

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN ANTONIO ABAD DEL CUSCO

**FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA CIVIL**



EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE DEL CENTRO URBANO DEL DISTRITO DE CHINCHERO – CUSCO - 2017

PRESENTADO POR:

**AUCCAPUMA QUISPE, Isabel
Bachiller Ing. Civil**

Tesis presentada para optar al Título Profesional de:

INGENIERO CIVIL

COMISIÓN DICTAMINADORA:

**DR. ING. ADRIEL GAMARRA DURAND
M. SC. ING. CARLOS FERNANDEZ BACA VIDAL
M. SC. ING. JOSÉ RONALD AGUILAR HUERTA**

CUSCO – PERÚ

2021



DEDICATORIA



A mis hijos, y a mi compañero de vida; Favian, por ser los motores de mi vida.

*A mis padres y hermanos y hermanas por su ejemplo, su cariño y
estar en los momentos grandes de mi vida.*

*En especial a mi mamita Sinforosa, que se ha esforzado tanto
para que yo sea una profesional.*

*A mis compañeros y amigos por su apoyo emocional
en el desarrollo de este trabajo de investigación.*



AGRADECIMIENTOS



A DIOS, por todo lo dado.

*A la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, por la formación
académica brindada.*

*A la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, a todos y cada uno de los docentes que
han volcado sus conocimientos y experiencias en mí, de manera desinteresada.*

*Mi más profundo agradecimiento y reconocimiento a las personas que colaboraron
en el presente trabajo de investigación, mis jurados: al Ing. Adriel Gamarra, al Ing.
Carlos Fernández Baca, al Ing. Samuel Miranda, al Ing. José Ronald Aguilar Huerta.
Al Ing. José Azpilcueta, al Ing. Ignacio Solís, y al Ing. Julio Rojas. Por su apoyo
durante la investigación realizada.*

*A mis padres, por su incansable apoyo, disposición y abnegado sacrificio, en
especial a mi madre, que con su apoyo hizo posible mi formación profesional.*

*A mi compañero de vida, Favian, por su compañía, apoyo y comprensión; su apoyo
emocional fue fundamental para la conclusión de esta tesis.*

A todas las personas, que de alguna manera me apoyaron.



PRESENTACIÓN



Señor Decano de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

Señores Miembros del Jurado.

Con el propósito de optar al Título Profesional de Ingeniero Civil, cumpliendo a lo estipulado por la Ley Universitaria N° 23733, de conformidad al Reglamento de Grados y Títulos de la Facultad de Arquitectura e Ingeniería Civil, pongo a vuestra consideración el presente trabajo de investigación titulado “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE DEL CENTRO URBANO DEL DISTRITO DE CHINCHERO - CUSCO, 2017”.

Las razones para la realización del presente trabajo de investigación, radica en desarrollar una evaluación de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de adobe en la zona urbana del distrito de Chinchero. El interés primordial en realizar un trabajo de investigación en este tema y para edificaciones de adobe, surge por la necesidad de contar con investigaciones similares que puedan ser tomadas en cuenta como una valiosa contribución, para salvaguardar y conservar las viviendas de adobe existentes en la zona de estudio.



RESUMEN

En la actualidad, las zonas urbanas emergentes de las provincias del país están conformadas por edificaciones de adobe, puesto que su costo frente a otros tipos de construcción es relativamente bajo y los materiales que se usan en su construcción son de fácil accesibilidad. Así, los nuevos estudios en la ingeniería sísmica reconocen la necesidad de evaluar la vulnerabilidad en entornos urbanos, ya que allí se concentra gran parte de la población mundial, las infraestructuras y servicios.

Además, los movimientos sísmicos son impredecibles y traen consigo pérdidas significativas en términos de vida humana y daño material, pero si antes de que ocurra un evento sísmico se lograra hacer una evaluación de vulnerabilidad sísmica, entonces se tomarían medidas de prevención y así se podrían mitigar los desastres.

Por lo tanto, la idea primordial reflejada en el presente trabajo de investigación, es la de determinar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de adobe en la zona urbana del distrito de Chinchero, así como también evaluar el estado actual de las edificaciones, describir las características arquitectónicas actuales y describir el estado actual de los elementos estructurales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero.

La contrastación de la hipótesis se realizó mediante el método de Benedetti y Petrini, por ser bastante conocido a nivel internacional y ser ampliamente utilizado a nivel mundial. Este método consta de 11 parámetros que controlan el daño causado en las edificaciones por un sismo, asignándoles un valor numérico que va incrementándose conforme se aprecian mayores fallas y defectos en las edificaciones evaluadas. La aplicación del método se hizo mediante una ficha de encuesta, y cálculos matemáticos, que permitieron clasificar cada parámetro para su respectiva cuantificación mediante la tabla de valores asignados por los autores del método mencionado.

Los datos de las características físico-mecánicas de los materiales más destacados en la construcción de las edificaciones de adobe de la zona urbana del distrito de Chinchero, se obtuvieron mediante ensayos en los laboratorios de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, con los equipos pertinentes para cada ensayo requerido. También se usó un laboratorio de suelos particular, para realizar el estudio de suelos correspondiente.

De la evaluación de los parámetros insertados en el método empleado en cada edificación se concluye que: siete edificaciones de adobe poseen vulnerabilidad sísmica alta, 12 edificaciones de adobe posee vulnerabilidad sísmica media y una edificación de adobe posee vulnerabilidad sísmica baja, se recomienda que algunas edificaciones de adobe sean reforzados estructuralmente y otros que sean demolidos.

