y flexible, Norma E030 |
| 5 | Diafragma horizontales. | Consideraciones para diafragmas, Norma E030, E060, E070 y E080. |
| 6 | Configuración en planta. | Configuración estructural (irregularidades estructurales en planta) |
| 7 | Configuración en elevación. | Configuración estructural (irregularidades estructurales en planta) |
| 8 | Distancia máxima entre los muros. | Densidad de muros en las edificaciones |
| 9 | Tipo de cubierta. | Calidad en la unión de la cobertura liviana con el sistema resistente. |
| 10 | Elementos no estructurales. | Conexión de los elementos no estructurales |
| 11 | Estado de conservación. | Condición actual de la vivienda |

Fuente: Elaboración propia.

2.2.5. PELIGRO SÍSMICO (P)

Es la probabilidad de ocurrencia de un sismo, dentro de un período específico, en una determinada localidad o zona (Kuroiwa, Pacheco, & Pando, 2010).

El peligro sísmico es la probabilidad de ocurrencia de movimientos sísmicos de cierta intensidad en una zona determinada durante un tiempo definido. (Bommer et al. 1998:5)

2.2.6. COMPORTAMIENTO SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES

La construcción con adobe en nuestro país se remonta a la época prehispánica. Muchas de esas edificaciones han perdurado en el tiempo, como en el caso de la Ciudadela de Chan Chan, considerada “la ciudad de barro más grande de América”, la Ciudad Sagrada de Caral, “la más antigua de América”, la Fortaleza de Paramonga o el Complejo de Pachacamac.

El uso de ese material se prolongó a lo largo de nuestra historia fundamentalmente por ser de fácil acceso, y porque permitió crear ambientes con propiedades ambientales favorables, como la mitigación del ruido y la intensa temperatura externa.

Sin embargo, actualmente en muchos casos no se respeta un adecuado proceso constructivo, o se ha prescindido de la asistencia técnica calificada, generando riesgos y accidentes en la seguridad y salud de las personas.

2.2.6.1. ADOBE

Según Norma Técnica de Edificación E-080 Adobe (2003), define al adobe como: “Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad”.

Además se debe tener en cuenta que sus Aditivos naturales como la paja y la arena gruesa, que controlan las fisuras que se producen durante el proceso de secado rápido.

2.2.6.1.1. Requisitos generales

Según Norma Técnica de Edificación E-080 Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (2017)

a. Tierra: Debe verificarse que la tierra contenga adecuada presencia de arcilla mediante las pruebas indicadas en los Anexos 1 y 2 de la presente Norma. Asimismo, que se encuentre libre de cantidades perjudiciales de materia orgánica. Su resistencia debe cumplir lo indicado:

- La resistencia se debe medir mediante el ensayo brasileño de tracción, en cilindros de 6" x 12" o 15.24 cm x 30.48 cm de diámetro y largo.
- La resistencia última es de 0.08MPa = 0.81 kgf/cm².
- Las muestras deben tener humedad inicial de 20 % a 25 % para control de adobes

b. Agua: Debe cumplir las características siguientes:

- Agua potable o agua libre de materia orgánica, sales y sólidos en suspensión.
- Estar limpia y libre de cantidades perjudiciales de aceites, ácidos, álcalis, sales, materia orgánica y otras sustancias que puedan ser dañinas.
- El agua de mar sólo puede emplearse si se cuenta con la autorización del ingeniero proyectista y del responsable de la supervisión.

El adobe debe estar libre de materias extrañas, grietas, rajaduras u otros defectos que puedan degradar su resistencia o durabilidad.

2.2.6.2. SISTEMAS CONSTRUCTIVO TRADICIONAL EN ADOBE

Este sistema se basa en la estructura de muro portante, compuesto por bloques modulares de tierra y paja sin cocer, colocados a manera de ladrillos armando los muros que forman una estructura muy compacta que recibirá las cargas de las vigas y la cobertura (Arriola y Sáenz 2005).

Las construcciones de adobe tienen excelentes propiedades térmicas y acústicas, que las hacen apropiadas para zonas con climas severos donde se dan amplias variaciones de temperaturas (Gutiérrez y Manco 2012).

2.2.6.2.1. Construcción con Tierra

Según Arriola y Sáenz (2005), "Construcción que emplea como material predominante a la tierra, siendo las formas más usadas en el Perú: el adobe, el tapial o tapia y la quincha".

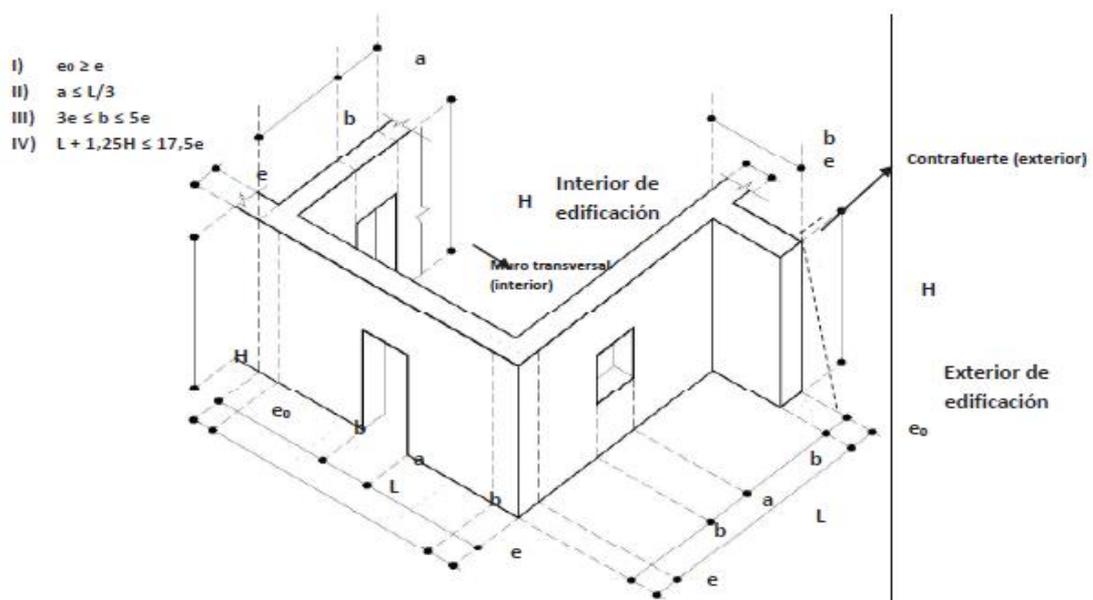
2.2.6.3. CRITERIOS DE CONFIGURACIÓN DE LAS EDIFICACIONES DE TIERRA REFORZADA

Las edificaciones de tierra reforzada, deben cumplir con los siguientes criterios de configuración:

- Muros anchos para su mayor resistencia y estabilidad frente al volteo. El espesor mínimo del muro es de 0.40 m. Solo para el tipo de muro indicado en el Esquema 3 de la Figura 2.4, puede utilizarse un espesor mínimo de 0.38 m según se muestra en el aparejo correspondiente.
- Los muros deben tener arriostres horizontales (entrepisos y techos) así como arriostres verticales (contrafuerte o muros transversales) según la Figura 2.4.
- La densidad de muros en la dirección de los ejes principales debe tener el valor mínimo.
- Factor de uso (U) y densidad según tipo de edificación. De ser posible, todos los muros deben ser portantes y arriostrados.

- Tener una planta simétrica respecto a los ejes principales.
- El espesor (e), densidad y altura libre de muros (H), la distancia entre arriostres verticales (L), el ancho de los vanos (a), así como los materiales y la técnica constructiva para la construcción de una edificación de tierra reforzada, deben ser aplicados de manera continua y homogénea. La Figura 2.4 establece los límites geométricos a ser cumplidos.
- Los vanos deben tener las proporciones y ubicación de acuerdo a lo indicado en la Figura 2.4. Así mismo, se recomienda que sean pequeños y centrados.

Figura 2.4: Límites Geométricos de muros y vanos



Fuente: RNE E-0.80.

Nota 1: Cada arriostre vertical (contrafuerte o muro transversal) puede construirse hacia el interior o hacia el exterior de la edificación, según el criterio del proyectista.

Nota 2: La expresión IV relaciona la esbeltez vertical ($y_v = H/e$) con la esbeltez horizontal ($h = L/e$), de modo que se debe cumplir la expresión: $h + 1.25 v \leq 17.5$.

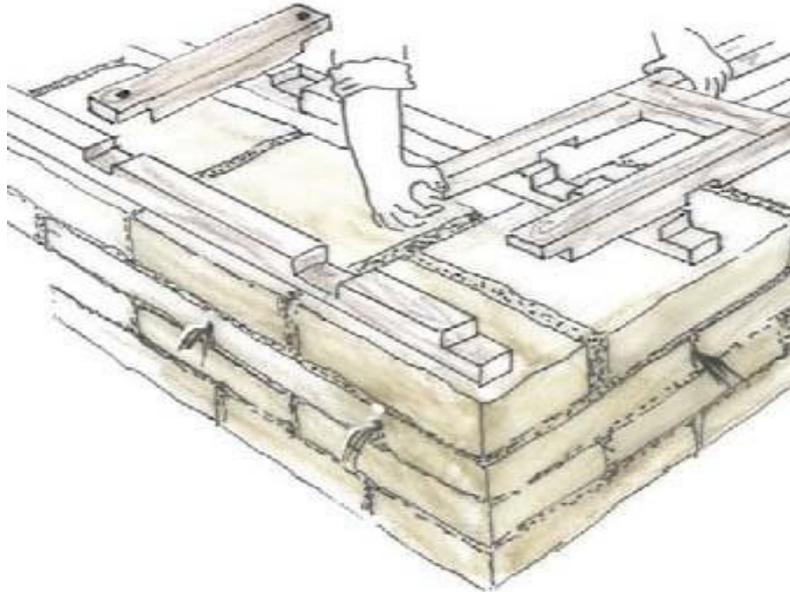
Nota 3: Los muros en general deben tener una esbeltez vertical (V) igual o menor a 6 veces el espesor del muro y una esbeltez horizontal (H) igual o menor a 10 veces el espesor del muro.

La esbeltez vertical puede llegar a un máximo 8, si se cumple la Nota 2.

Nota 4: El contrafuerte puede ser recto o trapezoidal. En caso tenga forma trapezoidal, ver línea segmentada en contrafuerte (exterior) su base o parte inferior debe medir “b” y la parte superior (que sobresale del muro) debe medir como mínimo “b/3”.

- Tener como mínimo una viga collar en la parte superior de cada muro fijada entre sí, así como a los refuerzos, y contruidos con un material compatible con la tierra reforzada (madera, caña u otros).

Figura 2.5: Ejemplo esquemático de un tipo de Viga Collar.



Fuente: RNE E-0.80.

2.2.6.4. CÁLCULO DE LAS FUERZAS SÍSMICAS HORIZONTALES

La fuerza sísmica horizontal en la base de las edificaciones de tierra reforzada se determina mediante la siguiente expresión:

$$H = S.U.C.P$$

Ecuación 3. Fuerza sísmica horizontal. (E-0.80)

Donde:

S = Factor de suelo según lo indicado en la Tabla 2.1.

U = Factor de uso según lo indicado en la Tabla 2.2.

C = Coeficiente sísmico según lo indicado en la Tabla 2.3.

P = Peso total de la edificación, incluyendo carga muerta y el 50 % de la carga viva.

Tabla 2.3. Factor de suelo (S).

| Tipo | Descripción | Factor de suelo (S) |
|------|---|---------------------|
| I | Rocas o suelos muy resistentes con capacidad portante admisible > 0.3 MPa ó 3.06 kg.f/cm ² | 1,0 |
| II | Suelos intermedios o blandos con capacidad portante admisible > 0.1 MPa ó 1.02kg.f/cm ² | 1,4 |

Fuente: R.N.E - E-080 *Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (2017)*

Tabla 2.4. Factor de uso (U) y Densidad según tipo de Edificación.

| Tipo de Edificaciones | Factor de Uso (U) | Densidad |
|---|-------------------|----------|
| NT A.030 Hospedaje NT A.040 Educación NT A.050 Salud NT A.090 Servicios comunales NT A.100 Recreación y deportes NT A.110 Transporte y Comunicaciones | 1,4 | 15% |
| NT A.060 Industria NT A.070 Comercio NT A.080 Oficinas | 1.2 | 12% |
| Vivienda: Unifamiliar y Multifamiliar Tipo Quinta | 1,0 | 8% |

Fuente: R.N.E - E-080 *Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (2017)*

Tabla 2.5. Coeficiente sísmico por zona sísmica para edificaciones de tierra reforzada.

| Zona Sísmica | Coeficiente Sísmico (C) |
|--------------|-------------------------|
| 4 | 0,25 |
| 3 | 0,20 |
| 2 | 0,15 |
| 1 | 0,10 |

Fuente: N.T.E - E-080 *Diseño y Construcción con Tierra Reforzada (2017)*

2.2.6.5. SISTEMA ESTRUCTURAL PARA EDIFICACIONES DE TIERRA REFORZADA

El sistema estructural para las edificaciones de tierra debe comprender los componentes siguientes:

2.2.6.5.1. Cimiento.

El cimiento debe cumplir dos condiciones:

- Transmitir las cargas hasta un suelo firme de acuerdo a lo indicado por la Norma E.050 Suelos y Cimentaciones.
- Evitar que la humedad ascienda hacia los muros de tierra.

Cumpliendo las condiciones anteriormente mencionadas, todo cimiento debe tener una profundidad mínima de 0.60 m. (medida a partir del terreno natural) y un ancho mínimo de 0.60 m.

Se puede utilizar los tipos de cimentación siguientes:

- Piedra grande tipo pirca compactada, acomodada con piedras pequeñas.
- Concreto Ciclópeo.
- Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa.

2.2.6.5.2. Sobrecimiento

El sobrecimiento debe cumplir dos condiciones:

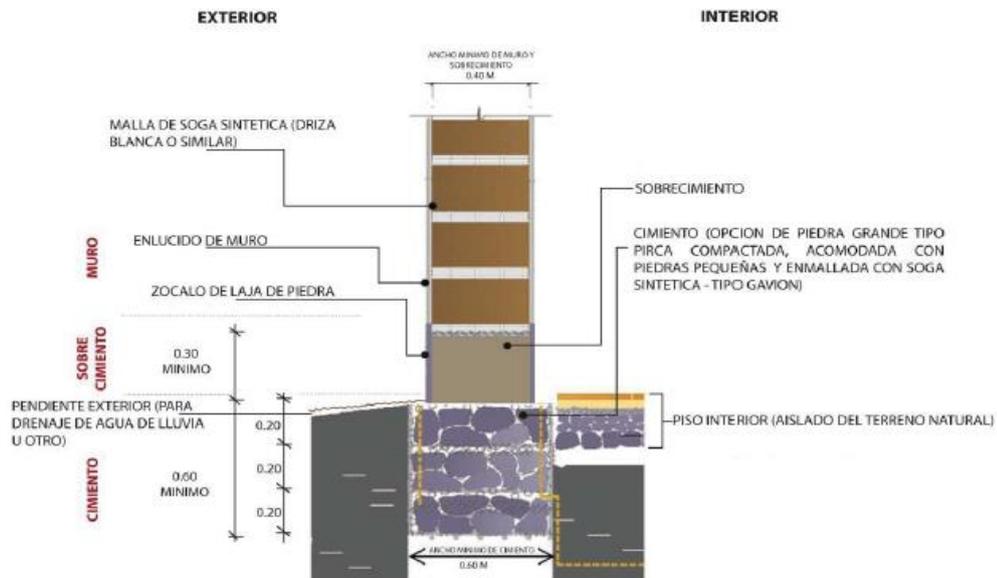
- Debe transmitir las cargas hasta el cimiento.
- Debe proteger el muro ante la acción de la erosión y la ascensión capilar.

Cumpliendo tales condiciones, todo sobrecimiento debe elevarse sobre el nivel del terreno no menos de 0.30 metros y tener un ancho mínimo de 0.40 metros.

Se pueden utilizar los tipos de sobrecimiento siguientes:

- Albañilería de piedra con mortero de cemento o cal y arena gruesa.
- Concreto ciclópeo.

Figura 2.6. Esquema de Cimentación.



Fuente: R.N.E - E-080 *Diseño y Construcción con Tierra Reforzada* (2017)

2.2.6.5.3. Muros

Los muros son los elementos más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación de tierra reforzada. El diseño de los muros debe realizarse usando criterios basados en la resistencia, estabilidad y desempeño, complementariamente.

Los tímpanos deben ser del material similar al usado en los techos (madera, caña, fibra vegetal, entre otros) para que sean ligeros, más estables y fácilmente conectables con los techos.

Es posible utilizar muros curvos o muros para plantas poligonales, lo cual podría significar formas de adobe especial; si se usan adobes cuadrados o rectangulares, las juntas verticales no deben exceder de 30 mm en su parte más ancha. En la técnica del tapial se puede utilizar moldes circulares.

- Todos los muros curvos deben ser igualmente reforzados como el caso de los muros rectos y deben tener viga collar superior curva o poligonal.
- Los muros con radios mayores a 3.00 m. se deben considerar como muros rectos para la colocación y distanciamiento de arriostres verticales, así como limitaciones de esbelteces, según lo indicado en la Norma E080.
- Para radios comprendidos entre 1.25 m y 3.00 m, deben existir muros transversales o arriostres verticales cada 12e del muro como máximo (es decir, doce veces el espesor del muro como máximo) y la esbeltez vertical (h/e) no debe ser mayor a 10.
- Los muros con radios menores a 1.25 m, no requieren limitaciones de arriostres verticales.

En una vivienda de adobe todos los muros deben ser portantes y principales. Esto se logra cuando el techo y el entrepiso, en el caso de una vivienda de uno o dos pisos, descansan sobre los muros longitudinales y transversales. Es decir se tienen vigas de madera o tallos de guayaquil en ambos sentidos. Lo que ocurre en las viviendas de la zona urbana de Llacanora es que las vigas descansan tan solo en los muros de la fachada y de la parte posterior por lo que el muro lateral no es un muro portante ni arriostrado.



Figura 2.7. Muro lateral no portante.

2.2.6.5.4. Vanos de puertas y ventanas

La principal recomendación para los vanos de puertas y ventanas es que deben ser pequeños y centrados. Contrariamente a eso, se

encontró que las puertas tiene un ancho mayor, en la mayoría de viviendas se ubican cerca de las esquinas (ver fig. 2.8). Los dinteles están conformados por umbrales de madera cuyo espesor es de 4", los cuales se empotran al menos 0.35m a cada lado del vano.



Figura 2.8. Vanos de puertas muy grandes y mal ubicados.

2.2.6.5.5. Ausencia de viga solera, refuerzo y contrafuerte

La ausencia de viga solera es una constante en casi todas las viviendas. La principal función de la viga solera, que según lo estudiado puede ser de madera o concreto, consiste en unir todos los muros de la vivienda para trabajar en conjunto y limitar la presencia de grietas. El contrafuerte es un apoyo que se emplea en los muros cuando estos tienen una longitud mayor a 4.00m, como es el caso de las viviendas en el distrito de Llacanora. Según la bibliografía consultada (EERI, 2003) debe tener una longitud de 3 veces el ancho del muro y puede estar ubicado hacia adentro o hacia afuera; este elemento fue detectado en una vivienda existente.