Al contrario de lo que se concluye en anteriores estudios similares, de que las edificaciones de adobe son las más vulnerables durante un sismo; de la presente investigación se resalta que debido a que la zona de estudio no presenta serias amenazas de movimientos telúricos, las edificaciones de adobe poseen en su mayoría vulnerabilidad sísmica media.

PALABRAS CLAVE: Vulnerabilidad sísmica, edificaciones de adobe, zona urbana.



SUMMARY

At present, the emerging urban areas of the country's provinces are made up of adobe buildings, since its cost compared to other types of construction is relatively low and the materials used in its construction are easy accessibility. Thus, new studies in seismic engineering recognize the need to assess vulnerability in urban environments, since there is a large part of the world population, infrastructures and services.

In addition, seismic movements are unpredictable and bring significant losses in terms of human life and material damage, but before a seismic event occurs, a seismic vulnerability assessment will be achieved, then prevention measures would be taken and the disasters would be reduced.

Therefore, the primary idea reflected in the present research work is to determine the seismic vulnerability of Adobe buildings in the urban area of the Chinchero district, as well as assess the current state of the buildings, describe the architectural characteristics of the adobe buildings in the urban area of the district of Chinchero.

The contrast of the hypothesis was performed by the Benedetti and Petrini method, because it is quite known internationally and be widely used worldwide. This method consists of 11 parameters that control the damage caused by buildings by an earthquake, assigning them a numerical value that increases greater failures and defects in the buildings evaluated. The application of the method was made by a survey sheet, and mathematical calculations, which allowed each parameter to be classified for its respective quantification by the table of values assigned by the authors of the aforementioned method.

The data of the physical-mechanical characteristics of the most prominent materials in the construction of Adobe buildings of the urban area of the Chinchero district, were obtained through trials in the laboratories of the Professional School of Civil Engineering of the National University of San Antonio Abad, with the pertinent equipment for each essay. A particular soil laboratory was also used, to carry out the corresponding soil study. From the evaluation of the parameters inserted in the method used in each building it is concluded that: seven adobe buildings have high seismic vulnerability, 12 Adobe buildings possesses medium seismic vulnerability and one adobe building has a low seismic vulnerability. It is recommended that some adobe buildings be structurally reinforced and others that are demolished.

Contrary to what is concluded in previous similar studies, that adobe buildings are the most vulnerable during an earthquake, from the present investigation it is highlighted that because the study area does not present serious threats of teluric movements, Adobe buildings have mostly mean seismic vulnerability.

KEY WORDS: Seismic vulnerability, adobe buildings, urban area.



INDICE

1. CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES	13
1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	13
1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN	14
1.2.1 PREGUNTA GENERAL.....	14
1.2.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS.....	14
1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN	14
1.3.1 OBJETIVO GENERAL	14
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	14
1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA TESIS.....	14
1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN	16
1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL.....	16
1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS.....	16
1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES.....	16
1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA TESIS	17
1.8 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN	17
1.9 DISEÑO ESPECÍFICO	18
1.10 POBLACIÓN Y MUESTRA.....	18
1.10.1 POBLACIÓN 18	
1.10.2 MUESTRA 18	
1.10.3 TAMAÑO MUESTRAL.....	18
1.11 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE COLECTA DE DATOS.....	18
1.12 TÉCNICAS DE ANÁLISIS.....	19
2. CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL	21
2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN.....	21
2.1.1 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES	21
2.1.2 EXPERIENCIAS NACIONALES	25
2.2 FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA.....	26
2.2.1 ORIGEN DE LOS SISMOS.....	26
2.2.2 SISMO TECTÓNICA DEL PERÚ.....	32
2.3 ANTECEDENTES DE SISMICIDAD	33
2.3.1 SISMICIDAD HISTÓRICA DEL SUR DEL PAÍS	35
2.3.2 SISMICIDAD REGIONAL EN CUSCO	36
2.3.3 SISMICIDAD LOCAL EN CHINCHERO.....	37
2.4 VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	48
2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	50



2.4.2	VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES EN CENTROS URBANOS	51
2.4.3	IMPACTO EN EDIFICACIONES DE ADOBE POR EL FUTURO AEROPUERTO DE CHINCHERO	51
2.5	RIESGO SÍSMICO	53
2.6	MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	54
2.6.1	DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO	54
2.6.2	CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	55
2.6.3	NORMALIZACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	57
2.6.4	FORMULARIO PARA EL LEVANTAMIENTO DE LA VULNERABILIDAD	57
2.7	ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	59
2.7.1	PARÁMETROS EN EL FORMULARIO DE LEVANTAMIENTO	60
2.8	SISTEMAS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EN CHINCHERO	69
2.8.1	SISTEMA ESTRUCTURAL DE ADOBE	69
2.8.2	SISTEMA ESTRUCTURAL COMBINADO (EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y ALBAÑILERÍA CONFINADA)	77
2.8.3	SISTEMA ESTRUCTURAL DE CONCRETO ARMADO	77
2.9	CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS EN EDIFICACIONES DE ADOBE EN CHINCHERO	77
2.9.1	CONFIGURACIÓN RECTANGULAR	79
2.9.2	CONFIGURACIÓN EN “L”	80
2.9.3	CONFIGURACIÓN CUADRADA	81
2.10	RESPUESTA DE EDIFICACIONES DE ADOBE ANTE SISMOS	82
2.11	GLOSARIO DE TÉRMINOS	84
2.12	ASPECTOS GENERALES DEL DISTRITO DE CHINCHERO	85
2.12.1	UBICACIÓN GEOGRÁFICA	85
2.12.2	ACCESIBILIDAD	87
2.12.3	CLIMA	88
2.12.4	TOPOGRAFÍA Y CALIDAD DEL SUELO	88
2.12.5	DEMOGRAFÍA	90
2.12.6	RESEÑA HISTÓRICA	92
2.12.7	PLANO CATASTRAL DE LA ZONA URBANA DE CHINCHERO	96
2.13	PELIGROS NATURALES PREDOMINANTES EN EL DISTRITO DE CHINCHERO	96
2.13.1	ZONAS DE PELIGRO SÍSMICO	96
2.13.2	ZONAS DE PELIGRO POR INUNDACIONES	98
2.13.3	ZONAS DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO	99
2.13.4	ZONAS DE PELIGRO POR HUNDIMIENTO	100