Figura 2.9. Vivienda con viga collar.





Figura 2.10. Vivienda con contrafuerte.

2.2.6.5.6. Antigüedad de las edificaciones

Actualmente se vienen construyendo viviendas de adobe, sin embargo se tienen viviendas con una antigüedad de más de 50 años.



Figura 2.11. Vivienda con antigüedad de más de 50 años.

2.2.7. CONSTRUCCIONES SISMO RESISTENTES

Son construcciones que poseen las características necesarias para responder adecuadamente ante un movimiento sísmico (Arriola y Sáenz 2005).

Las edificaciones de tierra deben ser construcciones reforzadas para conseguir el comportamiento siguiente:

- Durante sismos leves, las edificaciones de tierra reforzada pueden admitir la formación de fisuras en los muros.
- Durante sismos moderados, las edificaciones de tierra reforzadas pueden admitir fisuras más importantes, sin embargo están controladas

por refuerzos, sin producir daños a los ocupantes. La estructura debe ser reparable con costos razonables.

- Durante la ocurrencia de sismos fuertes, se admite la posibilidad de daños estructurales más considerables, con fisuras y deformaciones permanentes, pero controladas por refuerzos. No deben ocurrir fallas frágiles y colapsos parciales o totales, que puedan significar consecuencias fatales para la vida de los ocupantes.

2.3. DEFINICIÓN DE TÉRMINOS BÁSICOS

- **ADOBE.-** Unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.
- **ALTURA LIBRE DE MURO.-** Distancia vertical libre entre elementos de arriostre horizontales.
- **ARCILLA.-** Único material activo e indispensable del suelo. En contacto con el agua permite su amasado, se comporta plásticamente y puede cohesionar el resto de partículas inertes del suelo formando el barro, que al secarse adquiere una resistencia seca que lo convierte en material constructivo. Tiene partículas menores a dos micras (0.002 mm).
- **ARENA FINA.-** Es un componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendido entre 0.08 mm y 0.50 mm. Como el limo puede contribuir a lograr una mayor compacidad del suelo, en ciertas circunstancias.
- **ARRIOSTRE.-** Componente que impide significativamente el libre desplazamiento del borde de muro, considerándose un apoyo. El arriostre puede ser vertical (muro transversal o contrafuerte) u horizontal.
- **COLAPSO.-** Derrumbe súbito de muros o techos. Puede ser un derrumbe parcial o total. Cuando la estructura ha perdido toda o casi toda su rigidez y resistencia original (Muñoz, 2004).

- **CONTRAFUERTE.-** Es un arriostre vertical construido con este único fin. De preferencia puede ser del mismo material o un material compatible (por ejemplo, piedra).
- **DENSIDAD DE MUROS.-** Cociente entre la suma de áreas transversales de los muros paralelos a cada eje principal de la planta de la construcción y el área total techada.
- **EDIFICACIÓN DE TIERRA REFORZADA.-** Edificación compuesta de los siguientes componentes estructurales: cimentación (cimiento y sobrecimiento), muros, entresijos y techos, arriostres (verticales y horizontales), refuerzos y conexiones. Cada uno de los componentes debe diseñarse cumpliendo lo desarrollado en la presente Norma, para evitar el colapso parcial o total de sus muros y techos, logrando el objetivo fundamental de conceder seguridad de vida a los ocupantes. Estas edificaciones pueden ser de adobe reforzado o tapial reforzado.
- **ESBELTEZ.-** Relación entre las dimensiones del muro y su máximo espesor. Hay dos tipos de esbeltez de muros: i) La esbeltez vertical (λ_v), que es la relación entre la altura libre del muro y su máximo espesor, y ii) La esbeltez horizontal (λ_h), que es la relación entre el largo efectivo del muro y su espesor.
- **EXTREMO LIBRE DE MURO.-** Es el borde vertical u horizontal no arriestrado de un muro.
- **GRIETA.-** Abertura mayor a un milímetro. Son aberturas longitudinales que afectan a todo el espesor de un elemento constructivo, estructural o de cerramiento (Broto, 2009).
- **FISURA.-** Abertura igual o menor de un milímetro. Son aberturas que solo afectan a la superficie o acabado superficial superpuesto de un elemento constructivo (Broto, 2009).
- **LARGO EFECTIVO.-** Distancia libre horizontal entre elementos de arriostre verticales o entre un elemento de arriostre y un extremo libre.

- **LIMO.-** Es un material componente inerte, estable en contacto con agua y sin propiedades cohesivas, constituido por partículas de roca con tamaños comprendidos entre 0.002 mm y 0.08 mm.
- **MURO.-** Es un muro arriostrado cuya estabilidad lateral está confi ada a elementos de arriostre horizontales y/o verticales y que incluye refuerzos.
- **PRUEBA DE CAMPO.-** Ensayo realizado sin herramientas a pie de obra o en laboratorio, basados en conocimientos comprobados en laboratorio a través de métodos rigurosos, que permite tomar decisiones de selección de canteras y dosificaciones.
- **PRUEBA DE LABORATORIO.-** Ensayo de laboratorio que permite conocer las características mecánicas de la tierra, para diseñar y tomar decisiones de ingeniería.
- **REFUERZOS.-** Elementos constituidos por materiales con alta capacidad de tracción, que sirven para controlar los desplazamientos de muros en caso de fi suras estructurales. Deben ser compatibles con el material tierra, es decir, flexibles y de baja dureza para no dañarlo, incluso durante las vibraciones que producen los sismos.
- **SECADO.-** Proceso de evaporación del agua que existe en la tierra húmeda. El proceso debe controlarse para producir una evaporación muy lenta del agua, mientras la arcilla y barro se contraen y adquieren resistencia. Si la contracción es muy rápida, se producen fi suras.
- **SISMO FUERTE.-** Igual o mayor a la intensidad VII de la Escala de Mercalli Modificada.
- **SISMO LEVE.-** Igual o menor a intensidad III de la Escala de Mercalli Modificada.
- **SISMO MODERADO.-** Entre las intensidades IV y VI de la Escala de Mercalli Modificada.

3. CAPÍTULO III

MATERIALES Y MÉTODO

3.1. UBICACIÓN GEOGRÁFICA

La presente investigación determinó el Riesgo Sísmico Utilizando el Índice de Vulnerabilidad de Benedetti-Petrini en las Viviendas de Adobe Existentes en la Zona Urbana del Distrito de Llacanora, la cual está ubicado en:

- **Ubicación Política:**

Departamento: Cajamarca

Provincia: Cajamarca

Distrito: Llacanora

- **Ubicación Hidrográfica**

Cuenca: Rio Cajamarquino

- **Ubicación Geográfica:** Tiene las Coordenadas UTM

Norte : 784171.558

Este : 9204140.794

Altitud: 2644.00 m.s.n.m

3.2. ÉPOCA DE LA INVESTIGACIÓN

Esta investigación se realizó en el año 2018. A medida que pasan los años se amplían los conocimientos acerca de la influencia que tienen los sismos en las edificaciones y cómo se puede evitar que éstas resulten dañadas pues se pueden tomar acciones para disminuir el grado de vulnerabilidad en caso de que éste resulte ser alto luego del análisis para evitar pérdidas de vidas humanas y económicas.

3.3. PROCEDIMIENTO

3.3.1. POBLACIÓN

La población está constituida por las 137 viviendas construidas de adobe dentro de la zona Urbana de Llacanora.

3.3.2. MUESTRA

Para determinar el tamaño de la muestra se utilizó el muestreo aleatorio simple que se calculó con la siguiente fórmula:

$$n = \frac{Z^2 N p q}{E^2 (N - 1) + Z^2 p q}$$

Ecuación 4. Muestreo aleatorio simple.

Donde:

n = Muestra Óptima

N = Tamaño de la población.

p y q = Parámetros estadísticos de la población (p = 50 y q = 50)

E = Margen de error 5%, considerado por el investigador.

Z = Nivel de confianza de 95%. Es la desviación del valor medio que aceptamos para lograr el nivel de confianza deseado (Gauss). Los valores más frecuentes son:

- Nivel de confianza 90% -> Z=1,645
- Nivel de confianza 95% -> Z=1,96
- Nivel de confianza 99% -> Z=2,575

Reemplazando valores:

$$n = \frac{(0.96)^2 (137) (0.50) (0.50)}{(0.05)^2 (137 - 1) + (0.96)^2 (0.50) (0.50)}$$

$$n = 55.33 \cong 56.00$$

De los datos obtenidos se concluye que, para un nivel de confianza al 95% se obtuvo una muestra de n = 56 viviendas.

3.3.3. TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE INVESTIGACIÓN

3.3.3.1. TÉCNICAS DE INVESTIGACIÓN

3.3.3.1.1. Información indirecta

Selección de la información existente en fuentes bibliográficas (para analizar temas generales sobre la investigación a realizar) y estadísticas; recurriendo a las fuentes originales en lo posible: éstas fueron libros, reglamentos, artículos de investigación, tesis de investigación y páginas web de internet como el INEI, INDECI, MVCS e ICG.

3.3.3.1.2. Encuesta

Aplicación de la ficha de Benedetti – Petrini y la ficha de verificación de INDECI (anexo 01 y anexo 02) en la muestra representativa de la población.

3.3.3.1.3. Observación

La observación directa se realizó con el fin de hacer una evaluación cualitativa de las viviendas existentes.

3.3.3.2. INSTRUMENTOS PARA LA INVESTIGACIÓN

3.3.3.2.1. Investigación documental

Estuvo referida principalmente al conocimiento, que se obtuvo de los archivos y registros con la intención de constatar la veracidad de datos obtenidos por otras fuentes respecto a acciones ejecutadas en el pasado.

3.3.3.2.2. Encuestas: Fichas de verificación

Las encuestas nos permitieron clasificar y determinar el índice de vulnerabilidad para cada vivienda de la muestra.

3.3.4. METODOLOGÍA

3.3.4.1. METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL RIESGO SÍSMICO

Para la determinación del Nivel de Riesgo Sísmico se aplicó la metodología propuesta por el Ing. Miguel Mosqueira Moreno en su Tesis Doctoral. Ésta metodología nos permite predecir cuál será el comportamiento de la edificación ante un sismo severo; se basa en la Ecuación de Kuroiwa (2002) que fue fundamentada y aplicada para edificaciones de albañilería confinada por Mosqueira y Tarque (2005) y permite calcular de manera numérica la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico para luego asignarle una calificación al comportamiento de la edificación.

Para la calificación del Riesgo Sísmico, se reemplazan los valores de Vulnerabilidad y Peligro Sísmico en la tabla 3.1 lo que nos permite asignar el Nivel de Riesgo Sísmico de la edificación evaluada.

Tabla 3.1. Calificación y Nivel de Riesgo Sísmico.

| NIVEL DE RIESGO SÍSMICO | | | |
|--------------------------|-------|-------|-------|
| VULNERABILIDAD \ PELIGRO | BAJA | MEDIA | ALTA |
| BAJO | BAJO | MEDIO | MEDIO |
| MEDIO | MEDIO | MEDIO | ALTO |
| ALTO | MEDIO | ALTO | ALTO |

Fuente: “Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana”. Mosqueira y Tarque, 2005.

Un Nivel de **Riesgo Sísmico Alto** significa que la edificación sufrirá daños importantes ante un sismo severo y existe gran probabilidad que la edificación colapse ya que no tiene un adecuado comportamiento sísmico y se encuentra sobre suelo blando.

Un Nivel de **Riesgo Sísmico Medio** significa que la edificación tiene aceptable comportamiento sísmico y se encuentra sobre un suelo rígido o intermedio. Los pórticos y muros de la edificación podrían sufrir

daños menores y algunos tabiques podrían colapsar parcial o totalmente.

Un Nivel de **Riesgo Sísmico Bajo** significa que la edificación tiene adecuado comportamiento sísmico y el estado actual de la edificación es de regular a buena. La edificación se encuentra sobre suelo rígido sin pendiente y solo podría sufrir el colapso parcial o total de sus tabiques.

3.3.4.2. METODOLOGÍA PARA EVALUAR EL PELIGRO SÍSMICO SEGÚN LA CONDICIÓN DE PARÁMETROS.

3.3.4.2.1. PELIGRO SÍSMICO

En la evaluación del peligro sísmico se considera la evaluación de tres variables: la Sismicidad, el Tipo de Suelo y la Topografía de la zona donde se encuentra cimentada la edificación en evaluación.

El Peligro Sísmico se calcula mediante la siguiente ecuación (Mosqueira y Tarque, 2005):

$$\text{Peligro Sísmico} = (0.40 \cdot \text{Sismicidad}) + (0.40 \cdot \text{Suelo}) + (0.20 \cdot \text{Topografía})$$

Ecuación 5. Peligro sísmico.

Se asignan los valores a cada variable para calificar numéricamente al Peligro Sísmico teniendo en cuenta las siguientes tablas:

Tabla 3.2. Valores de las Variables para Cuantificar el Peligro Sísmico.

| SISMICIDAD (40%) | | SUELO (40%) | | TOPOGRAFÍA (20%) | |
|------------------|---|-------------|---|------------------|---|
| Baja | 1 | Rígido | 1 | Plana | 1 |
| Media | 2 | Intermedio | 2 | Media | 2 |
| Alta | 3 | Flexible | 3 | Pronunciada | 3 |

Fuente: Mosqueira y Tarque, 2005.

Tabla 3.3. Rango de Valores de las Variables para Cuantificar el Peligro Sísmico.

| Sismicidad (40%) | Estructural | | | | | | Pesos (%) | | | Peligro Sísmico | Valor Numérico |
|------------------|-------------|-------------|-----------|------------------|-------|-------------|-----------|----|----|-----------------|----------------|
| | Suelo (40%) | | | Topografía (20%) | | | 40 | 40 | 20 | | |
| | Rígidos | Intermedios | Flexibles | Plana | Media | Pronunciada | | | | | |
| BAJA | X | | | X | | | 3 | 1 | 1 | Bajo | 1.8 |
| | X | | | | X | | 3 | 1 | 2 | Medio | 2.0 |
| | X | | | | | X | 3 | 1 | 3 | | 2.2 |
| | | X | | X | | | 3 | 2 | 1 | | 2.2 |
| | | X | | | X | | 3 | 2 | 2 | 2.4 | |
| | | X | | | | X | 3 | 2 | 3 | Alto | 2.6 |
| | | | X | X | | | 3 | 3 | 1 | | 2.6 |
| | | | X | | X | | 3 | 3 | 2 | | 2.8 |
| | | | X | | | X | 3 | 3 | 3 | | 3.0 |
| MEDIA | X | | | X | | | 2 | 1 | 1 | Bajo | 1.4 |
| | X | | | | X | | 2 | 1 | 2 | | 1.6 |
| | X | | | | | X | 2 | 1 | 3 | Medio | 1.8 |
| | | X | | X | | | 2 | 2 | 1 | | 1.8 |
| | | X | | | X | | 2 | 2 | 2 | | 2.0 |
| | | X | | | | X | 2 | 2 | 3 | | 2.2 |
| | | | X | X | | | 2 | 3 | 1 | | 2.2 |
| | | | X | | X | | 2 | 3 | 2 | | 2.4 |
| | | | X | | | X | 2 | 3 | 3 | | Alto |
| ALTA | X | | | X | | | 1 | 1 | 1 | Bajo | 1.0 |
| | X | | | | X | | 1 | 1 | 2 | | 1.2 |
| | X | | | | | X | 1 | 1 | 3 | | 1.4 |
| | | X | | X | | | 1 | 2 | 1 | | 1.4 |
| | | X | | | X | | 1 | 2 | 2 | 1.6 | |
| | | X | | | | X | 1 | 2 | 3 | Medio | 1.8 |
| | | | X | X | | | 1 | 3 | 1 | | 1.8 |
| | | | X | | X | | 1 | 3 | 2 | | 2.0 |
| | | | X | | | X | 1 | 3 | 3 | | Alto |

Fuente: Mosqueira y Tarque, 2005.

Para la calificación numérica del Peligro Sísmico, se reemplazan los valores numéricos de Sismicidad, Tipo de Suelo y Topografía en ecuación anterior. El valor obtenido se compara con la calificación del Peligro Sísmico mostrado en la Tabla 3.5 lo que nos permite asignar el Nivel de Peligro Sísmico de la edificación evaluada.

Tabla 3.4. Calificación del Peligro Sísmico.

| SISMICIDAD | PELIGRO SÍSMICO | RANGO |
|------------|-----------------|----------------|
| ALTA | Bajo | 1.80 |
| | Medio | De 2.00 a 2.40 |
| | Alto | De 2.60 a 3.00 |
| MEDIA | Bajo | De 1.40 a 1.60 |
| | Medio | De 1.80 a 2.40 |
| | Alto | 2.60 |
| BAJO | Bajo | De 1.00 a 1.60 |
| | Medio | De 1.80 a 2.00 |
| | Alto | 2.20 |

Fuente: Mosqueira y Tarque, 2005.

3.3.4.2.2. SISMICIDAD

Se evalúa teniendo en cuenta lo estipulado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente en la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” (2016), donde se divide al territorio peruano en cuatro zonas sísmicas como se muestra en la Figura 2.1.

Tabla 3.5. Calificación de Zonas Sísmicas.

| SISMICIDAD | ZONA |
|------------|---|
| BAJA | ZONA Z1: Zona de Baja Sismicidad, en la cual puede darse una aceleración máxima del terreno del 10% de la aceleración de la gravedad, con una probabilidad del 10% de ser excedida. |
| MEDIA | ZONA Z2: Zona de Moderada Sismicidad, en la cual puede darse una aceleración máxima del terreno del 25% de la aceleración de la gravedad, con una probabilidad del 10% de ser excedida. |
| | ZONA Z3: Zona de Moderada Sismicidad, en la cual puede darse una aceleración máxima del terreno del 35% de la aceleración de la gravedad, con una probabilidad del 10% de ser excedida. |
| ALTA | ZONA Z4: Zona de Alta Sismicidad, en la cual puede darse una aceleración máxima del terreno del 45% de la aceleración de la gravedad, con una probabilidad del 10% de ser excedida |

Fuente: Elaboración Propia.

3.3.4.2.3. TIPO DE SUELO

Se evalúa teniendo en cuenta lo estipulado en el Reglamento Nacional de Edificaciones, específicamente en la Norma Técnica E.030 “Diseño Sismorresistente” (2016), donde se clasifican tomando en cuenta la velocidad promedio de propagación de las ondas de corte.

- PERFIL TIPO S0: Roca Dura. A este tipo corresponden las rocas sanas con velocidad de propagación de ondas de corte mayor que 1500 m/s.
- PERFIL TIPO S1: Roca o Suelos Muy Rígidos. A este tipo corresponden las rocas y los suelos muy rígidos con velocidades de propagación de onda de corte similar al de una roca, en los que el período fundamental para vibraciones de baja amplitud no excede de 0,25 s.
- PERFIL TIPO S2: Suelos Intermedios. Se clasifican como de este tipo los sitios con características intermedias entre las indicadas para los perfiles S1 y S3.
- PERFIL TIPO S3: Suelos Flexibles o con estratos de gran espesor. Corresponden a este tipo los suelos flexibles o estratos de gran espesor en los que el período fundamental, para vibraciones de baja amplitud, es mayor que 0,6 s.
- PERFIL TIPO S4: Condiciones Excepcionales. A este tipo corresponden los suelos excepcionalmente flexibles y los sitios donde las condiciones geológicas y/o topográficas son particularmente desfavorables.

3.3.4.2.4. TOPOGRAFÍA

La evaluación de la topografía se hace de acuerdo con el reglamento de clasificación de tierras por capacidad de uso mayor (D.S. N° 017/09- AG) y se evalúa mediante un eclímetro durante el trabajo de campo, considerándose:

- **Topografía Plana:** Aquella cuya pendiente es menor a 15 %.
- **Topografía Media:** Aquella cuya pendiente es mayor a 15 %, pero menos a 50 %.
- **Topografía Pronunciada:** Aquella cuya pendiente es mayor a 50 %.

3.3.4.3. METODOLOGÍA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD

La metodología del índice de vulnerabilidad se desarrolló para las tipologías de mampostería no reforzada y hormigón armado, poniendo un especial interés en las primeras debido a que son las construcciones con mayor porcentaje en Italia y en general en muchas partes del mundo.

Los once parámetros considerados en la calificación de las estructuras, según la condición de calidad (de A (óptimo) a D (desfavorable)) y a los factores de peso W_i asignados a cada parámetro.

3.3.4.3.1. PARÁMETRO 1 - Organización del sistema resistente.

Para las edificaciones de adobe y albañilería, se evalúa el grado de organización de los elementos verticales prescindiendo del tipo de material. El elemento significativo es la presencia y la eficiencia de la conexión entre las paredes ortogonales con tal de asegurar el comportamiento en “cajón” de la estructura. Además se hace un especial énfasis en el uso de la norma de diseño sismorresistente para la construcción de la edificación, así como la intervención de un profesional con experiencia.

Elección de la clase (A, B, C, D).

- **A:** Edificios de adobe según la norma E-080
- **B:** Edificaciones de adobe con elementos de arriostre horizontales y verticales; pero sin asesoramiento técnico.
- **C:** Edificaciones de adobe sin elementos de arriostre en sus 4 lados, sin asesoría técnica, pero con adecuada distribución de muros y

regularidad.

- **D:** Edificaciones de adobe sin elementos de arriostres en sus 4 lados, sin asesoría técnica y sin adecuada distribución de muros. Edificaciones de quincha y tapial.

3.3.4.3.2. PARÁMETRO 2 – Calidad del sistema resistente.

Con este parámetro se determina el tipo de mampostería más frecuente utilizada, diferenciando de modo cualitativo su característica de resistencia con el fin de asegurar la eficiencia del comportamiento en “cajón” de la estructura. La atribución de una edificación a una de las cuatro clases se efectúa en función de dos factores: Primero, el tipo de material y la forma de los elementos que constituyen la mampostería, Segundo, la homogeneidad del material y de las piezas por toda el área del muro.

Elección de la clase (A, B, C, D).

- **A:** el sistema resistente presenta las siguientes tres (03) características:
 1. Muros de piezas homogéneas y de dimensiones constantes.
 2. Buena trabazón entre las unidades de adobe.
 3. Mortero de barro con espesor continuo y homogéneo en las juntas.
- **B:** El sistema no presenta una de las características de la clase A.
- **C:** El sistema no presenta dos de las características de la clase A.
- **D:** El sistema no presenta ninguna de las características de la clase A.

3.3.4.3.3. PARÁMETRO 3 – Resistencia convencional.

Para las edificaciones de adobe y albañilería se requieren de cálculos sencillos, pero conceptualmente importantes. Utilizando la hipótesis del comportamiento de estructura ortogonal y cerrada (tipo cajón), se puede

evaluar con bastante fiabilidad la resistencia que puede presentar un edificio frente a cargas horizontales.

Utilizaremos la metodología propuesta por Hurtado y Cardona desarrollada en 1990, en donde se determinó escoger la clase, no por el factor “a” como acontece con el método de índice de vulnerabilidad, sino por la demanda de ductilidad DD, que es el inverso de “a”.

Para desarrollarla seguiremos los siguientes pasos:

1. Determinar A_x y A_y que son las áreas totales resistentes de muros m^2 en la dirección X y Y respectivamente, cuyo valor para este trabajo se inferirá de los estudios realizados.
2. Determinar la resistencia al cortante menos desfavorable, considerando la menor área de muros en un plano en el primer piso de la edificación. La resistencia cortante se calcula como:

$$VR = \min(A_x, A_y) * v$$

Ecuación 6. Resistencia al cortante.

Donde:

VR= Cortante menos favorable.

V= valor de la resistencia a cortante de los muros.

Tabla 3.6. Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para mampostería de edificios históricos.

| Propiedades mecánicas de algunos tipos de mampostería de edificios históricos | | | | |
|---|------------------|--------------------------|---|-----------------------|
| Material | Peso Volumétrico | Resistencia a compresión | Resistencia a cortante Kg/cm ² | Módulo de elasticidad |
| Adobe | 1.8 | 2 - 5 | 0.5 | 3000 |
| Ladrillo con mortero de lodo | 1.6 | 5 - 10 | 1 | 5000 |

Fuente: Yépez, 1996.

Tabla 3.7. Valores recomendados de esfuerzo cortante máximo para paneles de mampostería.

| Tipo de material | Esfuerzo cortante (tn/m2) |
|----------------------------------|---------------------------|
| Adobe | 5 |
| Ladrillo macizo, calidad regular | 6 - 12 |
| Piedra bien tallada | 7 - 9 |

Fuente: Yépez, 1996

3. Calcular el peso de la edificación que es resistido por la estructura (W), lo cual será la contribución tanto del peso de los muros, pesos de los pisos y cubiertas.

$$W = N \cdot (A_x + A_y) \cdot h \cdot P_m + M \cdot P_s \cdot A_t + A_c \cdot P_c$$

Ecuación 7. Peso de la edificación resistida por muros.

Donde:

W = peso de la estructura.

A_t = área total construida en planta (m²).

A_x = área total resistente de muros (m²), en la dirección X.

A_y = área total resistente de muros (m²), en la dirección Y.

H = altura promedio de entrepiso (m).

N = número de pisos de la edificación.

P_m = peso específico de la mampostería (tn/m³).

P_s = peso por unidad de área del diafragma horizontal (tn/m²)

M = número de diafragmas horizontales.

A_c = área total de la cubierta.

P_c = peso por unidad de área de la cubierta.

Para dichos cálculos se tomaron los siguientes valores:

Valores para P_m : $P_m = 1.6$ tn/m³

Valores para P_s : Para valores de diafragmas abovedados de un promedio de espesores de 0.40m se utilizará 0.7 t/m² o se utilizará la

siguiente tabla:

Tabla 3.8. Diafragmas tipo, utilizado para el cálculo de coeficiente.

| Descripción del forjado | Peso (Kg/m ²) | |
|--|---------------------------|----------|
| | Rango | Promedio |
| Viguetas de madera y entarimado. | 40 - 70 | 55 |
| Viguetas de madera y bovedillas de yeso. | 100 – 160 | 130 |
| Viguetas de madera y tablero de ladrillo. | 60 – 140 | 100 |
| Viguetas metálicas y bovedillas de ladrillo. | 130 – 280 | 205 |
| Viguetas metálicas y mortero ligero. | 160 - 390 | 275 |

Valores para P_c : Para valores de coberturas de teja y barro se utilizara 0.16 tn/m²

Para el valor del área de cubierta se considerará un 20% más del área construida debido a los aleros y pendientes que tienen las viviendas en la zona urbana.

4. Calcular el coeficiente sísmico resistente CSR, es decir el porcentaje del peso de la edificación que es resistido por la estructura, como cortante horizontal en la dirección más desfavorable.

$$CSR = VR/W$$

Ecuación 8. Coeficiente Sísmico Resistente

Donde:

CSR= Coeficiente sísmico resistente.

VR= Cortante menos desfavorable.

W= Peso de la estructura

5. Calcular el coeficiente sísmico exigido (CSE) el cual será el valor del espectro de aceleraciones de diseño para un periodo de vibración dado, tal como menciona el reglamento sismorresistente.

Para mampostería de adobe (E-080):

$$CSE = S.U.C$$

Ecuación 9. Coeficiente Sísmico Exigido

Donde:

CSE = Coeficiente sísmico exigido.

S = Factor de suelo.

U = Factor de uso.

C = Factor dinámico de la estructura.

6. Calcular la demanda de ductilidad, con la relación:

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

Ecuación 10. Demanda de Ductilidad.

Donde:

DD = Demanda de ductilidad.

CSE = Coeficiente sísmico exigido.

CSR = Coeficiente sísmico resistente.

7. Elección de la clase (A, B, C, D).

A: $DD < 0.50$

B: $0.5 \leq DD < 1.0$

C: $1.0 \leq DD < 1.5$

D: $DD \geq 1.5$

3.3.4.3.4. PARÁMETRO 4 – Posición del edificio y cimentación.

Con este parámetro se evalúa hasta donde es posible por medio de una simple inspección visual, la influencia del terreno y de la cimentación en el comportamiento sísmico del edificio. Para ello se tiene en cuenta algunos aspectos, tales como: la consistencia y la pendiente del terreno, la eventual ubicación de la cimentación a diferente cota, la presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén, presencia de humedad, sales, etc.

Elección de la clase (A, B, C, D).

A: Edificación cimentada según la norma de adobe E - 080, sin

presencia de humedad ni sales.

B: Edificación cimentada según la norma de adobe E - 080, con presencia de humedad y sales.

C: Edificación cimentada sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, además presencia de sales y humedad.

D: Edificación cimentada sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, y presencia de sales y humedad. Estado de conservación deteriorado.

3.3.4.3.5. PARÁMETRO 5 – Diafragma horizontales.

La calidad de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Que el diafragma funcione como tal, permitirá que la fuerza sísmica se distribuya en cada nivel proporcional a los elementos resistentes.

Elección de la clase (A, B, C, D).

A: Edificación con diafragma compuesto de una losa aligerada apoyada sobre vigas de concreto armado.

B: Edificación con techo compuesto de caña y vigas de madera en buen estado.

C: Edificación con techo compuesto de caña y vigas de madera en estado defletrado.

D: Edificación sin diafragma. Cubierta de eternit.

3.3.4.3.6. PARÁMETRO 6 – Configuración en planta.

El comportamiento sísmico de un edificio depende en parte de la forma en planta del mismo. En el caso de edificios rectangulares es significativa la razón $\beta_1 = a/L$ entre las dimensiones en planta del lado menor y mayor. También es necesario tener en cuenta las irregularidades del cuerpo principal mediante la relación $\beta_2 = b/L$. En la figura 3.1 se explica el significado de los dos valores que se deben reportar, para lo cual se evalúa

siempre el caso más desfavorable.

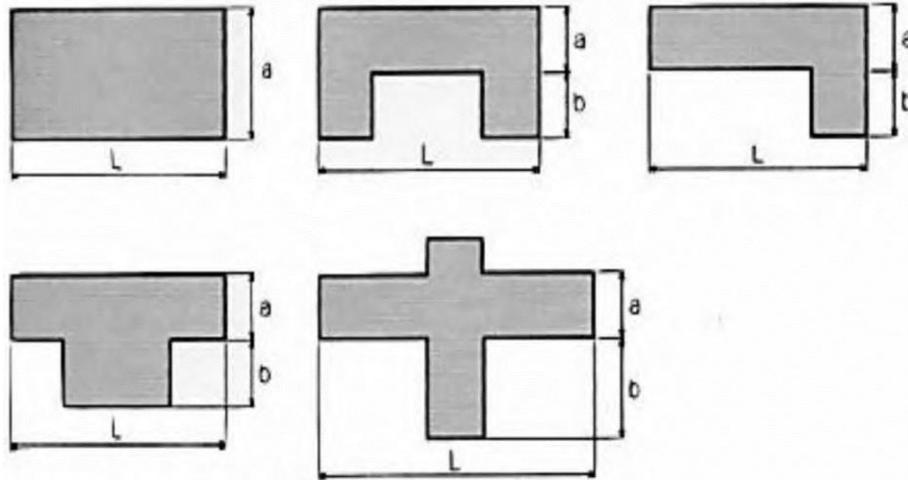


Figura 3.1. Formas originales en planta consideradas en la metodología del índice de vulnerabilidad.

Elección de la clase (A, B, C, D).

$$A: \text{ Si } \beta_1 \geq 0.80 \quad \text{ò} \quad \beta_2 \leq 0.10$$

$$B: \text{ Si } 0.80 > \beta_1 \geq 0.6 \quad \text{ò} \quad 0.10 < \beta_2 \leq 0.20$$

$$C: \text{ Si } 0.60 > \beta_1 \geq 0.4 \quad \text{ò} \quad 0.20 < \beta_2 \leq 0.30$$

$$D: \text{ Si } 0.40 > \beta_1 \quad \text{ò} \quad 0.30 < \beta_2$$

3.3.4.3.7. PARÁMETRO 7 – Configuración en elevación.

En el caso de edificaciones de adobe, albañilería y concreto armado, se reporta la variación de masa en porcentaje $\pm \frac{\Delta M}{M}$ entre dos pisos sucesivos, siendo M la masa del piso más bajo y utilizando el signo (+) si se trata de aumento o el (-) si se trata de disminución de masa hacia lo alto del edificio. La anterior relación puede ser sustituida por la variación de áreas respectivas $\pm \frac{\Delta A}{A}$, evaluando en cualquiera de los dos casos el más desfavorable. Por lo tanto, la evaluación de este parámetro se realiza utilizando la variación de la altura en el edificio, es decir los valores de la altura mínima (obtenido de H-T) y máxima del edificio (H). El valor del parámetro se obtiene de acuerdo a la figura 3.3 en donde RL es la relación entre las dos alturas o altura promedio del edificio.

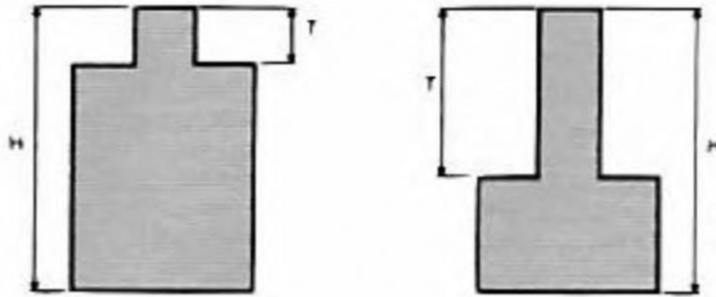


Figura 3.2. Configuración en elevación.

Elección de la clase (A, B, C, D).

A: Edificio con: $\pm \frac{\Delta A}{A} \leq 10\%$

B: Edificio con: $10\% < \pm \frac{\Delta A}{A} \leq 20\%$

C: Edificio con: $20\% < \pm \frac{\Delta A}{A} < 50\%$. Presenta discontinuidad en los sistemas resistentes.

D: Edificio con: $\pm \frac{\Delta A}{A} \geq 50\%$. Presenta irregularidades de piso blando.

3.3.4.3.8. PARÁMETRO 8 – Distancia máxima entre los muros.

Para el caso de edificaciones de adobe, con este parámetro se tiene en cuenta la presencia de muros maestros intersectados por muros transversales ubicados a distancias excesivas entre ellos. Se reporta el factor L/S, donde "L" es el espaciamiento de los muros transversales y "S" el espesor del muro maestro, evaluando siempre el caso más desfavorable. Este parámetro indica que al aumentar el espaciamiento máximo, producto de la eliminación de muros internos secundarios, se altera la vulnerabilidad sísmica del edificio.

Este es un típico efecto de las ampliaciones y remodelaciones arquitectónicas que se realizan en las construcciones existentes, generalmente como consecuencia del cambio de uso de ciertos pisos en las edificaciones. Debido a que no se cuenta con la información suficiente para

calcular este parámetro, se recurre a datos estadísticos obtenidos, en donde se utiliza una relación entre el área construida en planta y el factor L/S.

Elección de la clase (A, B, C, D).

$$A: \text{ Edificio con: } \frac{L}{S} < 15$$

$$B: \text{ Edificio con: } 15 \leq \frac{L}{S} < 18$$

$$C: \text{ Edificio con: } 18 \leq \frac{L}{S} < 25$$

$$D: \text{ Edificio con: } \frac{L}{S} \geq 25$$

3.3.4.3.9. PARÁMETRO 9 – Tipo de cubierta.

Para las edificaciones de adobe se tiene en cuenta la capacidad de la cubierta para resistir fuerzas sísmicas.

Elección de la clase (A, B, C, D).

A: Cubierta estable debidamente amarrada a los muros con conexiones adecuadas y de material liviano. Edificación con cubierta plana.

B: Cubierta inestable con material liviano y en buenas condiciones.

C: Cubierta inestable de material liviano en malas condiciones.

D: Cubierta inestable en malas condiciones y con desnivel.

3.3.4.3.10. PARÁMETRO 10 – Elementos no estructurales.

Se tiene en cuenta con este parámetro la presencia de parapetos o cualquier otro elemento no estructural que pueda causar daño. Se trata de un parámetro secundario para fines de evaluación de la vulnerabilidad, por lo cual no se hace ninguna distinción entre las dos primeras clases.

Elección de la clase (A, B, C, D).

A: Edificación que no contenga elementos no estructurales mal conectados al sistema resistente.

B: Edificación con balcones y parapetos bien conectadas al sistema resistente.

C: Edificación con balcones y parapetos mal conectadas al sistema resistente. Elementos deteriorados debido a su antigüedad.

D: Edificación que presenta tanques de agua o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal conectado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos, que se pueden desplomar en caso de un evento sísmico. Edificio con balcones contruidos posteriormente a la estructura principal y conectada a ésta de modo deficiente y en mal estado.

3.3.4.3.11. PARÁMETRO 11 – Estado de conservación.

En este parámetro, se califica de manera visual la presencia de desperfectos internos de la estructura, así como posibles irregularidades debido a fallas en el proceso constructivo, así como también la antigüedad de las edificaciones, el detalle para cada tipología se presenta a continuación:

Elección de la clase (A, B, C, D).

A: Edificación en buenas condiciones, sin fisura alguna.

B: Edificación sin fisuras pero cuyos componentes están levemente deteriorados.

C: Edificación con fisuras y además cuyos componentes estructurales están deteriorados.

D: Muros con fuerte deterioro de sus componentes, hay presencia de agrietamientos producto de fallas por flexión, por momento y corte.

Las calificaciones de cada uno de los 11 parámetros se sintetizan en fichas de evaluación (ver anexo "A"). Con estas fichas se procedió a realizar la visita técnica a las edificaciones tratando de ingresar a la mayoría de ellas, para

de esta manera poder evaluar cada parámetro correspondiente y determinar el índice de vulnerabilidad (Iv).

El índice de vulnerabilidad define una escala continua de valores desde 0 hasta 382.5 que es el máximo valor posible. Este se divide por 3.825 para obtener un valor de índice de vulnerabilidad normalizado a un rango de $0 < Iv < 100$. Para interpretar mejor los resultados se tienen los siguientes rangos:

- VULNERABILIDAD < 15% : **BAJA**
- $15\% \leq$ VULNERABILIDAD < 35% : **MEDIA**
- VULNERABILIDAD \geq 35% : **ALTA**

3.4. TIPO DE INVESTIGACIÓN

La investigación corresponde al diseño Descriptivo Comparativo no Experimental y se empleó la metodología basada en el procedimiento Deductivo.