2.14	ENSAYOS DE LABORATORIO A REALIZAR	101
2.14.1	ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO	101
2.14.2	ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA.....	103
2.14.3	ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD.....	108
2.14.4	ENSAYO DE CORTE DIRECTO	110
2.15	CÁLCULOS A REALIZAR EN GABINETE	115
2.15.1	CAPACIDAD DE CARGA.....	115
2.15.2	ASENTAMIENTOS.....	117
3.	CAPÍTULO 3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN E INTERPRETACIÓN ..	120
3.1	INTRODUCCIÓN.....	120
3.2	EVOLUCIÓN URBANA DE CHINCHERO.....	120
3.3	TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES	124
3.4	SELECCIÓN Y REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES DE ESTUDIO	127
3.4.1	SELECCIÓN DE LAS EDIFICACIONES DE ESTUDIO	127
3.4.2	PLANOS Y CROQUIS DE LAS EDIFICACIONES.....	128
3.4.3	FORMULARIO DE LEVANTAMIENTO PARA CÁLCULO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES ENCUESTADAS	131
3.4.4	DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES	131
3.4.5	DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES ENCONTRADOS	133
3.4.6	DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS	133
3.4.7	ESTADO ACTUAL DE LAS EDIFICACIONES	135
3.4.8	NÚMERO DE NIVELES DE LAS EDIFICACIONES	137
3.5	DISEÑO DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES.....	138
3.6	COMPOSICIÓN DEL MURO DE ADOBE.....	140
3.6.1	ADOBE	140
3.6.2	MORTERO	140
3.6.3	PAJA	140
3.7	PROPIEDADES ÍNDICE DEL ADOBE Y MORTERO	140
3.7.1	GRANULOMETRÍA DEL ADOBE.....	140
3.7.2	GRANULOMETRÍA DEL MORTERO.....	141
3.7.3	LÍMITES DE ATTERBERG DEL ADOBE.....	142
3.7.4	LÍMITES DE ATTERBERG DEL MORTERO.....	143
3.7.5	RESULTADOS.....	143
3.8	PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA DE ADOBE	144
3.8.1	RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DEL ADOBE.....	144
3.8.2	RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PILAS DE ADOBE	151



3.8.3	RESISTENCIA DE MURETES A COMPRESIÓN DIAGONAL	155
3.9	VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE APOYO DE LAS EDIFICACIONES CON EL TERRENO DE FUNDACIÓN.....	160
3.9.1	ENSAYOS REALIZADOS “IN SITU”	162
3.9.2	ENSAYOS EN LABORATORIO	163
3.9.3	DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA	165
3.9.4	RESULTADOS.....	167
3.10	TIPO DE COBERTURA DE LAS EDIFICACIONES EN CHINCHERO	169
4.	CAPITULO 4. DESARROLLO DE CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	171
4.1	EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE	171
4.1.1	APLICACIÓN AL CENTRO URBANO DEL DISTRITO DE CHINCHERO	171
4.2	RESULTADOS DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	187
4.3	DISCUSIÓN.....	189
4.3.1	DISCUSIÓN REFERENTE A LA METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	189
4.3.2	DISCUSIÓN REFERENTE A LOS RESULTADOS DE LAS SISTEMAS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES	190
4.3.3	DISCUSIÓN REFERENTE A LOS RESULTADOS DE LAS TIPOLOGÍAS SEGÚN MATERIAL PREDOMINANTE.....	190
4.3.4	DISCUSIÓN REFERENTE A LOS RESULTADOS DE LOS 11 PARÁMETROS DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD	191
4.3.5	DISCUSIÓN REFERENTE A LOS RESULTADOS DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA	196
5.	CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	197
5.1	CONCLUSIONES.....	197
5.2	RECOMENDACIONES	197
	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	199
A.	ANEXOS.....	203
	ANEXO A: PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENSAYOS EN LABORATORIO.	203
	ANEXO B: PANEL FOTOGRÁFICO	225
	ANEXO C: PLANOS	229
	ANEXO D: FICHAS DE ENCUESTA Y REPORTE.....	230



ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1 Proceso de las actividades realizadas en la colecta de datos. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	19
Figura 1.2 Esquema de los pasos realizados para obtener los resultados en la presente investigación. Fuente: Elaboración propia, 2019.	20
Figura 2.1 Las 15 placas tectónicas mayores. Fuente: USGS 2014.	27
Figura 2.2 Mapa del Cinturón de fuego del Pacífico. Fuente: USGS, 2014.	28
Figura 2.3 Mecanismo de acción de un sismo. Fuente: Tarbuck, E. & Lutgens, F., 2001: Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física [6ta ed.]- 540 págs. Prentice Hall, Madrid España. (Obtenido de la página web de la Red Sismológica Nacional – Universidad de Costa Rica).....	29
Figura 2.4 Sección transversal del proceso tectónico en la zona de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Fuente: (Bolaños & Monroy, 2004).	33
Figura 2.5 Zonas sísmicas del Perú. Chinchero está en la zona 2. Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones E.030, 2016).....	34
Figura 2.6 Vivienda destruida por efecto de deslizamientos en época de lluvias, dado que se encuentra en zona de alta susceptibilidad de movimiento en masa. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	35
Figura 2.7 Vista de una de las viviendas estudiadas, donde se evidencia la presencia de grietas mayores a 3 mm. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	35
Figura 2.8 Mapa de localización epicentral e intensidades del sismo de 1986 Fuente: Huamán, 1987.....	38
Figura 2.9. Ubicación del epicentro del sismo del 22 de Agosto del 2019, donde se observa que ocurrió cerca de la zona urbana del distrito de Chinchero. Fuente: IGP.	39
Figura 2.10. Principales unidades litoestratigráficas de la zona urbana del distrito de Chinchero. Fuente: Mapa geológico del cuadrángulo de Urubamba 27r, INGEMMET, 2013.	40
Figura 2.11. Principales fallas geológicas cercanas a la zona urbana del distrito de Chinchero. (INGEMMET, 2013).....	42
Figura 2.12. Falla geológica Chinchero. Fuente. Google Earth, 2019.	43
Figura 2.13. Falla geológica Qoricocha. Fuente: Google Earth, 2019.	44
Figura 2.14. Falla geológica Tambomachay. Fuente: Google Earth, 2019.	45
Figura 2.15. Grados de aceleración sísmica para el Perú. Fuente: INGEMMET, 2013.....	47
Figura 2.16. Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA expresados en g, para la falla Tambomachay. Fuente: INGEMMET, 2013.....	47
Figura 2.17. Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA expresados en g, para la falla Qoricocha. Fuente: INGEMMET, 2013.....	48
Figura 2.18. Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA expresados en g, para la falla Pachatusan. Fuente: INGEMMET, 2013.	48
Figura 2.19. Ficha de levantamiento de vulnerabilidad.. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	58
Figura 2.20. Configuraciones en planta para evaluar el parámetro seis.. Fuente: (F. Yépez, A. H. Barbat, J.A.Canas, 1995).....	65
Figura 2.21. Parámetro para evaluar la configuración en elevación. Fuente: (F. Yépez, A. H. Barbat, J.A.Canas, 1995).....	66
Figura 2.22. Características de las edificaciones de adobe. Fuente Internet, 2019.	70
Figura 2.23. Prueba común para uso de material en la elaboración de adobe. Fuente: Delgado, 2006.....	71
Figura 2.24. Distribución de las unidades de adobe y mortero en las casas de adobe en Chinchero. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	72
Figura 2.25 Cimiento de una vivienda de adobe, donde se observa que sobresale del terreno natura. Fuente: Elaboración propia, 2019.	73