3.4.1. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN:

3.4.1.1. DETERMINACIÓN DE SITUACIÓN ACTUAL Y ENCUESTA

El trabajo de campo se realizó en visitas a la zona urbana para el reconocimiento y selección de las viviendas con el fin de hallar una tipología representativa, se realizó la encuesta al jefe de hogar de cada vivienda y también el registro de las mediciones de las viviendas.

La recopilación de información fue a través de dos encuestas y la observación directa. Las encuestas aplicadas están orientadas a la determinación de la vulnerabilidad de la vivienda para casos de sismo, la cual es proporcionada por INDECI y Benedetti-Petrini que se encuentran en el Anexo A. La observación directa nos permite realizar la evaluación cualitativa de las viviendas existentes, determinar las características de la construcción y asignar un valor según corresponda de acuerdo a la sección "D" de la ficha de verificación. En la sección "E" de la ficha se realiza la clasificación del nivel de vulnerabilidad de acuerdo a los valores

obtenidos en la sección “D”, el cual viene a ser el objetivo de la encuesta.

En las edificaciones en las cuales no se pudo ingresar, se trató de registrar la mayor cantidad de datos posibles como configuraciones en planta y elevación, diafragmas horizontales, elementos no estructurales, estado de conservación, etc., para luego, de acuerdo a la similitud con otras edificaciones, en las cuales se tiene la ficha de evaluación completa, evaluar el índice de vulnerabilidad.

3.4.2. FORMULACIÓN DE LA TIPOLOGÍA REPRESENTATIVA

Una vez tomados los datos de cada vivienda se procedió a definir la tipología de construcción considerando características similares que adoptan las construcciones de adobe en la zona urbana de Llacanora. La tipología representativa fue identificada en la sección “D” de la ficha de verificación de Indeci, exactamente en los puntos 7 y 8 donde se indica la configuración geométrica en planta y en elevación. Estas distribuciones son plasmadas en un plano de planta y de elevación de acuerdo a las medidas obtenidas en campo. Básicamente se tomó en cuenta el espesor del muro de adobe, longitud de arriostre de muro en esquinas, dimensiones de puertas y ventanas, altura del muro y techos.

3.4.3. DESCRIPCIÓN Y EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Se realiza la descripción de los elementos estructurales de la vivienda como muros portantes, cimentación y elementos de arriostre según la tipología representativa encontrada. La evaluación estructural se realiza en función a las cargas de trabajo: Muros bajo carga vertical donde se determina el esfuerzo actuante y el esfuerzo admisible del muro. Verificación por cortante, donde se verá la influencia del tipo de mortero, utilizado para el asentado de adobe, en el cálculo del esfuerzo cortante admisible. Verificación por flexión, para comprobar el espesor del muro sujeto a cargas perpendiculares a su plano, finalmente se tiene la evaluación de la longitud del muro de arriostre en esquinas el cual se verifica por volteo y por cortante.

3.5. LINEAMIENTOS DE INTERVENCIÓN

Se dan alcances para la estabilización estructural con el objetivo de cubrir los requerimientos de sollicitación sísmica de las viviendas, estos alcances son simples de emplear, económicos y efectivos.

3.6. TIPO DE ANÁLISIS

Análisis Cuantitativo. Recolectamos y resumimos de manera cuidadosa los datos sobre la base de la hipótesis. Luego analizamos minuciosamente los resultados, con el fin de dar respuesta a la hipótesis formulada.

3.7. PROCESAMIENTO DE DATOS

El procesamiento de datos se realizó en forma computarizada utilizando softwares como Autodesk AutoCAD, Microsoft Word, Microsoft Excel, Documento de Texto.

3.8. ANÁLISIS DE DATOS Y PRESENTACIÓN DE LOS RESULTADOS

El **procesamiento y recolección** de los datos se hizo utilizando Microsoft Excel, Microsoft Word, Documento de Texto y Autodesk AutoCAD.

La **presentación** de los resultados es a través de Gráficos y Tablas.

4. CAPITULO IV

RESULTADOS

4.1. DESCRIPCIÓN.

Los estudios de riesgo sísmico a nivel urbano requieren de una metodología que permita evaluar la calidad estructural o vulnerabilidad sísmica de los edificios, para de esta manera obtener posibles escenarios de daño como consecuencia de un terremoto. Esto será posible con la disposición de los datos requeridos por la metodología, es decir, la información de los edificios, de las propiedades del suelo en donde se encuentran ubicados y de la peligrosidad sísmica de la zona. Para el presente estudio se eligió la metodología del Índice de Vulnerabilidad que permite evaluar la calidad estructural de los edificios mediante la calificación de 11 parámetros.

Las viviendas a analizar corresponden a todas las edificaciones de adobe en la zona urbana del distrito de Llacanora.

En este capítulo se realizarán los cálculos para obtener el peligro sísmico, para luego calcular el índice de vulnerabilidad, finalizando en la obtención del riesgo sísmico.

4.2. NIVEL DE PELIGRO SÍSMICO

Se determina haciendo uso de las Tablas 3.3, 3.4 y 3.5; también se puede determinar con la ecuación descrita en el numeral 3.3.4.5.1 del capítulo anterior.

Tabla 4.1. Asignación de Valores para la evaluación del Peligro Sísmico.

| Parámetro | Calificación | Observación | Valor Asignado |
|------------------------|--------------|---|----------------|
| Sismicidad | Z3 | Zona de Moderada Sismicidad | 2 |
| Suelo | S2 | Capacidad Portante de 1.17 kg/cm ² . Suelo Intermedio. | 2 |
| Topografía y Pendiente | Plana | Pendiente menor a 15% | 1 |
| | Media | Pendiente de 15% a 50% | 2 |

Fuente: Elaboración propia.

De los datos obtenidos en las guías de observación para evaluar el nivel de peligro se obtuvo los resultados siguientes (Primeras 35 viviendas):

Tabla 4.2. Nivel del Peligro según condiciones.

| VIVIENDA N° | SISMICIDAD | SUELO | TOPOGRAFÍA | PELIGRO SÍSMICO |
|-------------|------------|--------------|------------|-----------------|
| 01 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 02 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 03 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 04 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 05 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 06 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 07 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 08 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 09 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 10 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 11 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 12 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 13 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 14 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 15 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 16 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 17 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 18 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 19 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 20 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 21 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 22 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 23 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 24 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 25 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 26 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 27 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 28 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 29 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 30 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 31 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 32 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 33 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |
| 34 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | PLANA 1 | 1.80 MEDIO |
| 35 | MEDIA 2 | INTERMEDIO 2 | MEDIA 2 | 2.00 MEDIO |

Fuente: Elaboración propia.

En la tabla 4.2, se especifica el nivel de peligro en la que se encuentra cada una de las viviendas encuestadas en este caso solo de las 35 primeras viviendas.

4.3. NIVEL DE VULNERABILIDAD

Se calcularon los índices de vulnerabilidad para las viviendas de adobe de la zona urbana del distrito de Llacanora. Este cálculo se realiza conforme a los parámetros descritos anteriormente e implementados en el entorno Excel; en este proceso se agrega nuevos campos a la base de datos entre los cuales se encuentra los 11 parámetros del índice de vulnerabilidad.

A continuación se detalla los resultados obtenidos calificando la clase a la cual pertenecen las edificaciones en cada uno de los 11 parámetros, de acuerdo a la base de datos procesada en el área de estudio.

4.3.1. RESULTADOS DE LOS 11 PARÁMETROS POR CLASE.

Para obtener los índices de vulnerabilidad de cada una de las viviendas de adobe de la zona urbana del distrito de Llacanora, se realizaron visitas de campo periódicas a la zona en estudio; De esta forma se pudo analizar cada parámetro de la metodología del índice de vulnerabilidad, para luego asignar las correspondientes calificaciones, obteniendo mediante la aplicación de la fórmula que caracteriza al método, el respectivo índice de vulnerabilidad para cada edificación.

Para la evaluación de las edificaciones se utilizaron una ficha de evaluación (ver anexo "A"), en donde se describen cada uno de los 11 parámetros evaluados, cuyos resultados se detallan a continuación:

4.3.1.1. PARÁMETRO 1 - Organización del sistema resistente.

La asignación de las clases A, B, C, y D en este parámetro ha sido en base al año de construcción de la edificación y visualización de elementos resistentes, así como su proceso constructivo. Además, se hace un especial énfasis en el uso de la norma sismorresistente para la construcción del edificio.

Tabla 4.3. Resultados del parámetro 1 para las edificaciones evaluadas (Primeras 50 viviendas).

| VIVIENDA N° | CALIFICACIÓN | | | |
|-------------|--------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 01 | | | X | |
| 02 | | | X | |
| 03 | | | X | |
| 04 | | | X | |
| 05 | | | X | |
| 06 | | | X | |
| 07 | | | X | |
| 08 | | | X | |
| 09 | | | X | |
| 10 | | | X | |
| 11 | | | X | |
| 12 | | | X | |
| 13 | | | X | |
| 14 | | | X | |
| 15 | | | X | |
| 16 | | | X | |
| 17 | | | X | |
| 18 | | | X | |
| 19 | | | X | |
| 20 | | | X | |
| 21 | | | | X |
| 22 | | | X | |
| 23 | | | X | |
| 24 | | | X | |
| 25 | | | X | |
| 26 | | | X | |
| 27 | | X | | |
| 28 | | | X | |
| 29 | | | X | |
| 30 | | | X | |
| 31 | | | X | |
| 32 | | | X | |
| 33 | | | X | |
| 34 | | | X | |
| 35 | | | X | |
| 36 | | | X | |
| 37 | | | X | |
| 38 | | | X | |
| 39 | | | X | |
| 40 | | | X | |
| 41 | | | X | |
| 42 | | | X | |
| 43 | | | X | |
| 44 | | | X | |
| 45 | | | X | |
| 46 | | | X | |
| 47 | | | X | |
| 48 | | | X | |
| 49 | | | X | |
| 50 | | | X | |

Fuente: Elaboración propia.

La evaluación en viviendas de adobe, se asignó la clase "C" a las edificaciones construidas sin asesoría técnica (autoconstrucción), mientras que la clase "D" fue asignada a las edificaciones en la que se observa vicios construidos que hacen imposible el comportamiento tipo "cajón".

Casi la totalidad de las edificaciones de adobe, debido a la ausencia de elementos de confinamiento, carecen de esa capacidad de comportamiento tipo de "cajón".



Figura 4.1. Edificación de adobe sin arriostramiento horizontal y vertical.

4.3.1.2. PARÁMETRO 2 – Calidad del sistema resistente.

El uso de materiales de baja calidad, así como de mano de obra no calificada, debido a la inestable situación económica, de la población del Distrito de Llacanora que impide la posibilidad de contar con profesionales y recurren a la construcción informal.

Tabla 4.4. Resultados del parámetro 2 para las edificaciones evaluadas (Primeras 50 viviendas).

| VIVIENDA N° | CALIFICACIÓN | | | |
|-------------|--------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 01 | | X | | |
| 02 | | X | | |
| 03 | | X | | |
| 04 | | X | | |
| 05 | | X | | |
| 06 | | X | | |
| 07 | | X | | |
| 08 | | X | | |
| 09 | | X | | |
| 10 | | | X | |
| 11 | | X | | |
| 12 | | X | | |
| 13 | | X | | |
| 14 | | X | | |
| 15 | | X | | |
| 16 | | X | | |
| 17 | | X | | |
| 18 | | | X | |
| 19 | | X | | |
| 20 | | X | | |
| 21 | | | | X |
| 22 | | X | | |
| 23 | | | X | |
| 24 | | | X | |
| 25 | | X | | |
| 26 | | X | | |
| 27 | X | | | |
| 28 | | X | | |
| 29 | | X | | |
| 30 | | X | | |
| 31 | | X | | |
| 32 | | X | | |
| 33 | | X | | |
| 34 | | X | | |
| 35 | | X | | |
| 36 | | | X | |
| 37 | | X | | |
| 38 | | | | X |
| 39 | | X | | |
| 40 | | X | | |
| 41 | | X | | |
| 42 | | | X | |
| 43 | | | | X |
| 44 | | X | | |
| 45 | | X | | |
| 46 | | X | | |
| 47 | | X | | |
| 48 | | X | | |
| 49 | | X | | |
| 50 | | X | | |

Fuente: Elaboración propia.

La asignación de las clases A, B, C y D en este parámetro en las construcciones ha sido por el uso constante de adobes artesanales, los que generalmente no cumplen con los requisitos mínimos para ser usados en la construcción. Esto puede constatarse por el porcentaje mínimo de la clase "A", categoría a la cual permanecen las edificaciones con adobe de buena calidad.

Por el contrario tenemos gran porcentaje de las clase B, debido a la falta de guía profesional, ni mano de obra adecuada, y recurren a la construcción informal, agravándose el problema por la falta de cuidado en el asentado de los ladrillos, lo cual conlleva a muros con juntas de excesivo o pequeño espesor, o espesores de junta de dimensiones variables. Las edificaciones de adobe son, por lo general, las más antiguas, de épocas donde no había especificaciones mínimas de uso, por lo que la calidad actual de estos en su mayoría es mala.



Figura 4.2. Mampostería de adobe homogéneo y de regular calidad.



Figura 4.3. Construcciones antiguas y de baja calidad.

4.3.1.3. PARÁMETRO 3 – Resistencia convencional.

La asignación de las clases A, B, C, D en este parámetro estuvo en medida del nivel de resistencia de una edificación y la probable fuerza a la que está sometida la misma.

Tabla 4.5. Resultados del parámetro 3 para las edificaciones evaluadas (Primeras 35 viviendas).

| VI. Nº | VR | N | W | CSR | CSE | DD | CALIFICACIÓN | | | |
|--------|---------|-----|---------|-------|-------|-------|--------------|---|---|---|
| | | | | | | | A | B | C | D |
| 01 | 90.000 | 2.0 | 376.232 | 0.239 | 0.280 | 1.170 | | | X | |
| 02 | 75.000 | 1.0 | 202.350 | 0.371 | 0.280 | 0.755 | | X | | |
| 03 | 90.000 | 1.0 | 239.062 | 0.376 | 0.280 | 0.744 | | X | | |
| 04 | 165.000 | 2.0 | 797.558 | 0.207 | 0.280 | 1.353 | | | X | |
| 05 | 150.000 | 2.0 | 715.220 | 0.210 | 0.280 | 1.335 | | | X | |
| 06 | 100.000 | 1.0 | 315.940 | 0.317 | 0.280 | 0.885 | | X | | |
| 07 | 105.000 | 2.0 | 459.828 | 0.228 | 0.280 | 1.226 | | | X | |
| 08 | 150.000 | 2.0 | 671.160 | 0.223 | 0.280 | 1.253 | | | X | |
| 09 | 100.000 | 1.0 | 274.080 | 0.365 | 0.280 | 0.767 | | X | | |
| 10 | 125.000 | 2.0 | 613.200 | 0.204 | 0.280 | 1.374 | | | X | |
| 11 | 120.000 | 2.0 | 526.240 | 0.228 | 0.280 | 1.228 | | | X | |
| 12 | 150.000 | 2.0 | 559.700 | 0.268 | 0.280 | 1.045 | | | X | |
| 13 | 75.000 | 2.0 | 322.600 | 0.232 | 0.280 | 1.204 | | | X | |
| 14 | 120.000 | 2.0 | 500.160 | 0.240 | 0.280 | 1.167 | | | X | |
| 15 | 90.000 | 2.0 | 368.976 | 0.244 | 0.280 | 1.148 | | | X | |
| 16 | 120.000 | 2.0 | 596.832 | 0.201 | 0.280 | 1.393 | | | X | |
| 17 | 105.000 | 1.0 | 271.800 | 0.386 | 0.280 | 0.725 | | X | | |
| 18 | 75.000 | 2.0 | 278.800 | 0.269 | 0.280 | 1.041 | | | X | |
| 19 | 150.000 | 2.0 | 617.880 | 0.243 | 0.280 | 1.153 | | | X | |
| 20 | 135.000 | 2.0 | 633.996 | 0.213 | 0.280 | 1.315 | | | X | |
| 21 | 60.000 | 1.0 | 131.424 | 0.457 | 0.280 | 0.613 | | X | | |
| 22 | 150.000 | 2.0 | 623.930 | 0.240 | 0.280 | 1.165 | | | X | |
| 23 | 75.000 | 2.0 | 385.500 | 0.195 | 0.280 | 1.439 | | | X | |
| 24 | 120.000 | 2.0 | 596.832 | 0.201 | 0.280 | 1.393 | | | X | |
| 25 | 150.000 | 2.0 | 671.160 | 0.223 | 0.280 | 1.253 | | | X | |
| 26 | 60.000 | 2.0 | 284.920 | 0.211 | 0.280 | 1.330 | | | X | |
| 27 | 105.000 | 2.0 | 634.606 | 0.165 | 0.280 | 1.692 | | | | X |
| 28 | 120.000 | 2.0 | 715.920 | 0.168 | 0.280 | 1.670 | | | | X |
| 29 | 165.000 | 2.0 | 658.867 | 0.250 | 0.280 | 1.118 | | | X | |
| 30 | 135.000 | 2.0 | 674.502 | 0.200 | 0.280 | 1.399 | | | X | |
| 31 | 150.000 | 1.0 | 438.840 | 0.342 | 0.280 | 0.819 | | X | | |
| 32 | 120.000 | 2.0 | 675.344 | 0.178 | 0.280 | 1.576 | | | | X |
| 33 | 150.000 | 2.0 | 584.400 | 0.257 | 0.280 | 1.091 | | | X | |
| 34 | 120.000 | 1.0 | 302.416 | 0.397 | 0.280 | 0.706 | | X | | |
| 35 | 120.000 | 2.0 | 517.440 | 0.232 | 0.280 | 1.207 | | | X | |

Fuente: Elaboración propia.

En su mayoría fueron asignados a la clase C, debido a que estas edificaciones tienen una densidad de muros en la dirección más corta que es insuficiente para resistir la fuerza sísmica, debido a su gran peso.

4.3.1.4. PARÁMETRO 4 – Posición del edificio y cimentación.

La asignación de las clases A, B, C y D en este parámetro ha sido en base a la visualización en campo de los elementos resistentes, a la aplicación de la norma vigente (E.080 2017 - Construcción con tierra reforzada).

Tabla 4.6. Resultados del parámetro 4 para las edificaciones evaluadas.

| VIVIENDA Nº | CALIFICACIÓN | | | |
|-------------|--------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 01 | | | X | |
| 02 | | | X | |
| 03 | | | X | |
| 04 | | | X | |
| 05 | | | X | |
| 06 | | | X | |
| 07 | | | X | |
| 08 | | | X | |
| 09 | | | X | |
| 10 | | | X | |
| 11 | | | X | |
| 12 | | | X | |
| 13 | | | X | |
| 14 | | | X | |
| 15 | | | X | |
| 16 | | | X | |
| 17 | | | X | |
| 18 | | | X | |
| 19 | | | X | |
| 20 | | | X | |
| 21 | | | | X |
| 22 | | | X | |
| 23 | | | X | |
| 24 | | | X | |
| 25 | | | X | |
| 26 | | | X | |
| 27 | | | X | |
| 28 | | | X | |
| 29 | | | X | |
| 30 | | | X | |
| 31 | | | X | |
| 32 | | | X | |
| 33 | | | X | |
| 34 | | | X | |
| 35 | | | X | |
| 36 | | | X | |
| 37 | | | X | |
| 38 | | | | X |
| 39 | | | X | |
| 40 | | | X | |

Fuente: Elaboración propia.

Para las edificaciones de adobe debido a la presencia de humedad y sales se les asigno la calificación "C" y si además el estado de conservación del edificio es deteriorado se le asigno con la calificación "D".



Figura 4.4. Presencia de humedad en el sobrecimiento y muros.

4.3.1.5. PARÁMETRO 5 – Diafragma horizontales.

La ejecución de un proyecto sin planos aprobados hace que se observen deficiencias ocasionadas por la mala práctica constructiva.

Tabla 4.7. Resultados del parámetro 5 edificaciones evaluadas (Primeras 20 viviendas).

| VIVIENDA Nº | CALIFICACIÓN | | | |
|-------------|--------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 01 | | X | | |
| 02 | | X | | |
| 03 | | X | | |
| 04 | | | X | |
| 05 | | | X | |
| 06 | | | X | |
| 07 | | | X | |
| 08 | | X | | |
| 09 | | X | | |
| 10 | | | X | |
| 11 | | | X | |
| 12 | | | X | |
| 13 | | X | | |
| 14 | | | X | |
| 15 | | X | | |
| 16 | | X | | |
| 17 | | X | | |
| 18 | | | X | |
| 19 | | | X | |
| 20 | | X | | |

Fuente: Elaboración propia.

Las edificaciones de adobe son antiguas y están ubicadas dentro de las clases "B" y de "C", ya que en su mayoría poseen techos flexibles de madera y caña, muchos en estado deflectado, o bien tienen únicamente una cobertura liviana (calamina o eternit). Ninguno de ambos se comporta como diafragma rígido, los muros, en caso de sollicitación sísmica, actuaran como si estuvieran en voladizo.



Figura 4.5. Techo compuesto de caña y vigas de madera en estado deflectado.

4.3.1.6. PARÁMETRO 6 – Configuración en planta.

La asignación de las clases A, B, C y D en este, parámetro ha sido en base a la simetría en planta. Puede observarse en la Tabla 4.8 que buen número de edificaciones guardan una aceptable simetría en planta, con algunos casos donde hay notables formas irregulares, lo que genera efectos de torsión en la estructura.

Tabla 4.8. Resultados del parámetro 6 para las edificaciones evaluados (Primeras 40 viviendas).

| VI. Nº | a | L | B1 | CALIFICACIÓN | | | |
|--------|-------|-------|-------|--------------|---|---|---|
| | | | | A | B | C | D |
| 01 | 6.00 | 11.00 | 0.545 | | | X | |
| 02 | 5.00 | 10.00 | 0.500 | | | X | |
| 03 | 6.00 | 11.00 | 0.545 | | | X | |
| 04 | 11.00 | 14.00 | 0.786 | | X | | |
| 05 | 10.00 | 14.00 | 0.714 | | X | | |
| 06 | 5.00 | 10.00 | 0.500 | | | X | |
| 07 | 7.00 | 12.00 | 0.583 | | | X | |
| 08 | 10.00 | 12.00 | 0.833 | X | | | |
| 09 | 8.00 | 10.00 | 0.800 | X | | | |
| 10 | 10.00 | 10.00 | 1.000 | X | | | |
| 11 | 8.00 | 10.00 | 0.800 | X | | | |
| 12 | 10.00 | 10.00 | 1.000 | X | | | |
| 13 | 5.00 | 10.00 | 0.500 | | | X | |
| 14 | 8.00 | 10.00 | 0.800 | X | | | |
| 15 | 6.00 | 8.00 | 0.750 | | X | | |
| 16 | 8.00 | 12.00 | 0.667 | | X | | |
| 17 | 7.00 | 10.00 | 0.700 | | X | | |
| 18 | 5.00 | 8.00 | 0.625 | | X | | |
| 19 | 10.00 | 11.00 | 0.909 | X | | | |
| 20 | 9.00 | 12.00 | 0.750 | | X | | |
| 21 | 4.00 | 8.00 | 0.500 | | | X | |
| 22 | 10.00 | 11.00 | 0.909 | X | | | |
| 23 | 5.00 | 12.00 | 0.417 | | | X | |
| 24 | 8.00 | 12.00 | 0.667 | | X | | |
| 25 | 10.00 | 12.00 | 0.833 | X | | | |
| 26 | 4.00 | 10.00 | 0.400 | | | X | |
| 27 | 7.00 | 14.00 | 0.500 | | | X | |
| 28 | 8.00 | 15.00 | 0.533 | | | X | |
| 29 | 11.00 | 11.00 | 1.000 | X | | | |
| 30 | 9.00 | 14.00 | 0.643 | | X | | |
| 31 | 10.00 | 12.00 | 0.833 | X | | | |
| 32 | 8.00 | 14.00 | 0.571 | | | X | |
| 33 | 10.00 | 10.00 | 1.000 | X | | | |
| 34 | 8.00 | 11.00 | 0.727 | | X | | |
| 35 | 8.00 | 10.00 | 0.800 | X | | | |
| 36 | 7.00 | 11.00 | 0.636 | | X | | |
| 37 | 8.00 | 9.00 | 0.889 | X | | | |
| 38 | 8.00 | 8.00 | 1.000 | X | | | |
| 39 | 8.00 | 11.00 | 0.727 | | X | | |
| 40 | 10.00 | 15.00 | 0.667 | | X | | |

Fuente: Elaboración propia.

El método evalúa la condición de simetría en planta de los edificios, proponiendo los valores más altos del parámetro cuando las dimensiones en planta se asemejan a secciones cuadradas, sin protuberancias adicionales y penalizándose las secciones excesivamente alargadas o con protuberancias demasiado grandes, las cuales pueden provocar problemas de torsión en planta y concentraciones de esfuerzos en las esquinas y en los elementos más alejados de los centros de gravedad y de rigidez.



Figura 4.6. Vivienda con irregularidad en planta.

4.3.1.7. PARÁMETRO 7 – Configuración en elevación.

La asignación de las clases A, B, C y D en este parámetro ha sido en base a la inadecuada configuración en elevación que conlleva a problemas como el piso blando, el cual se produce cuando hay un cambio brusco de rigidez entre pisos consecutivos. También se encuentra que elementos que conforman parte del sistema resistente no son continuos en toda la altura de la edificación.

En la mayoría de las construcciones se observó que no presentan irregularidad en altura, se encontró también con mucha frecuencia, que elementos que conforman parte del sistema resistente no son continuos en toda la altura de la edificación, esto mayormente en la dirección más corta como en fachadas.

Tabla 4.9. Resultados del parámetro 7 para las edificaciones evaluadas (Primeras 50 viviendas).

| VIVIENDA Nº | CALIFICACIÓN | | | |
|-------------|--------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 01 | | X | | |
| 02 | | X | | |
| 03 | | X | | |
| 04 | | X | | |
| 05 | | X | | |
| 06 | | X | | |
| 07 | | X | | |
| 08 | | X | | |
| 09 | | X | | |
| 10 | | X | | |
| 11 | | X | | |
| 12 | | X | | |
| 13 | | X | | |
| 14 | | X | | |
| 15 | | X | | |
| 16 | | X | | |
| 17 | | X | | |
| 18 | | X | | |
| 19 | | X | | |
| 20 | | X | | |
| 21 | | X | | |
| 22 | | X | | |
| 23 | | X | | |
| 24 | | X | | |
| 25 | | X | | |
| 26 | | X | | |
| 27 | | | X | |
| 28 | | X | | |
| 29 | | X | | |
| 30 | | X | | |
| 31 | | X | | |
| 32 | | X | | |
| 33 | | X | | |
| 34 | | X | | |
| 35 | | X | | |
| 36 | | | X | |
| 37 | | X | | |
| 38 | | X | | |
| 39 | | X | | |
| 40 | | X | | |
| 41 | | X | | |
| 42 | | X | | |
| 43 | | X | | |
| 44 | | X | | |
| 45 | | X | | |
| 46 | | X | | |
| 47 | | X | | |
| 48 | | X | | |
| 49 | | X | | |
| 50 | | X | | |

Fuente: Elaboración propia.

Para distinguir las clases de este parámetro, se contó con el dato de área construida de cada vivienda por cada uno de sus pisos, información encontrada en las fichas de evaluación. Se asumió que la densidad de muros del segundo piso era un 20% mayor que la densidad de muros del primer piso (para el caso de casas de 2 pisos) por tener este último, por lo general, menos divisiones.

4.3.1.8. PARÁMETRO 8 – Distancia máxima entre los muros.

Se evaluó en base a la distancia máxima entre muros y espesor para viviendas de adobe.

Tabla 4.10. Resultados del parámetro 8 para las edificaciones evaluadas (Primeras 20 viviendas).

| VIV. Nº | L | S | L/S | CALIFICACIÓN | | | |
|---------|------|------|--------|--------------|---|---|---|
| | | | | A | B | C | D |
| 01 | 5.50 | 0.30 | 18.333 | | | X | |
| 02 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 03 | 5.50 | 0.30 | 18.333 | | | X | |
| 04 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 05 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 06 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 07 | 6.00 | 0.30 | 20.000 | | | X | |
| 08 | 6.00 | 0.30 | 20.000 | | | X | |
| 09 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 10 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 11 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 12 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 13 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 14 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 15 | 4.00 | 0.30 | 13.333 | X | | | |
| 16 | 6.00 | 0.30 | 20.000 | | | X | |
| 17 | 5.00 | 0.30 | 16.667 | | X | | |
| 18 | 4.00 | 0.30 | 13.333 | X | | | |
| 19 | 5.50 | 0.30 | 18.333 | | | X | |
| 20 | 6.00 | 0.30 | 20.000 | | | X | |

Fuente: Elaboración propia.

La mayor cantidad de viviendas de adobe, se ha calificado con la letra B, esto quiere decir que la mayoría de viviendas presenta una separación de muros adecuada, estando dentro de los rangos de clasificación para elegir la clase o letra.



Figura 4.7. Edificación de adobe con excesiva separación de muros.

4.3.1.9. PARÁMETRO 9 – Tipo de cubierta.

En este parámetro se clasificaron los diferentes tipos de cubierta encontrados según la capacidad que tengan para resistir la fuerza sísmica. Cuando estas cubiertas no son lo suficientemente estables, fallarán, y los muros sobre los que se apoya actuarán en voladizo, siendo vulnerable ante acciones perpendiculares a su plano.

En las viviendas de adobe la influencia del tipo de cubierta en el comportamiento sísmico de un edificio es muy importante. Factores como su peso determinan dicho comportamiento. La evaluación del parámetro se realiza utilizando el campo correspondiente a la edad de los edificios y el material utilizado en la construcción de la cubierta.

Tabla 4.11. Resultados del parámetro 9 para las edificaciones evaluadas (Primeras 50 viviendas).

| VIV. Nº | CALIFICACIÓN | | | |
|---------|--------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 01 | | | X | |
| 02 | | | X | |
| 03 | | X | | |
| 04 | | | X | |
| 05 | | | X | |
| 06 | | | X | |
| 07 | | | X | |
| 08 | | | X | |
| 09 | | | X | |
| 10 | | | X | |
| 11 | | | X | |
| 12 | | | X | |
| 13 | | X | | |
| 14 | | | X | |
| 15 | | X | | |
| 16 | | | X | |
| 17 | | | X | |
| 18 | | | X | |
| 19 | | | X | |
| 20 | | X | | |
| 21 | | | | X |
| 22 | | X | | |
| 23 | | | X | |
| 24 | | | X | |
| 25 | | X | | |
| 26 | | X | | |
| 27 | | X | | |
| 28 | | X | | |
| 29 | | | X | |
| 30 | | X | | |
| 31 | | | X | |
| 32 | | X | | |
| 33 | | X | | |
| 34 | | X | | |
| 35 | | | X | |
| 36 | | | X | |
| 37 | | | X | |
| 38 | | | | X |
| 39 | | | X | |
| 40 | | | X | |
| 41 | | X | | |
| 42 | | | X | |
| 43 | | | X | |
| 44 | | | X | |
| 45 | | | X | |
| 46 | | | X | |
| 47 | | | X | |
| 48 | | | X | |
| 49 | | | X | |
| 50 | | | X | |

Fuente: Elaboración propia.

Gran parte de las edificaciones existente en la zona de estudio utilizan como cubierta el carrizo y madera con barro, siendo estos elementos inestables y calificados con las clases "B" y "C", pues la falta de una longitud de apoyo adecuada de los elementos principales de la cubierta facilita que se presente la pérdida del apoyo y el consecuente colapso de la estructura por los desplazamientos inducidos en los muros portantes.

4.3.1.10. PARÁMETRO 10 – Elementos no estructurales.

Este parámetro considera elementos que no tienen función estructural, pero cuyo desplome representa un peligro.

Se intenta tener en cuenta el efecto de los elementos que no forman parte del esquema estructural resistente, tales como cornisas, parapetos, balcones o cualquier elemento que sobresalga de la estructura y cuya caída pueda provocar víctimas.

Tabla 4.12. Resultados del parámetro 10 (Primeras 20 viviendas).

| VIV. Nº | CALIFICACIÓN | | | |
|---------|--------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 01 | X | | | |
| 02 | X | | | |
| 03 | X | | | |
| 04 | | | X | |
| 05 | | X | | |
| 06 | | | X | |
| 07 | | | X | |
| 08 | | X | | |
| 09 | X | | | |
| 10 | | X | | |
| 11 | | | X | |
| 12 | | X | | |
| 13 | X | | | |
| 14 | | X | | |
| 15 | | X | | |
| 16 | | X | | |
| 17 | X | | | |
| 18 | X | | | |
| 19 | | X | | |
| 20 | X | | | |

Fuente: Elaboración propia.

Una parte de las edificaciones presentan pequeños elementos no estructurales con algunas deficiencias al ser conectados a la estructura.

Las construcciones antiguas de adobe presentan en algunos casos parapetos, estos son enmarcados dentro de la clase "C", mientras que aquellos elementos no estructurales de mayor peso que constituyen mayor peligro, son situados dentro de la clase "D", como por ejemplo los tanques elevados mal conectados al sistema resistente.

4.3.1.11. PARÁMETRO 11 – Estado de conservación.

La antigüedad de las edificaciones de las edificaciones de adobe produce el deterioro de las propiedades mecánicas de sus materiales, haciendo que en caso de un terremoto su capacidad de soportarlo sea mínima. Por eso se las ha clasificado, en su mayoría, en las categorías "C" y "D".

Tabla 4.13. Resultados del parámetro 11 para las edificaciones evaluadas.

| VI. Nº | CALIFICACIÓN | | | |
|--------|--------------|---|---|---|
| | A | B | C | D |
| 01 | | X | | |
| 02 | | | X | |
| 03 | | | X | |
| 04 | | | X | |
| 05 | | X | | |
| 06 | | | X | |
| 07 | | | X | |
| 08 | | X | | |
| 09 | | | X | |
| 10 | | | | X |
| 11 | | | X | |
| 12 | | | X | |
| 13 | | | X | |
| 14 | | | X | |
| 15 | | | X | |
| 16 | X | | | |
| 17 | | | | X |
| 18 | | | X | |
| 19 | | | X | |
| 20 | | | X | |
| 21 | | | | X |
| 22 | | X | | |
| 23 | | | X | |
| 24 | | | X | |
| 25 | | X | | |
| 26 | X | | | |
| 27 | | X | | |
| 28 | | X | | |
| 29 | | | X | |
| 30 | | | X | |

Fuente: Elaboración propia.



Figura 4.8. Viviendas en mal y buen estado de conservación.

4.3.2. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (Iv).

Una vez evaluado el índice de vulnerabilidad (IV) para cada edificación, el cual varía de 0 a 382.5 para Adobe según la metodología propuesta, se procede a normalizar el Índice de Vulnerabilidad (Iv), en un rango de 0 a 100.

Los resultados en detalle de la vulnerabilidad se muestran en los siguientes cuadros.

Tabla 4.14. Resultados del Iv por vivienda para cada parámetro y asignación de valor según clase.

| VI Nº | PARÁMETRO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | Iv |
|-------|-----------|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|--------|
| | 1 | | 2 | | 3 | | 4 | | 5 | | 6 | | 7 | | 8 | | 9 | | 10 | | 11 | | |
| | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | CL | Ki | |
| 01 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | A | 0 | B | 5 | 136.25 |
| 02 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 121.25 |
| 03 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | B | 15 | A | 0 | C | 25 | 116.25 |
| 04 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | 157.50 |
| 05 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 0 | B | 5 | 131.25 |
| 06 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 15 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | 137.50 |
| 07 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | 172.50 |
| 08 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 0 | B | 5 | 123.75 |
| 09 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 108.75 |
| 10 | C | 20 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 0 | D | 45 | 173.75 |
| 11 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | 155.00 |
| 12 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 0 | C | 25 | 148.75 |
| 13 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 15 | A | 0 | C | 25 | 141.25 |
| 14 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 0 | C | 25 | 148.75 |
| 15 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | A | 0 | B | 15 | B | 0 | C | 25 | 130.00 |
| 16 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 0 | A | 0 | 121.25 |
| 17 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | D | 45 | 131.25 |
| 18 | C | 20 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | B | 5 | B | 5 | A | 0 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 155.00 |

| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|---|----|--------|
| 19 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 0 | C | 25 | 153.75 |
| 20 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 15 | A | 0 | C | 25 | 136.25 |
| 21 | D | 45 | D | 45 | B | 5 | D | 45 | D | 45 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | D | 45 | A | 0 | D | 45 | 250.00 |
| 22 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | C | 25 | B | 15 | A | 0 | B | 5 | 113.75 |
| 23 | C | 20 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 171.25 |
| 24 | C | 20 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | 167.50 |
| 25 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | C | 25 | B | 15 | A | 0 | B | 5 | 113.75 |
| 26 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 15 | A | 0 | A | 0 | 116.25 |
| 27 | B | 5 | A | 0 | D | 45 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | B | 15 | B | 0 | B | 5 | 160.00 |
| 28 | C | 20 | B | 5 | D | 45 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 15 | B | 0 | B | 5 | 151.25 |
| 29 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 0 | C | 25 | 153.75 |
| 30 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 15 | C | 25 | C | 25 | 142.50 |
| 31 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | A | 0 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 117.50 |
| 32 | C | 20 | B | 5 | D | 45 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 15 | C | 25 | C | 25 | 177.50 |
| 33 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | B | 15 | C | 25 | C | 25 | 135.00 |
| 34 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 15 | A | 0 | B | 5 | 86.25 |
| 35 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 148.75 |
| 36 | C | 20 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 181.25 |
| 37 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | D | 45 | 175.00 |
| 38 | C | 20 | D | 45 | C | 25 | D | 45 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | A | 0 | D | 45 | A | 0 | B | 5 | 172.50 |
| 39 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 146.25 |
| 40 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | B | 5 | 121.25 |
| 41 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | A | 0 | A | 0 | B | 5 | 96.25 |
| 42 | C | 20 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | A | 0 | C | 25 | A | 0 | B | 5 | 132.5 |
| 43 | C | 20 | D | 45 | C | 25 | D | 45 | C | 15 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | D | 45 | 196.25 |
| 44 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 148.75 |
| 45 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 166.25 |
| 46 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 15 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 121.25 |
| 47 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | A | 0 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 137.50 |
| 48 | C | 20 | B | 5 | D | 45 | C | 25 | C | 15 | C | 25 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | 202.50 |
| 49 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | A | 0 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | 160.00 |
| 50 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 15 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | C | 25 | 162.50 |
| 51 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | A | 0 | C | 25 | A | 0 | B | 5 | 87.50 |
| 52 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | A | 0 | C | 25 | 141.25 |
| 53 | C | 20 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | B | 5 | A | 0 | A | 0 | A | 0 | 61.25 |
| 54 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 0 | B | 5 | 118.75 |
| 55 | C | 20 | B | 5 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | B | 5 | C | 25 | B | 0 | A | 0 | 113.75 |
| 56 | C | 20 | A | 0 | C | 25 | C | 25 | B | 5 | A | 0 | B | 5 | A | 0 | C | 25 | B | 0 | B | 5 | 116.25 |

Fuente: Elaboración propia.