Figura 2.26 Presencia de vanos uniformemente distribuidos a lo largo del muro de la vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2019.	73
Figura 2.27. Vista del entrepiso, de una vivienda de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019. 74	
Figura 2.28. Vista del armazón de techo en viviendas de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	74
Figura 2.29. Escalera de vivienda, con claros signos de deterioro y agrietamientos. Con elementos mal vinculados a la estructura. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	75
Figura 2.30. Balcón corrido, en el patio de vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2019.	76
Figura 2.31. Sobre cimiento de piedra, vivienda ubicada cerca de la zona arqueológica de Chinchero. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	76
Figura 2.32 Configuración rectangular en planta, de una vivienda de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	80
Figura 2.33 Configuración típica de viviendas de adobe en la zona urbana de Chinchero. Fuente: Elaboración propia, 2019.	80
Figura 2.34 Configuración “L” en planta, de una vivienda de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	81
Figura 2.35 Configuración cuadrada en planta, de una edificación de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	81
Figura 2.36. Ubicación geopolítica de la provincia de Urubamba, en el departamento del Cusco. Fuente: Plan de Desarrollo Urbano Chinchero 2015.....	86
Figura 2.37. Ubicación geopolítica del distrito de Chinchero, en la provincia de Urubamba. Fuente: PDU Chinchero 2015.	86
Figura 2.38. Ubicación geopolítica del centro urbano del distrito de Chinchero. Fuente PDU Chinchero 2015.	87
Figura 2.39. Cortes de perfiles topográficos del centro urbano del distrito de Chinchero. Fuente: PDU Chinchero 2015.	89
Figura 2.40. Perfil topográfico, corte A – A. Fuente: PDU Chinchero 2015.....	89
Figura 2.41. Perfil topográfico, corte B –B. Fuente: PDU Chinchero 2015.	89
Figura 2.42. Perfil Topográfico, corte C – C. Fuente: PDU Chinchero 2015.	90
Figura 2.43. Evolución de la población urbana y rural 1940 – 2007. Fuente: Censos Nacionales de Población 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007. INEI, y CGPA 2011.Elaboración propia, 2019.....	91
Figura 2.44. Evolución morfológica del centro poblado. Fuente: PDU Chinchero 2015 y Plan Maestro del Parque Arqueológico de Chinchero 2005.	92
Figura 2.45 Censo de material predominante en el centro urbano del distrito de Chinchero. Fuente PDU Chinchero 2015 y Elaboración propia, 2019.....	93
Figura 2.46. Vistas variadas de las calles de la zona urbana del distrito de Chinchero, en el año 2011, y en la actualidad. a) Zona de parqueo, en el año 2011, b) Zona de parqueo y mercado, en el año 2019, c) Paradero principal, en el año 2011, d) Paradero principal de Chinchero, en el año 2019, e) Paradero de Allpachaca, en el año 2011, f) Paradero de Allpachaca, en el año 2019, g) Calle Garcilazo, en el año 2011, h) Calle Garcilazo en el año 2019, i) Av. Mateo Pumacchagua, en el año 2011, j) Av. Mateo Pumacchagua, en el año 2019, k) Calle Manco II en el año 2011, l) Calle Manco II, en el año 2019. Fuente: fotografías tomadas por el CGPA y fotografías propias, 2019.....	95
Figura 2.47. Mapa de máximas intensidades sísmicas del Perú. Fuente UNI, CISMID.	97
Figura 2.48. Límites de Atterberg. Fuente: Joseph Bowles y elaboración propia, 2019.....	104
Figura 3.1.Evolución Urbana de Chinchero al año 2019, a) PRIMERA OCUPACIÓN: Andenería, b) PRIMERA OCUPACIÓN: Plaza capellanpampa, c) SEGUNDA OCUPACIÓN: Sobre estructura inca, d) SEGUNDA OCUPACIÓN: Viviendas con sobre cimientos incas sector Cuper Pueblo, e) TERCERA OCUPACIÓN: Zonas alledañas al centro histórico (sector Tambocancha), f) TERCERA OCUPACIÓN: Zonas alledañas al centro histórico (sector	



Tambocancha), g) CUARTA OCUPACIÓN: Trama irregular ocupación en el eje vial de la Av. Querapata, h) QUINTA OCUPACIÓN: Crecimiento longitudinal de Chinchero eje Chinchero Urubamba. Fuente: CGPA 2011, fotografías propias, 2019.	123
Figura 3.2. Representación morfológica y tipología de edificaciones del sector A. Fuente CGPA, 2011.	124
Figura 3.3. Representación de morfología y tipología estructural del sector B. Fuente CGPA, 2011.	125
Figura 3.4. Representación de morfología y tipología edilicia en el sector C. Fuente CGPA, 2011.	126
Figura 3.5. Zonas donde se evaluó las viviendas. Fuente: Elaboración Propia, 2019.	128
Figura 3.6. Plano en Planta y elevación de la vivienda N° 03, ubicada en la zona C. Fuente: Elaboración propia, 2019.	129
Figura 3.7. Plano en planta y elevación de la vivienda N° 05, ubicada en la zona A. Fuente: Elaboración propia, 2019.	130
Figura 3.8. Plano en planta y elevación de la vivienda N° 15, ubicada en la zona B. Fuente: Elaboración propia, 2019.	130
Figura 3.9. Viviendas de adobe, en la Av. Garcilaso. Fuente: Elaboración propia, 2019.	132
Figura 3.10 Sistema híbrido de construcción entre albañilería confinada y sistema aporticado. Fuente: propia, 2019.	132
Figura 3.11. Viviendas de albañilería confinada y sistema aporticado. Fuente: Elaboración propia, 2019.	132
Figura 3.12 Edificaciones institucionales de concreto armado, sistema aporticado	133
Figura 3.13 Configuración arquitectónica en “L”, plano en planta de la vivienda encuestada n° 10. Fuente: Fuente: Elaboración propia, 2019.	134
Figura 3.14 Configuración arquitectónica semi cuadrada, plano en planta de la vivienda encuestada n° 11. Fuente: Elaboración propia, 2019.	134
Figura 3.15 Configuración arquitectónica rectangular, plano en planta de la vivienda encuestada n° 08. Fuente: Elaboración propia, 2019.	135
Figura 3.16. Fotografías de las grietas presentes en las viviendas encuestadas, a) Vivienda encuestada n° 01, donde se aprecian rajaduras en la fachada, b) Vivienda n° 04, donde se aprecian rajaduras en el alero principal, c) Vivienda encuestada n° 10, donde se aprecian rajaduras en gran parte de la fachada, d) Vivienda n° 13, donde se aprecian rajaduras en el interior de la vivienda, en el encuentro de muros. Fuente: Elaboración propia, 2019.	136
Figura 3.17. Viviendas con diferente número de niveles, a) vivienda de un piso, b) vivienda de dos pisos, y c) vivienda de tres pisos, respectivamente. Fuente: Elaboración propia, 2019.	137
Figura 3.18 Clasificación de viviendas encuestadas por número de pisos. Fuente Propia, 2019.	137
Figura 3.19. Muestras de adobe extraídas de las tres viviendas. a) Muestra de adobe 01, extraída de la vivienda encuestada N° 13, año de fabricación: 2002, b) Acondicionamiento de la muestra de adobe n° 01, c) Muestra de adobe 02, extraída de la vivienda encuestada N° 04, año de fabricación: 1992, d) Acondicionamiento de la muestra de adobe n° 02, e) Muestra de adobe 03, Extraída de la vivienda encuestada N° 18, año de fabricación: 1978, f) Acondicionamiento de la muestra de adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.	139
Figura 3.20. Esquema de ensayo de compresión simple, en la Prensa pequeña. Fuente: Elaboración propia, 2019.	146
Figura 3.21. Ensayo de compresión simple y posterior falla del espécimen en la máquina de compresión simple. Fuente: Elaboración propia, 2019.	146
Figura 3.22. Diagrama esfuerzo vs deformación vertical para el adobe n° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.	147
Figura 3.23. Diagrama esfuerzo vs deformación vertical para el adobe n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.	148