Para poder interpretar mejor los resultados obtenidos se definieron los siguientes rangos de vulnerabilidad.

- VULNERABILIDAD < 15% : **BAJA**
- 15% ≤ VULNERABILIDAD < 35% : **MEDIA**
- VULNERABILIDAD ≥ 35% : **ALTA**

Tabla 4.15. Resultados del Iv por vivienda con porcentaje para asignación de vulnerabilidad.

| VIVIENDA Nº | Iv | Iv % | VULNERABILIDAD |
|-------------|--------|------|----------------|
| 01 | 136.25 | 35.6 | ALTA |
| 02 | 121.25 | 31.7 | MEDIA |
| 03 | 116.25 | 30.4 | MEDIA |
| 04 | 157.5 | 41.2 | ALTA |
| 05 | 131.25 | 34.3 | MEDIA |
| 06 | 137.50 | 35.9 | ALTA |
| 07 | 172.50 | 45.1 | ALTA |
| 08 | 123.75 | 32.4 | MEDIA |
| 09 | 108.75 | 28.4 | MEDIA |
| 10 | 173.75 | 45.4 | ALTA |
| 11 | 155.00 | 40.5 | ALTA |
| 12 | 148.75 | 38.9 | ALTA |
| 13 | 141.25 | 36.9 | ALTA |
| 14 | 148.75 | 38.9 | ALTA |
| 15 | 130.00 | 34.0 | MEDIA |
| 16 | 121.25 | 31.7 | MEDIA |
| 17 | 131.25 | 34.3 | MEDIA |
| 18 | 155.00 | 40.5 | ALTA |
| 19 | 153.75 | 40.2 | ALTA |
| 20 | 136.25 | 35.6 | ALTA |
| 21 | 250.00 | 65.4 | ALTA |
| 22 | 113.75 | 29.7 | MEDIA |
| 23 | 171.25 | 44.8 | ALTA |
| 24 | 167.5 | 43.8 | ALTA |
| 25 | 113.75 | 29.7 | MEDIA |
| 26 | 116.25 | 30.4 | MEDIA |
| 27 | 160.00 | 41.8 | ALTA |
| 28 | 151.25 | 39.5 | ALTA |
| 29 | 153.75 | 40.2 | ALTA |
| 30 | 142.50 | 37.3 | ALTA |
| 31 | 117.50 | 30.7 | MEDIA |
| 32 | 177.50 | 46.4 | ALTA |
| 33 | 135.00 | 35.3 | ALTA |
| 34 | 86.25 | 22.5 | MEDIA |
| 35 | 148.75 | 38.9 | ALTA |
| 36 | 181.25 | 47.4 | ALTA |
| 37 | 175.00 | 45.8 | ALTA |
| 38 | 172.50 | 45.1 | ALTA |
| 39 | 146.25 | 38.2 | ALTA |
| 40 | 121.25 | 31.7 | MEDIA |
| 41 | 96.25 | 25.2 | MEDIA |
| 42 | 132.50 | 34.6 | MEDIA |
| 43 | 196.25 | 51.3 | ALTA |
| 44 | 148.75 | 38.9 | ALTA |
| 45 | 166.25 | 43.5 | ALTA |
| 46 | 121.25 | 31.7 | MEDIA |
| 47 | 137.50 | 35.9 | ALTA |
| 48 | 202.50 | 52.9 | ALTA |
| 49 | 160.00 | 41.8 | ALTA |
| 50 | 162.50 | 42.5 | ALTA |
| 51 | 87.50 | 22.9 | MEDIA |
| 52 | 141.25 | 36.9 | ALTA |
| 53 | 61.25 | 16.0 | MEDIA |
| 54 | 118.75 | 31.0 | MEDIA |
| 55 | 113.75 | 29.7 | MEDIA |
| 56 | 116.25 | 30.4 | MEDIA |

Fuente: Elaboración propia.

Casi la totalidad de edificaciones de adobe presentan una alta vulnerabilidad. El adobe por su gran peso atrae considerable fuerza sísmica, la cual no puede resistir por ser un material que se comporta frágilmente ante movimientos horizontales. Además las construcciones son antiguas, lo que ha producido el deterioro propiedades de los materiales que lo constituyen.

4.4. NIVEL DE RIESGO SÍSMICO

Se ha demostrado que existe una relación directa entre la peligrosidad sísmica y vulnerabilidad sísmica es decir, para que exista el riesgo sísmico en una determinada zona, ambos conceptos deben producirse y existir respectivamente, es decir, el riesgo sísmico evalúa y cuantifica las consecuencias sociales y económicas potenciales provocadas por un terremoto, como resultado de la falla de las estructuras cuya capacidad resistente fue excedida de una determinada edificación.

Se ha obtenido el nivel de riesgo sísmico de cada vivienda evaluada según las tablas **Tabla 3.1:** Calificación y Nivel de Riesgo Sísmico, y la **tabla 4.15:** Resultados del Iv por vivienda con porcentaje para asignación de vulnerabilidad.

Tabla 4.16. Resultados del nivel de riesgo sísmico para cada vivienda evaluada.

| VIVIENDA Nº | NIVEL DE PELIGRO | NIVEL DE VULNERABILIDAD | NIVEL DE RIESGO |
|-------------|------------------|-------------------------|-----------------|
| 01 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 02 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 03 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 04 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 05 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 06 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 07 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 08 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 09 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 10 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 11 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 12 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 13 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 14 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 15 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 16 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 17 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 18 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 19 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 20 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 21 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 22 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |

| | | | |
|----|-------|-------|-------|
| 23 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 24 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 25 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 26 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 27 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 28 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 29 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 30 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 31 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 32 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 33 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 34 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 35 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 36 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 37 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 38 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 39 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 40 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 41 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 42 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 43 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 44 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 45 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 46 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 47 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 48 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 49 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 50 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 51 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 52 | MEDIO | ALTA | ALTO |
| 53 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 54 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 55 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |
| 56 | MEDIO | MEDIA | MEDIO |

Fuente: Elaboración propia.

En las edificaciones de adobe, predomina el nivel de riesgo sísmico alto; Sin embargo un gran porcentaje de estas están en un nivel de riesgo sísmico medio debido a procedimientos constructivos con materiales de baja calidad.

5. CAPÍTULO V

ANÁLISIS DE RESULTADOS

5.1. NIVEL DE PELIGRO SÍSMICO

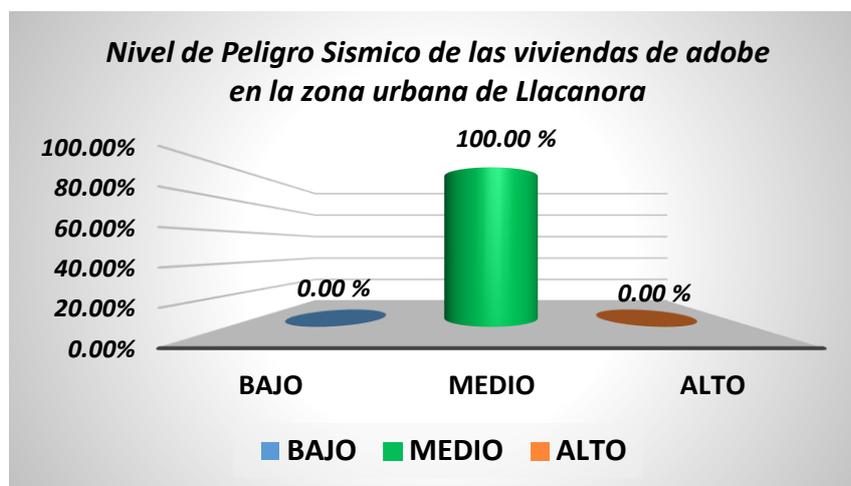
A continuación se observa el resumen del nivel de peligro detallado en cantidad y porcentaje.

Tabla 5.1. Resultados de la evaluación del peligro sísmico en porcentaje.

| PELIGRO | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| BAJO | 0 | 0.00 % |
| MEDIO | 56 | 100.00 % |
| ALTO | 0 | 0.00 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.1. Nivel de peligro sísmico en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

Como se puede observar en la tabla 5.1 y en el gráfico 5.1, el 100 % de las viviendas de adobe de la zona urbana del distrito de Llacanora tienen un Nivel de Peligro Sísmico **MEDIO**.

Esto es la consecuencia de la evaluación de la sismicidad, suelo y topografía del lugar en donde se ubica el edificio, estos resultados varían de acuerdo a las condiciones del lugar de estudio tal como lo especifica Mosqueira (2005).

5.2. NIVEL DE VULNERABILIDAD

5.2.1. RESULTADOS DE LOS 11 PARÁMETROS POR CLASE.

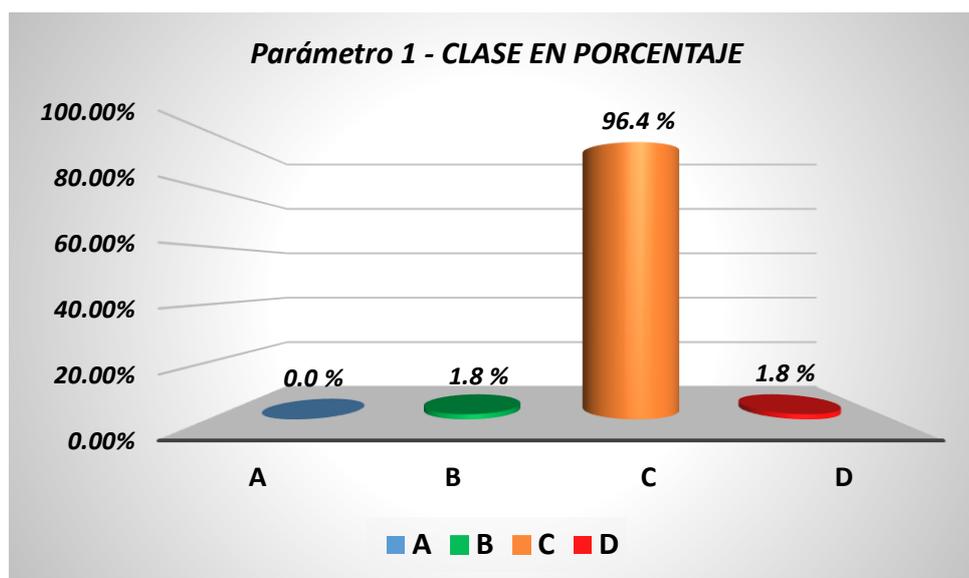
5.2.1.1. PARÁMETRO 1 - Organización del sistema resistente.

Tabla 5.2. Resultados del parámetro 1 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 0 | 0.0 % |
| B | 1 | 1.8 % |
| C | 54 | 96.4 % |
| D | 1 | 1.8 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.2. Resultados del parámetro 1 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

De acuerdo a la tabla 5.2 y figura 5.2 en las viviendas de adobe el 96.4% se asigna la clase "C" debido a que las edificaciones fueron construidas sin asesoría técnica (autoconstrucción), esta característica guarda relación con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 89.88% para la clase C.

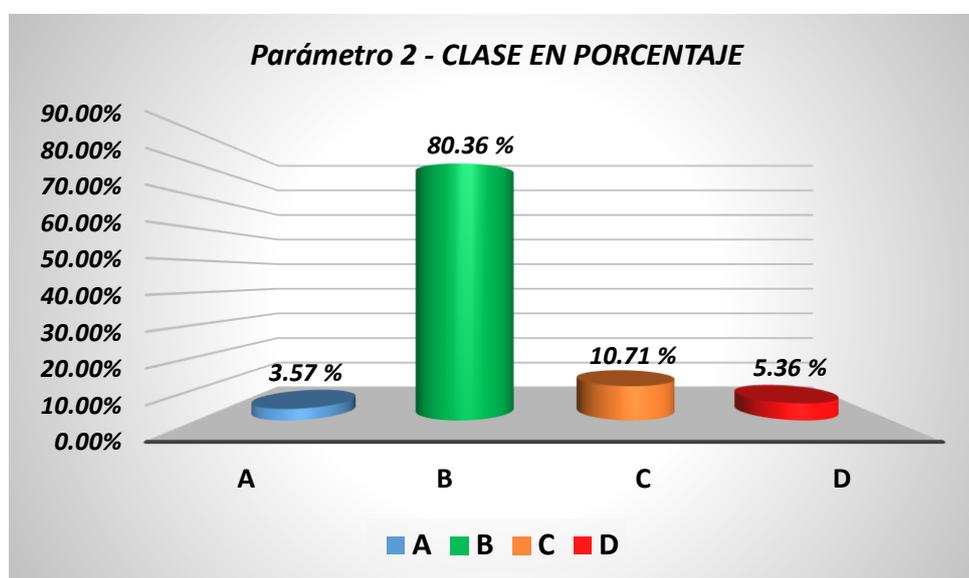
5.2.1.2. PARÁMETRO 2 – Calidad del sistema resistente.

Tabla 5.3. Resultados del parámetro 2 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 2 | 3.57 % |
| B | 45 | 80.36 % |
| C | 6 | 10.71 % |
| D | 3 | 5.36 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.3. Resultados parámetro 2 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

Las edificaciones de adobe en la zona urbana del distrito de Llacanora son antiguas, pero la calidad actual de éstos no es mala. Por tal motivo el resultado de la evaluación de este parámetro es del 80.36% para la clase B y 10.71% para la clase C. A diferencia de la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 70% para la clase C y 30% para la clase D, debido a que la elaboración del adobe es de épocas donde no había especificaciones mínimas de uso, además del estado actual por el tipo de suelo que se usa para su elaboración del adobe.

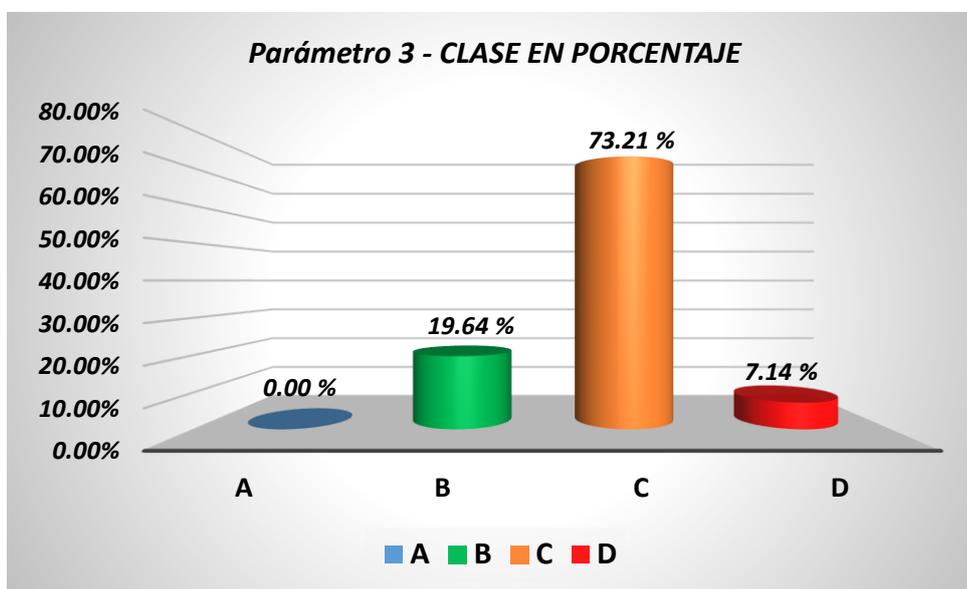
5.2.1.3. PARÁMETRO 3 – Resistencia convencional.

Tabla 5.4. Resultados del parámetro 3 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 0 | 0.00 % |
| B | 11 | 19.64 % |
| C | 41 | 73.21 % |
| D | 4 | 7.14 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.4. Resultados parámetro 3 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

La mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de 41 viviendas haciendo un 73.21%, se ha calificado con la letra C, esto quiere decir que la mayoría al analizarlos obtuvieron un DD en el rango de 1.0 a 1.5. Esta característica guarda relación con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 65.54% para la clase C, para el caso de construcciones de adobe, debido a que estas edificaciones tienen una densidad de muros en la dirección más corta que es insuficiente para resistir la fuerza sísmica, debido a su gran peso, ya que un metro cuadrado de muro de adobe de espesor 0.40 m es 2.4 veces el peso de un metro cuadrado de muro de ladrillo de arcilla de espesor 0.15 m.

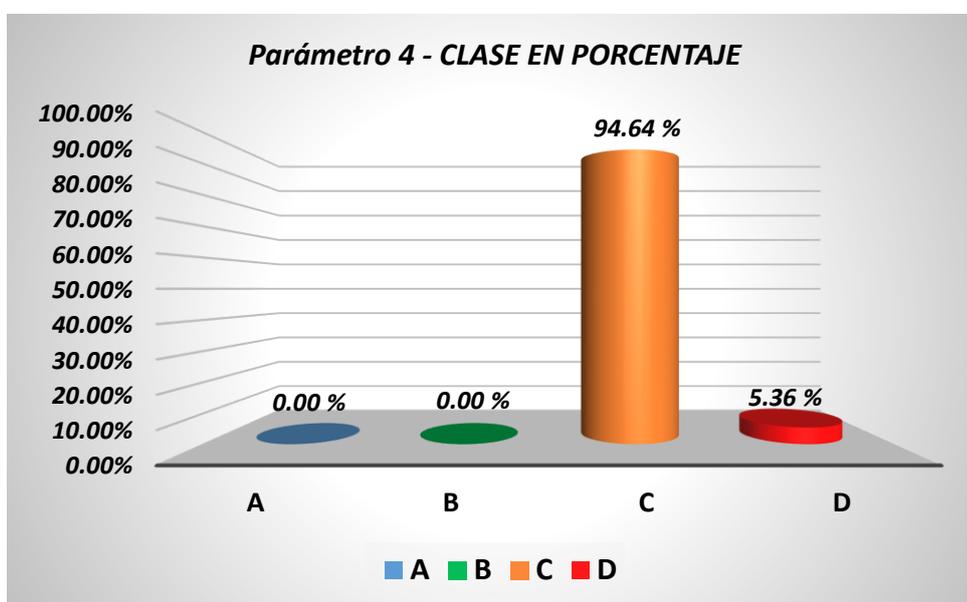
5.2.1.4. PARÁMETRO 4 – Posición del edificio y cimentación.

Tabla 5.5. Resultados del parámetro 4 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 0 | 0.00 % |
| B | 0 | 0.00 % |
| C | 53 | 94.64 % |
| D | 3 | 5.36 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.5. Resultados parámetro 4 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

La mayor cantidad de viviendas de adobe, con un total de 53 haciendo un 94.64%, se ha calificado con la letra C, ya que la mayoría están cimentadas sin proyecto aprobado ni asesoría técnica, además tienen presencia de humedad.

Este resultado difiere con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 56.24% para la clase C y 43.25% para la clase D, debido a la presencia de humedad y sales, además si el estado de conservación del edificio es deteriorado se le asignó con la calificación "D".

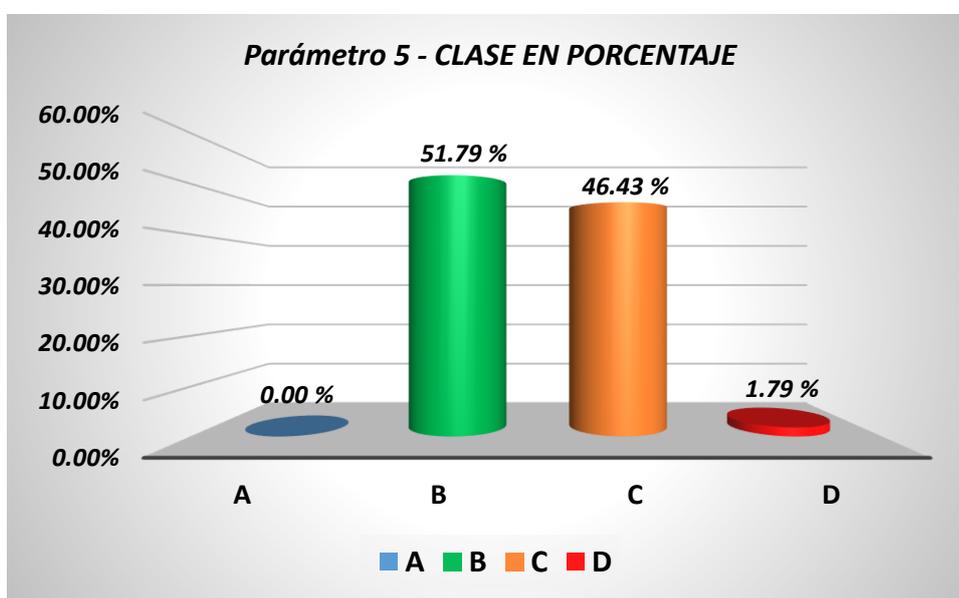
5.2.1.5. PARÁMETRO 5 – Diafragma horizontales.

Tabla 5.6. Resultados del parámetro 5 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 0 | 0.00 % |
| B | 29 | 51.79 % |
| C | 26 | 46.43 % |
| D | 1 | 1.79 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.6. Resultados parámetro 5 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

Las viviendas de adobe evaluadas en su mayoría están compuestas por techos con vigas de madera en buen estado y otras que están en estado defletrado, 29 viviendas con un 51.79% para la clase B y 26 viviendas con un 46.43% para la clase C. Este resultado difiere con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 56.80% para la clase C y 41.00% para la clase D ya que más del 90% de las edificaciones de adobe son antiguas, en su mayoría poseen techos flexibles de madera y caña, muchos en estado defletrado, o bien tienen únicamente un cobertura liviana (calamina o eternit). Ninguno de ambos se comporta como diafragma rígido, los muros, en caso de sollicitación sísmica, actuaran como si estuvieran en voladizo.

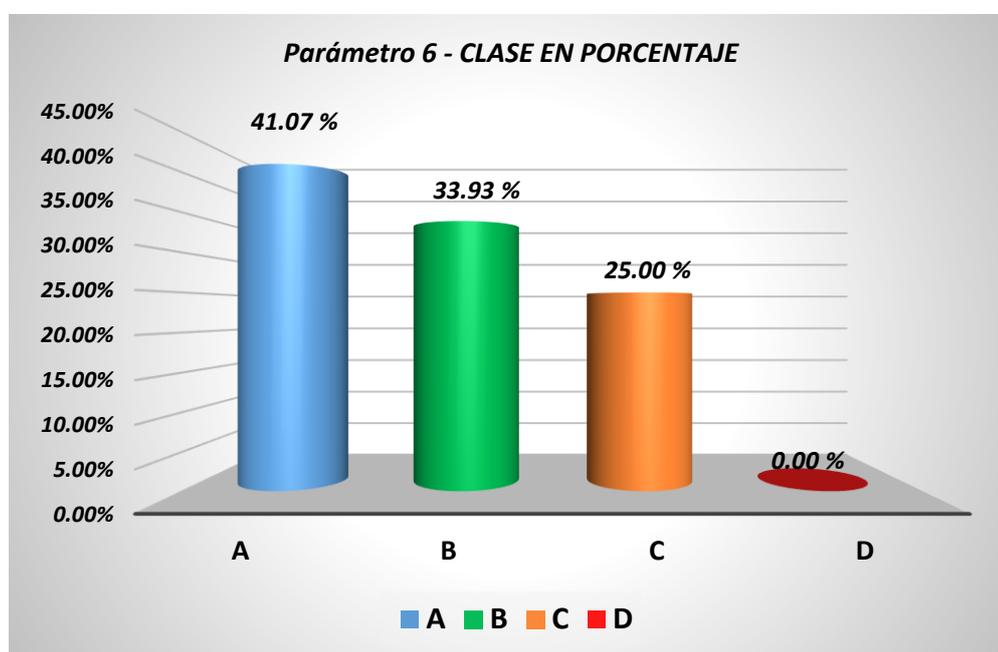
5.2.1.6. PARÁMETRO 6 – Configuración en planta.

Tabla 5.7. Resultados del parámetro 6 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 23 | 41.07 % |
| B | 19 | 33.93 % |
| C | 14 | 25.00 % |
| D | 0 | 0.00 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.7. Resultados parámetro 6 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que la mayoría de edificaciones presentan una aceptable simetría en planta, por lo que se encuentran inmersas en la clase "A" y "B", salvo algunos casos donde se presentan irregularidades en planta, esta característica guarda relación con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 76% para la clase A y 21% para la clase B.

La configuración en planta de la mayoría de los edificios es clasificación medianamente segura muy cercana a vulnerable, esto se debe a las variables que contempla el método como relación entre los lados de la planta, longitud de voladizos, protuberancias, entre otros.

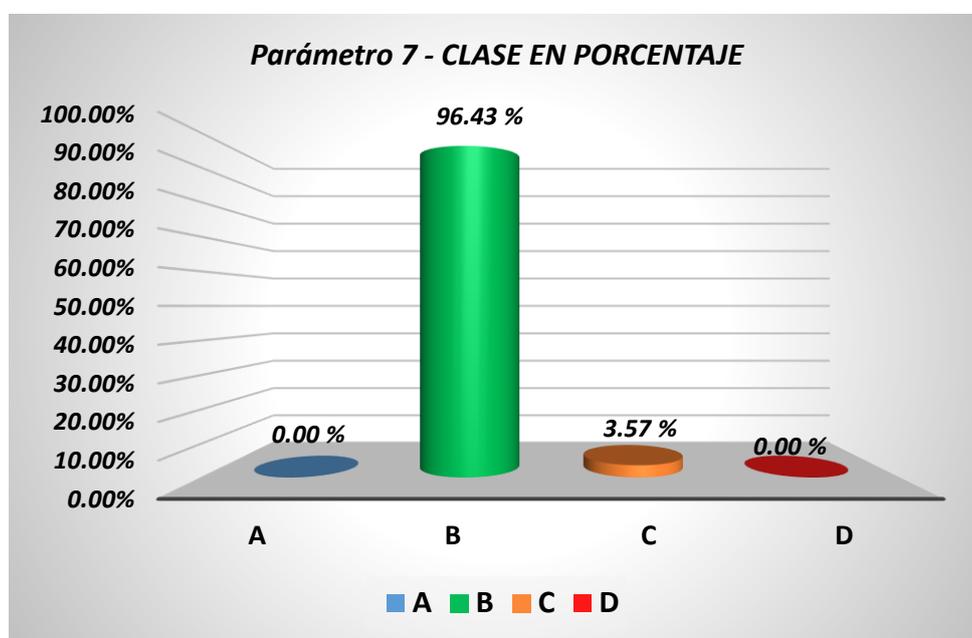
5.2.1.7. PARÁMETRO 7 – Configuración en elevación.

Tabla 5.8. Resultados del parámetro 7 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 0 | 0.00 % |
| B | 54 | 96.43 % |
| C | 2 | 3.57 % |
| D | 0 | 0.00 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.8. Resultados parámetro 7 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

En la mayoría de viviendas se observó que no presentan irregularidad en altura, por lo tanto no poseen variación de masas, por ese motivo es que 54 viviendas que hacen un total de 96.43% se ha calificado con la clase “B”. Esta característica guarda relación con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 98% para la clase A.

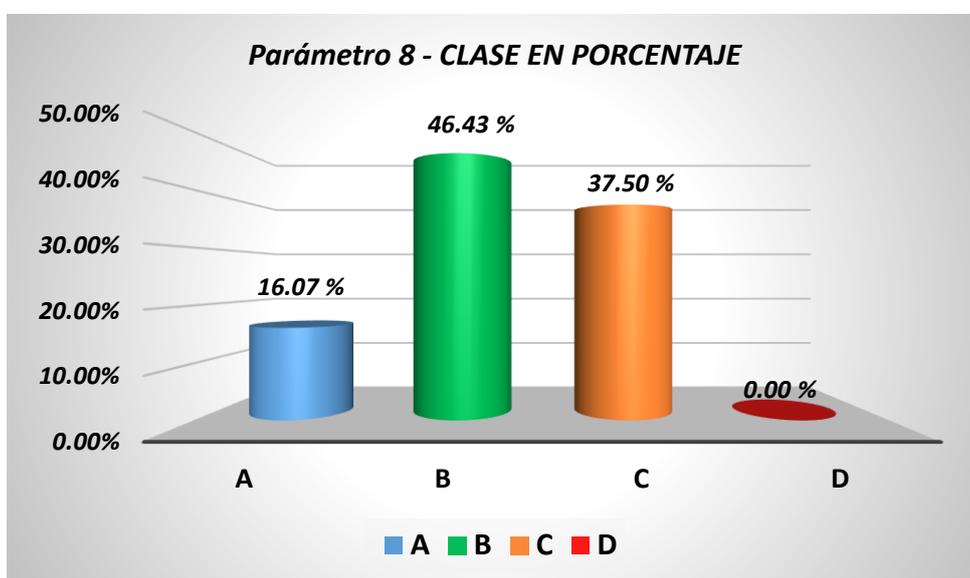
5.2.1.8. PARÁMETRO 8 – Distancia máxima entre los muros.

Tabla 5.9. Resultados del parámetro 8 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 9 | 16.07 % |
| B | 26 | 46.43 % |
| C | 21 | 37.50 % |
| D | 0 | 0.00 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.9. Resultados parámetro 8 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

La calificación se realizó en base a que los elementos resistentes no pueden estar muy distanciados, evaluándose la distancia máxima entre muros transversales, según el gráfico 5.9 podemos observar que el 46.43% tiene la clase “B” y el 37.50% la clase “C”, esto quiere decir que gran parte presenta una separación de muros inadecuada. Este resultado difiere con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 94.63% para la clase D en donde la mayoría de viviendas tiene una separación excesiva de muros.

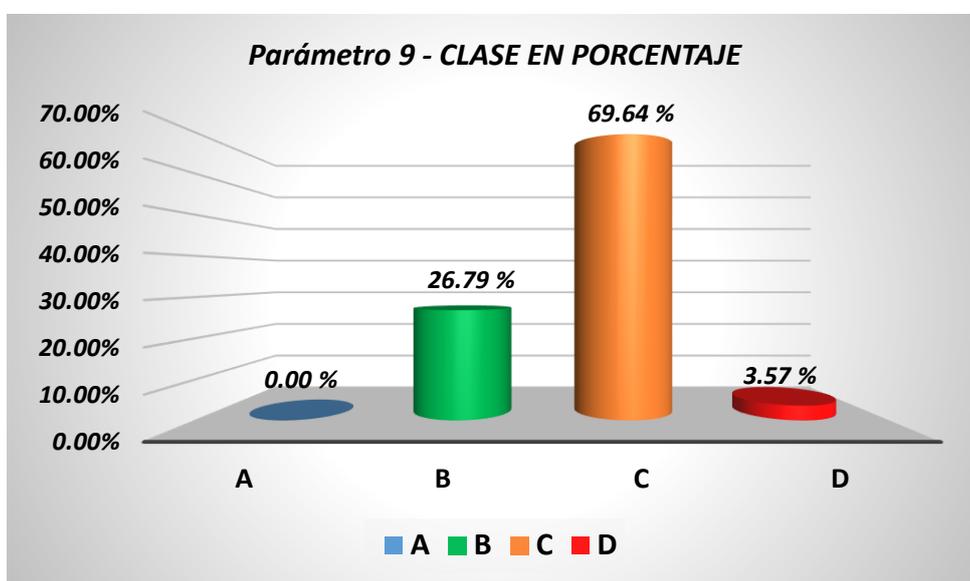
5.2.1.9. PARÁMETRO 9 – Tipo de cubierta.

Tabla 5.10. Resultados del parámetro 9 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 0 | 0.00 % |
| B | 15 | 26.79 % |
| C | 39 | 69.64 % |
| D | 2 | 3.57 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.10. Resultados parámetro 9 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

Más del 60% de las edificaciones de adobe existentes en la zona de estudio presentan cubiertas inestables de material liviano o en malas condiciones; siendo estos calificados con las clases "B" y "C", pues la falta de una longitud de apoyo adecuado de los elementos principales de la cubierta, facilita que se presente la pérdida del apoyo y el consecuente colapso de la estructura por los desplazamientos inducidos en los muros portantes.

Este resultado guarda relación con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 65.54% para la clase C y 26.48% para la clase D.

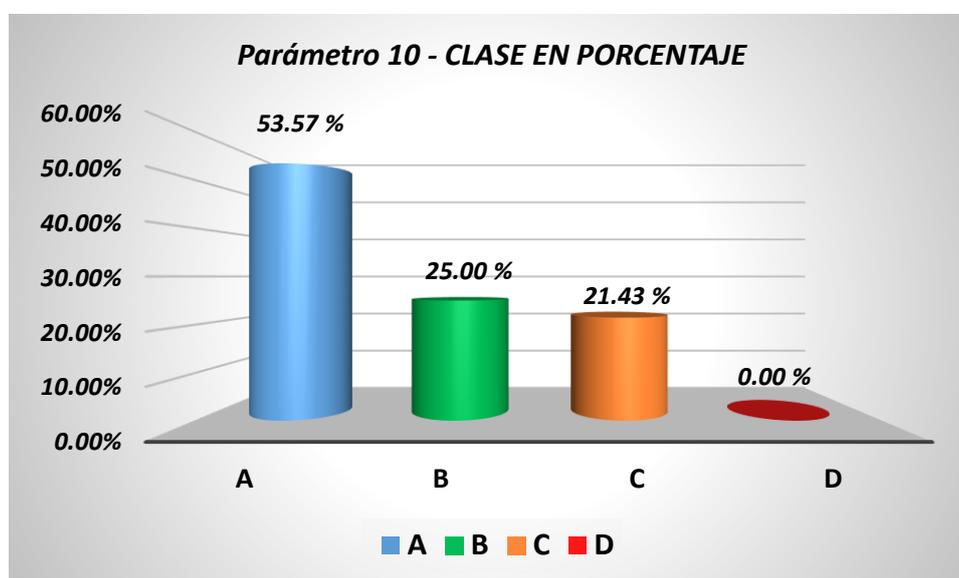
5.2.1.10. PARÁMETRO 10 – Elementos no estructurales.

Tabla 5.11. Resultados del parámetro 10 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 30 | 53.57 % |
| B | 14 | 25.00 % |
| C | 12 | 21.43 % |
| D | 0 | 0.00 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.11. Resultados parámetro 10 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

El 53.57% de las viviendas de adobe no presentan elementos no estructurales, tales como parapetos en los pisos superiores de las mismas. Las construcciones antiguas de adobe presentan en algunos casos balcones, estos son enmarcados dentro de la clase "C"; pudiendo estos desprenderse ante un evento sísmico. Este resultado guarda relación con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 69.84% para la clase A y 21.11% para la clase C.

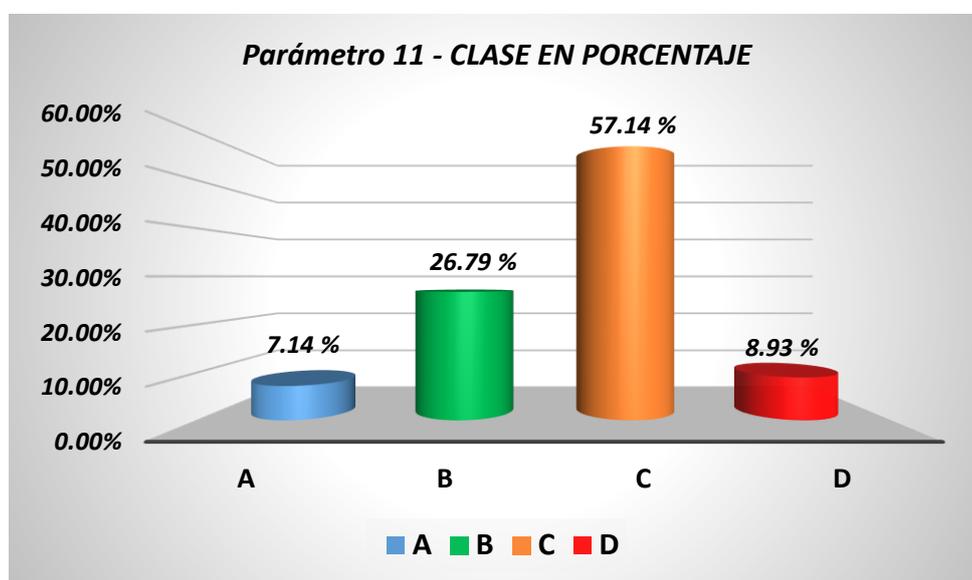
5.2.1.11. PARÁMETRO 11 – Estado de conservación.

Tabla 5.12. Resultados del parámetro 11 en cantidad y porcentaje según clase.

| CLASE | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|--------------|--------------|-----------------|
| A | 4 | 7.14 % |
| B | 15 | 26.79 % |
| C | 32 | 57.14 % |
| D | 5 | 8.93 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.12. Resultados parámetro 11 según clase en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

El 57.14% de las edificaciones de adobe existentes en la zona de estudio se encuentran en mal estado de conservación, siendo estos calificados con las clases "C" y "D", pues la falta de un adecuado mantenimiento facilita que se presente el deterioro en dichas edificaciones. Este resultado guarda relación con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo un 63.75% para la clase C y 32.92% para la clase D, el estado de conservación siempre varía de acuerdo a condiciones climáticas como otros factores.