Figura 3.24. Diagrama esfuerzo vs deformación vertical para el adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019. 150

Figura 3.25 Esquema del ensayo de compresión simple en pilas de adobe, a) Esquema mostrado en la norma E.080 b) Disposición para el ensayo de compresión simple en pilas de adobe, en el laboratorio de Mecánica de suelos y materiales de la UNSAAC. Fuente: Elaboración propia, 2019. 152

Figura 3.26 Ensayo de compresión simple y la posterior falla de la pila N° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019. 152

Figura 3.27 Ensayo de compresión simple y la posterior falla de la pila N° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019. 153

Figura 3.28 Ensayo de compresión simple y la posterior falla de la pila N° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019. 153

Figura 3.29 Ensayo de compresión simple en pilas de adobe, diagramas de carga vs deformación vertical. a) Diagrama de la pila de adobe n° 01, b) Diagrama de la pila de adobe n° 02, c) Diagrama de la pila de adobe n° 03, d) Diagramas de las tres pilas de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019. 154

Figura 3.30 Construcción de los muretes de adobe para los ensayos de compresión diagonal. Fuente: Elaboración propia, 2019. 155

Figura 3.31 Esquema del ensayo, a) Esquema como se muestra en la norma E.080, b) Disposición de diales de deformación para el ensayo de compresión diagonal en muretes de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019. 156

Figura 3.32 Falla de los muretes sometidos a compresión diagonal en la máquina de deflexión, a) Falla del murete n° 01, b) falla del murete n° 02, c) falla del murete n° 03, d) Extracción del murete n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019. 157

Figura 3.33 Diagramas de deformación vertical, resultado del ensayo de compresión diagonal en los muretes de adobe, a) Diagrama del murete n° 01, b) Diagrama del murete n° 02, c) Diagrama del murete n° 03, d) Diagramas de los tres muretes. Fuente: Elaboración propia, 2019. 158

Figura 3.34 Diagramas de deformación horizontal, resultado del ensayo de compresión diagonal en los muretes de adobe, a) Diagrama del murete n° 01, b) Diagrama del murete n° 02, c) Diagrama del murete n° 03, d) Diagramas de los tres muretes. Fuente: Elaboración propia, 2019. 159

Figura 3.35. Ubicación de las calicatas realizadas para el estudio de suelos. Fuente: Elaboración propia, 2019. 161

Figura 3.36 Horno utilizado en el ensayo de contenido de humedad. Fuente: Laboratorio, 2019. 164

Figura 3.37 Tamices utilizados en el ensayo de análisis granulométrico. Fuente: Laboratorio, 2019. 164

Figura 3.38 Equipo utilizado en el ensayo de corte directo, para determinar la capacidad portante del suelo. Fuente: Laboratorio, 2019. 165

Figura 3.39 Gráfico de las calicatas estudiadas según su capacidad portante. Fuente: Elaboración propia, 2019. 167

Figura 3.40 Perfil estratigráfico de la calicata n° 02, donde se puede ver que el tipo de suelo es CL. Fuente: Elaboración propia, 2019. 168

Figura 3.41 Perfil estratigráfico de la calicata n° 05, donde se puede ver que el tipo de suelo es CL. Fuente: Elaboración propia, 2019. 168

Figura 3.42 Perfil estratigráfico de la calicata n° 08, donde se puede ver que el tipo de suelo es SC-SM. Fuente: Elaboración propia, 2019. 169

Figura 3.43. A la derecha tipo de techo de dos caídas, a la izquierda tipo de techo de una caída. Fuente: Elaboración propia, 2019. 169