5.2.2. RESULTADOS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (Iv).

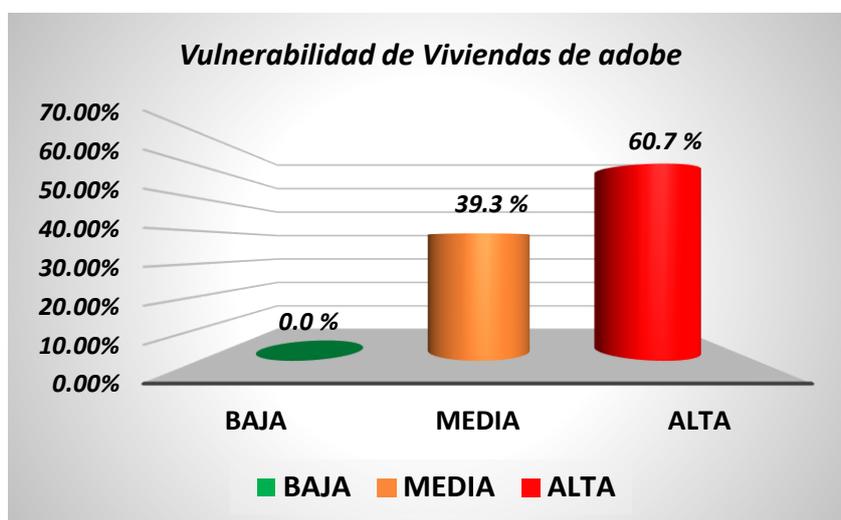
Los resultados en detalle de la vulnerabilidad de la totalidad de las edificaciones del centro histórico se muestran en la siguiente tabla:

Tabla 5.13. Resultados del nivel de vulnerabilidad en cantidad y porcentaje.

| VULNERABILIDAD | Nº VIVIENDAS | % VIVIENDAS |
|----------------|--------------|-----------------|
| BAJA | 0 | 0.0 % |
| MEDIA | 22 | 39.3 % |
| ALTA | 34 | 60.7 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.13. Resultados del nivel de vulnerabilidad en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

Se observa que las edificaciones de adobe presentan una vulnerabilidad **ALTA** con 60.7%, debido a que la calidad estructural del adobe en la zona en estudio es mala, además su gran peso atrae una considerable fuerza sísmica, comportándose frágilmente ante movimientos horizontales.

Este resultado guarda relación con la investigación hecha por Manfuñay & Santisteban (2015) en el distrito de Eten – Lambayeque, donde se obtuvo una vulnerabilidad Alta con un 97.19%.

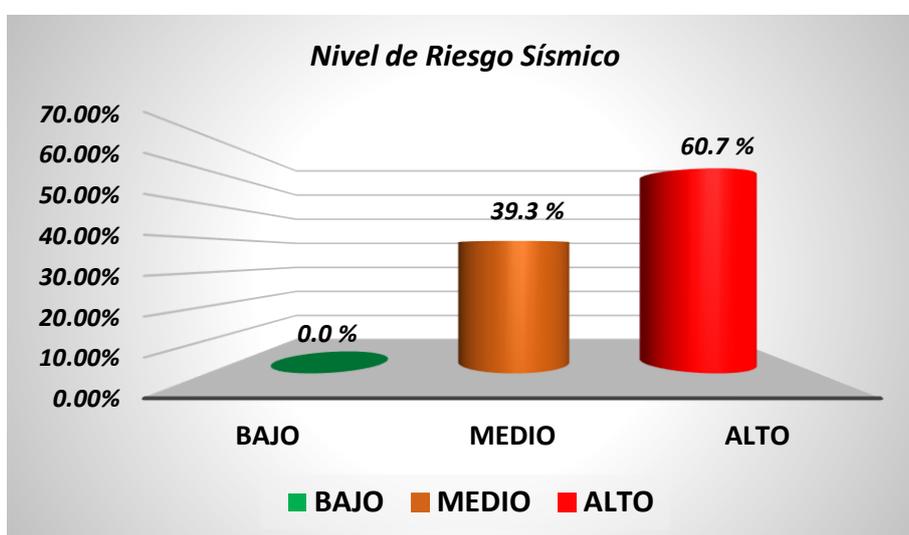
5.3. NIVEL DE RIESGO SÍSMICO

Tabla 5.14. Resultados del nivel de riesgo sísmico en cantidad y porcentaje.

| NIVEL DE RIESGO | N° DE VIVIENDAS | % DE VIVIENDAS |
|-----------------|-----------------|-----------------|
| BAJO | 0 | 0.0 % |
| MEDIO | 22 | 39.3 % |
| ALTO | 34 | 60.7 % |
| TOTAL | 56 | 100.00 % |

Fuente: Elaboración propia.

Figura 5.14. Resultados del nivel de riesgo sísmico en porcentaje.



Fuente: Elaboración propia.

El nivel de riesgo sísmico calculado para las viviendas de adobe de la zona urbana del distrito de Llacanora es **ALTO**, con un 60.7%.

Esto es la consecuencia de la evaluación de la Vulnerabilidad y Peligro Sísmicos de las viviendas.

Las edificaciones de adobe presentan efectos constructivos que facilitan que la construcción falle. De tal manera que no cumplen con los requisitos establecidos en la norma E-080 del RNE principalmente en lo que respecta a la utilización de refuerzo y arriostre, como la viga collar y refuerzo, tanto horizontal como vertical.

6. CAPÍTULO VI

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

6.1. CONCLUSIONES

- El 60.7% de viviendas evaluadas presentan un nivel de riesgo sísmico **ALTO**, y el 39.3% un nivel de riesgo sísmico MEDIO.
- La totalidad de las edificaciones de adobe presentan un nivel de peligro sísmico Medio.
- El 39.3% de viviendas evaluadas presentan una vulnerabilidad media y el 60.7% de viviendas evaluadas presentan una vulnerabilidad alta utilizando el índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini.

6.2. RECOMENDACIONES.

- Los resultados hacen referencia a la tipología Adobe y mayoritaria en la zona de trabajo, siendo conveniente continuar el estudio que permita el análisis de otras tipologías de construcción.
- Realizar un trabajo de capacitación para explicar a la población del peligro potencial con el cual están viviendo y las acciones que deberían aplicarse antes, durante y después de un terremoto. Las entidades que llevarían a cabo esta capacitación serían la Municipalidad Distrital de Llacanora, Gobierno Regional de Cajamarca, INDECI.
- Como el presente método se basa en una evaluación visual de las viviendas, se recomienda realizar nuevas investigaciones incorporando para esto un mayor grado de detalle y refinamiento que involucren ensayos de laboratorio y modelamientos de las viviendas prototipo a escala, para así evaluar con precisión los parámetros físicos que las hacen vulnerables y así plantear soluciones de reforzamiento.

7. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.

- ✓ Aguilar, Z. (2004). Análisis de peligro sísmico y estimado del movimiento sísmico de diseño. Centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres (CISMID-UNI), Lima - Perú.
- ✓ Alva, J., Escalaya M. (2003). Actualización de los parámetros sismológicos en la evaluación del peligro sísmico en el Perú. XIX Simposio internacional del CISMID: Últimos avances en la ingeniería sísmica y gestión del riesgo de los desastres, Lima - Perú.
- ✓ Barbat, A., Yépez, F. y Canas, J. (1996). Simulación de escenarios de daño para estudios de riesgo sísmico. Centro Internacional de métodos numéricos en ingeniería (CIMNE), Barcelona-España.
- ✓ Benedetti, D., Benzoni, G. y Parisi, M. A. (1988). Seismic vulnerability and risk evaluation for old urban nuclei. Earthquake engineering and structural dynamics, 16, 183-201.
- ✓ Bommer, J., Salazar, W. y Samayoa, R. Riesgo sísmico en la región metropolitana de San Salvador. Programa salvadoreño de investigación sobre desarrollo y medio ambiente (PRISMA).
- ✓ Bonilla, F., Ruiz, M. (1992). Evaluación del peligro sísmico en el Ecuador. Tesis de grado, escuela politécnica nacional de Quito, Ecuador.
- ✓ Caicedo, C., Canas, J., Barbat, A. (1992). Vulnerabilidad sísmica de edificios existentes, aplicación a Cataluña. Universidad politécnica de Cataluña, Barcelona- España.
- ✓ Caicedo, C. (1993). Vulnerabilidad sísmica en zonas urbanas, aplicación a un sector de Barcelona. Tesis doctoral, escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos, universidad politécnica de Cataluña, Barcelona- España.
- ✓ CISMID-UNI. (2003). Estudio de vulnerabilidad y riesgo sísmico en 10 distritos de la gran Lima y Callao. APESEG/CISMID-EVR-LYC, Lima-Perú.

- ✓ INDECI-Peru. (2003). Proyecto INDECI-PNUD PER/02/051: Ciudades sostenibles del Peru.
- ✓ Kuroiwa, J., Japan and Peru center for earthquake engineering research and disaster management, (2002). Reducción de desastres: Viviendo en armonía con la naturaleza. Centro peruano japonés de investigaciones sísmicas y mitigación de desastres (CISMID-UNI), Lima - Perú.
- ✓ Mena, U. (2002). Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas. Tesis doctoral, departamento de ingeniería del terreno, cartográfica y geofísica, universidad politécnica de Cataluña, Barcelona-España.
- ✓ Mosqueira Moreno, Miguel Ángel (2013). "Riesgo sísmico en las edificaciones de la Facultad de Ingeniería, Universidad Nacional de Cajamarca, Perú". Revista "Ciencia y Tecnología", Escuela de Postgrado – Universidad Nacional de Trujillo, Perú.
- ✓ Quispe, N. (2004). Evaluación del riesgo sísmico en la ciudad de Ayacucho. Tesis de posgrado, facultad de ingeniería civil, UNI, Lima-Perú.
- ✓ Reglamento nacional de edificaciones. (2017). Norma técnica E.080 - Construcción con tierra reforzada.
- ✓ Tavera, H. Peligro sísmico en Lima y el país. Centro nacional de datos geofísicos del IGP.
- ✓ Yépez, F. (1994). Vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería para estudios de riesgo sísmico. Tesis de máster, escuela técnica superior de ingenieros de caminos, canales y puertos, universidad politécnica de Cataluña, Barcelona-España.

8. ANEXOS.

Anexo A

FICHAS DE EVALUACIÓN

Anexo B

PANEL FOTOGRAFICO



Foto N°1: Deterioro en la cobertura y muros



Foto N°2: Grietas y fisuras en las paredes de fachada principal



Foto N° 3: Humedad en el sobrecimiento.



Foto N° 4: Grietas en las paredes



Foto N° 5: Fachada principal de una vivienda ubicada en la plaza de armas.



Foto N° 6: Aplicación de las fichas de evaluación. (Calle Miguel Grau.)



Foto Nº 7: Aplicación de las fichas de evaluación. (Calle Jose Galvez.)



Foto Nº 8: Aplicación de las fichas de evaluación. (Calle Ramón Castilla.)



Foto N° 9: Aplicación de las fichas de evaluación. (Calle Jorge Lozano.)



Foto N° 10: Medición de bloques de adobe construcción renovada.



Foto N° 11: Medición de juntas y bloque de adobe.



Foto N° 12: Adoberas artesanales para la fabricación de los bloques de adobe.



Foto N° 13: Medición de Adoberas artesanales.



Foto N° 14: Medición de sobrecimiento y juntas entre viviendas.

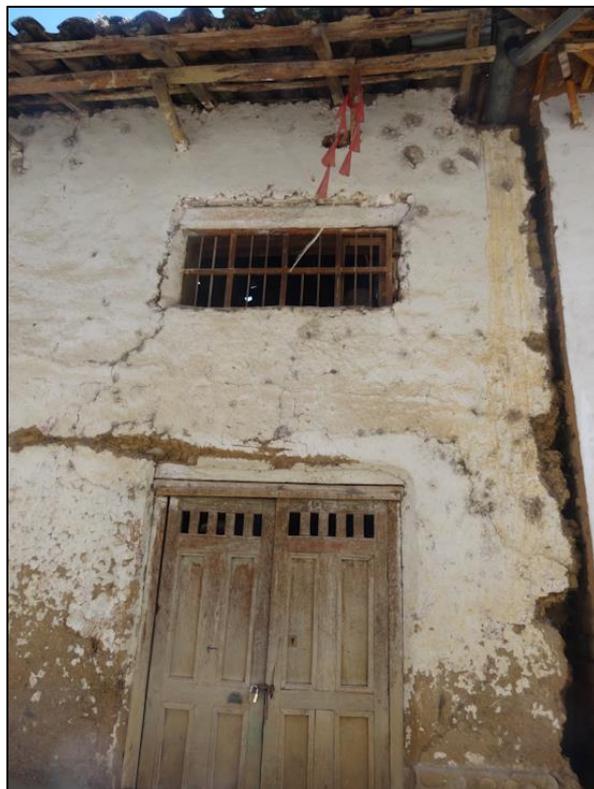


Foto N° 15: Estado de conservación en malas condiciones.



Foto N° 16: Mala ubicación de vanos.



Foto N° 17: Vivienda construida en zona de ladera y con desprendimiento de material.

Anexo C

SUELOS



GEOTECNIA & PROYECTOS SAC

RNE E-030

RUC N° 20491609843
 INDECOPI N° 00849-2007
 Av. Martires de Uchuracay 1811
 M 976710364 - C 976-362129

Diseño Sismoresistente
 Reg. N° 072-16

CAJAMARCA

ESTUDIO DE GEOTECNIA - MECANICA DE SUELOS Y PAVIMENTOS

| | | | |
|------------|---|----------|----------------|
| PROYECTO | : CONSTRUCCIÓN PUENTE CARROZABLE EN LA Av. RAMÓN CASTILLA CUADRA 5, DISTRITO DE LLACANORA, CAJAMARCA - CAJAMARCA. | | |
| SOLICITADO | : MUNICIPALIDAD DISTRITAL DE LLACANORA. | | |
| UBICACIÓN | : LLACANORA - CAJAMARCA - CAJAMARCA. | | |
| NORMA AFIN | : ASTM D 2216 | Metodo | Corte Local |
| ING° RESP | : Julio Cesar Quiroz Ayasta. | Calicata | C2 |
| TECNICO | : Giovani Alfonso Montoya Lezama. | Muestra | E1 |
| FECHA | : 2016-10-03 | Profund. | 0.00 a 2.00 m. |

| Tabla N° 8 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN ALTURA | Factor de Irregularidad I_r |
|---|-------------------------------|
| Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes. (Ver Tabla N° 10) Existe discontinuidad extrema cuando la fuerza cortante que resisten los elementos discontinuos según se describen en el ítem anterior, supese el 25 % de la fuerza cortante total. | 0,80 |
| Tabla N° 9 IRREGULARIDADES ESTRUCTURALES EN PLANTA | Factor de Irregularidad I_p |
| Irregularidad Torsional Existe irregularidad torsional cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio calculado incluyendo excentricidad accidental (e_{acc}) es mayor que 1,2 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (δ_{ow}) . Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 60 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11. | 0,75 |
| Irregularidad Torsional Extrema. (Ver Tabla N° 10) Existe irregularidad torsional extrema cuando, en cualquiera de las direcciones de análisis, el máximo desplazamiento relativo de entrepiso en un extremo del edificio, calculado incluyendo excentricidad accidental (e_{acc}) , es mayor que 1,5 veces el desplazamiento relativo del centro de masas del mismo entrepiso para la misma condición de carga (δ_{ow}) . Este criterio sólo se aplica en edificios con diafragmas rígidos y sólo si el máximo desplazamiento relativo de entrepiso es mayor que 60 % del desplazamiento permisible indicado en la Tabla N° 11. | 0,60 |
| Esquinas Entrantes La estructura se califica como irregular cuando menos esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores que 20 % de la correspondiente dimensión total en planta. | 0,90 |
| Discontinuidad del Diafragma La estructura se califica como irregular cuando los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores que 50 % del área bruta del diafragma. También existe irregularidad cuando, en cualquiera de los pisos y para cualquiera de las direcciones de análisis, se tiene alguna sección transversal del diafragma con un área neta resistente menor que 25 % del área de la sección transversal total de la misma dirección calculada con las dimensiones totales de la planta. | 0,85 |
| Esquinas no Paralelas Se considera que existe irregularidad cuando en cualquiera de las direcciones de análisis los elementos resistentes a fuerzas laterales no son paralelos. No se aplica si los ejes de los pórticos o pilinos forman ángulos menores que 30° y cuando los elementos no paralelos resisten menos que 10 % de la fuerza cortante del piso. | 0,90 |

| Tabla N° 10 CATEGORÍA Y REGULARIDAD DE LAS EDIFICACIONES | | |
|---|----------|---|
| Categoría de la Edificación | Zona | Restricciones |
| A1 y A2 | 3 y 2 | No se permiten irregularidades |
| | 1 | No se permiten irregularidades extremas |
| B | 4, 3 y 2 | No se permiten irregularidades extremas |
| | 1 | Sin restricciones |
| C | 4 y 3 | No se permiten irregularidades extremas |
| | 2 | No se permiten irregularidades extremas excepto en edificios de hasta 2 pisos u 0 m de altura total |
| | 1 | Sin restricciones |

| Tabla N° 11 LÍMITES PARA LA DISTORSIÓN DEL ENTREPISO | |
|---|--------------------|
| Material Predominante | (Δ_r / h_n) |
| Concreto Armado | 0,007 |
| Acero | 0,010 |
| Albañilería | 0,005 |
| Madera | 0,010 |
| Edificios de concreto armado con muros de ductilidad limitada | 0,005 |

| Tabla N° 12 VALORES DE C_d | |
|---|-----|
| - Elementos que al fallar puedan precipitarse fuera de la edificación y cuya falla entrañe peligro para personas u otras estructuras. | 3,0 |
| - Muros y tabiques dentro de una edificación. | 2,0 |
| - Tanques sobre la azotea, casa de máquinas, pérgolas, parapetos en la azotea. | 3,0 |
| - Equipos rígidos conectados rigidamente al piso. | 1,5 |

| Valores para Diseño Sísmico de la Estructura | | |
|---|--------------|--|
| Parámetro | Valor | |
| Categoría | C | |
| Zona | Z 3 | |
| Suelo | S 2 | |
| Factor de Zona | Z = 0.35 | |
| Factor de Uso o Importancia | U = 1.0 | |
| Factor Amplificación de Suelo | S = 1.15 | |
| Periodo espectral del Suelo | $T_p = 0.60$ | |
| Periodo espectral con desplazamiento Ctt. | $T_1 = 2.00$ | |
| Coefficiente de reducción de fuerzas sísmicas | $R_0 = 8.0$ | |
| Coefficiente básico de reducción de fuerzas | R = 8.0 | |

LAS MUESTRAS FUERON EXTRAIDAS POR PERSONAL DE LA EMPRESA. EL LABORATORIO SOLO SE RESPONSABILIZA DE LOS ENSAYOS REALIZADOS EN SUS INSTALACIONES

PC/DISCO E/G&P-2016-SAC/CAJAMARCA/Cajamarca/LLacanora/Reg-072-16/Puente Carrozable Ramon Castilla/8-Cor-Port-G&P-072-16.XLS/Hoja8(DS-03-16-VV) QC-G&P

Giovani A. Montoya Lezama
 LABORATORIO

JORGE IVAN SANCHEZ FERNANDEZ
 INGENIERO CIVIL

Julio Cesar Quiroz Ayasta

Prohibida su Reproducción Total o Parcial (INDECOPI). Derechos Reservados RQ - Geotecnia & Proyectos SAC.