Figura 3.44. Foto y plano de vivienda encuestada N°01, donde se aprecia el tipo de techo de dos caídas. Fuente: Elaboración propia, 2019.	170
Figura 3.45. Foto y plano de vivienda encuestada N°11, donde se aprecia el tipo de techo de una caída. Fuente: Elaboración propia, 2019.	170
Figura 4.1. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.	172
Figura 4.2. Edificación con contrafuertes en las esquinas. Fuente: Elaboración propia, 2019.	172
Figura 4.3. Edificación sin arriostre horizontal y vertical, ni contrafuertes, cuenta con muros ortogonales bien trabados. Fuente: Elaboración propia, 2019.	172
Figura 4.4 Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.	173
Figura 4.5. Homogeneidad de las piezas y presencia de trabazón entre las unidades de adobe en la vivienda encuestada n° 06. Fuente: Elaboración propia, 2019.	174
Figura 4.6. Ancho de mortero de la vivienda encuestada n° 06. Fuente: Elaboración propia, 2019.	174
Figura 4.7. Distribución arquitectónica del primer piso de una casa modelo rectangular, del centro urbano del distrito de chinchero. Fuente: Elaboración propia, 2019.	175
Figura 4.8. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.	177
Figura 4.9. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 04. Fuente: Elaboración propia, 2019.	178
Figura 4.10 Edificación de dos pisos con diafragma irregular y falta de rigidez, no presenta viga solera. Fuente: Elaboración propia, 2019.	179
Figura 4.11. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 05. Fuente: Elaboración propia, 2019.	179
Figura 4.12 Configuración de las edificaciones encuestadas n° 05 y 04, se observa la diversidad de configuración en planta. Fuente: Elaboración propia, 2019.	180
Figura 4.13. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 06. Fuente: Elaboración propia, 2019.	181
Figura 4.14 Edificaciones de dos y tres pisos que presentan irregularidad en elevación. Fuente: Elaboración propia, 2019.	181
Figura 4.15. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 07. Fuente: Elaboración propia, 2019.	182
Figura 4.16. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 08. Fuente: Elaboración propia, 2019.	183
Figura 4.17 Se observa la configuración de par con viga cumbreira. Fuente: Elaboración propia, 2019.	184
Figura 4.18. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 09. Fuente: Elaboración propia, 2019.	184
Figura 4.19 Elemento no estructural anclado al entrepiso. Fuente: Elaboración propia, 2019.	185
Figura 4.20. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 10. Fuente: Elaboración propia, 2019.	186
Figura 4.21 Se observa el mal estado de conservación de la edificación. Fuente: Elaboración propia, 2019.	186
Figura 4.22. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 11. Fuente: Elaboración propia, 2019.	187
Figura 4.23. Nivel de Vulnerabilidad de edificaciones de adobe evaluadas. Fuente: Elaboración propia, 2019.	189
Figura A.1 Gráfico de la curva granulométrica del adobe N° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.	205



Figura A.2 Gráfico de la curva granulométrica del adobe N° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	206
Figura A.3 Gráfico de la curva granulométrica del adobe N° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	208
Figura A.4 Gráfico de la curva granulométrica de mortero de adobe N° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	210
Figura A.5 Curva granulométrica de mortero de adobe N° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.	212
Figura A.6 Gráfica de la curva granulométrica de mortero de adobe N° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	213
Figura A.7 Gráfica de determinación de límite líquido de adobe n° 01. Donde el resultado para 25 golpes es 24.93%. Fuente: Elaboración propia, 2019.	214
Figura A.8 Gráfica de límite plástico de adobe n° 01, cuyo valor es 13.78%. Fuente: Elaboración propia, 2019.	214
Figura A.9 Gráfica de determinación de límite líquido de adobe n° 02, donde el resultado es 29.48%. Fuente: Elaboración propia, 2019.	215
Figura A.10 Gráfica del límite plástico de adobe n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	216
Figura A.11 Gráfica de determinación de límite líquido de adobe n° 03, donde el resultado es 32.69%. Fuente: Elaboración propia, 2019.	216
Figura A.12 Gráfica de límite plástico de adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	217
Figura A.13 Gráfica de determinación de límite líquido de mortero del adobe n° 01, donde el resultado es LL = 23.64%. Fuente: Elaboración propia, 2019.	218
Figura A.14 Gráfica de límite plástico de mortero del adobe n° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	218
Figura A.15 Gráfica para la determinación del límite líquido de mortero del adobe n° 02, donde el resultado es LL= 32.2. Fuente: Elaboración propia, 2019.	219
Figura A.16. Gráfica para la determinación del límite plástico de mortero del adobe n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.	220
Figura A.17 Determinación del límite líquido de mortero del adobe n° 03, donde el resultado es LL= 34.70%. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	220
Figura A.18 Gráfica de límite plástico de mortero del adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.....	221
Figura A.19. Resultados de ensayo de compresión simple en especímenes del adobe n° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.	222
Figura A.20. Resultados de ensayo de compresión simple en especímenes del adobe n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.	223
Figura A.21. Resultados de ensayo de compresión simple en especímenes del adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.	224



INDICE DE TABLAS

Tabla 1-1. Operacionalización De Variables	16
Tabla 2-1. Escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti.....	56
Tabla 2-2. Comparación entre lo propuesto por el método de Índice de Vulnerabilidad y los parámetros propuestos por el RNE E.080.	59
Tabla 2-3. Parámetros para la evaluación de Vulnerabilidad Sísmica	60
Tabla 2-4 Población urbana y rural 1940 - 2007.....	91
Tabla 2-5 Cuadro de tipo de material predominante en las edificaciones, del centro urbano del distrito de Chinchero.	93
Tabla 2-6. Tamices utilizados para el ensayo de Granulometría.....	101
Tabla 2-7. Tamices utilizados para el análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,760 mm (n°4).....	102
Tabla 2-8. Porcentajes de material en adobe.....	103
Tabla 2-9. Guía para determinar el tiempo mínimo de reposo.....	112
Tabla 2-10. Tipo de asentamiento a evaluar.....	118
Tabla 3-1. Tipología de las edificaciones encontradas.....	126
Tabla 3-2 Material predominante en las edificaciones encontradas.....	126
Tabla 3-3 Tipos de configuración arquitectónicas encontradas.	134
Tabla 3-4. Estado actual de las edificaciones de acuerdo a las grietas registradas.	136
Tabla 3-5. Edificaciones encuestadas y su respectivo número de niveles.	138
Tabla 3-6. Resumen de las características principales de granulometría de las muestras de adobes.....	141
Tabla 3-7. Resumen de granulometría de mortero.....	142
Tabla 3-8. Resumen de límites de Atterberg, de las muestras de adobe n° 01, 02, 03.....	142
Tabla 3-9. Resumen de límites de Atterberg de mortero de los adobes.	143
Tabla 3-10. Resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría y límites de consistencia.	143
Tabla 3-11. Determinación del peso unitario de los especímenes del adobe n° 01, de la vivienda n° 13, con 16 años de antigüedad.....	145
Tabla 3-12. Determinación del peso unitario de los especímenes del adobe n° 02, de la vivienda n° 04, con 27 años de antigüedad.....	145
Tabla 3-13. Determinación del peso unitario de los especímenes del adobe n° 03, de la vivienda n° 18, con 41 años de antigüedad.....	146
Tabla 3-14. Valores obtenidos de resistencia a compresión, para el adobe n° 01.....	147
Tabla 3-15. Valores obtenidos de resistencia a compresión, para el adobe n° 02.....	148
Tabla 3-16. Valores obtenidos de resistencia a compresión, para el adobe n° 03.....	149
Tabla 3-17. Resultados del ensayo de compresión simple para los adobes de la vivienda n° 13, con 16 años de antigüedad.	150
Tabla 3-18. Resultados del ensayo de compresión simple para los adobes de la vivienda n° 04, con 27 años de antigüedad.	151
Tabla 3-19. Resultados del ensayo de compresión simple para los adobes de la vivienda n° 18, con 41 años de antigüedad.	151
Tabla 3-20. Resultados del ensayo de compresión simple en pilas de adobe.	154
Tabla 3-21. Resultados del esfuerzo último de corte, en los muretes de adobe.	159
Tabla 3-22. Ensayo de calicata, para describir tipo de suelo hallado en Chinchero.	160
Tabla 3-23. Tipos de muestra a obtener para estudio de suelos.	163
Tabla 3-24. Puntos evaluados en el estudio de mecánica de suelos.....	166
Tabla 3-25. Resultados de estudio de suelos en las calicatas realizadas.....	166
Tabla 3-26. Resumen de capacidad portante de calicatas estudiadas.....	167
Tabla 4-1. Resultados de la clasificación del parámetro 01.	172



Tabla 4-2 Resultados de la clasificación del parámetro 02.	173
Tabla 4-3. Resumen de los valores de capacidad portante de los suelos estudiados.....	175
Tabla 4-4. Resumen del parámetro 3, con la calificación para cada edificación encuestada, donde resaltan las calificaciones de A, B y C.	176
Tabla 4-5. Resultados de la clasificación del parámetro 03.	177
Tabla 4-6. . Resultados de la clasificación del parámetro 04.	178
Tabla 4-7. Resultados de la clasificación del parámetro 05.	179
Tabla 4-8. Resultados de la clasificación del parámetro 06.	180
Tabla 4-9. Resultados de la clasificación del parámetro 07.	182
Tabla 4-10. Cálculo de valor L/S, para las edificaciones encuestadas n° 05, 10 y 13 respectivamente.	183
Tabla 4-11. Resultados de la clasificación del parámetro 08.	183
Tabla 4-12. Resultados de la clasificación del parámetro 09.	184
<i>Tabla 4-13. Resultados de la clasificación del parámetro 10.</i>	<i>185</i>
Tabla 4-14. Resultados de la clasificación del parámetro 11.	187
Tabla 4-15. Resultado final de la aplicación del método de Índice de Vulnerabilidad.	188
Tabla 4-16. Cuadro resumen del nivel de vulnerabilidad de las edificaciones evaluadas.....	188
Tabla A-1. Determinación de la granulometría del adobe provenientes de la vivienda encuestada N° 13, siendo la muestra de adobe A-01.	204
Tabla A-2. Determinación de la granulometría del adobe provenientes de la vivienda encuestada N° 04, siendo la muestra de adobe A-02.	205
Tabla A-3. Determinación de la granulometría del adobe provenientes de la vivienda encuestada N° 18, siendo la muestra de adobe A-03.	207
Tabla A-4. Granulometría del mortero de adobe N° 03.	209
Tabla A-5. Granulometría del mortero de adobe N° 02.	211
Tabla A-6. Granulometría de mortero de adobe N° 03.	212
Tabla A-7. Determinación de límite líquido del adobe n° 01.	213
Tabla A-8. Determinación del límite plástico del adobe, donde el promedio es 13.78 %.	214
Tabla A-9. Determinación del límite líquido del adobe n° 02.	215
Tabla A-10. Determinación de límite plástico del adobe n°02.	215
Tabla A-11. Determinación de límite líquido de adobe n° 03.....	216
Tabla A-12. Determinación de límite plástico de adobe n° 02.	217
Tabla A-13. Determinación de límite líquido de mortero del adobe n° 01.	217
Tabla A-14. Determinación de límite plástico de mortero del adobe n° 01.	218
Tabla A-15. Determinación de límite líquido de mortero del adobe n° 02.	219
Tabla A-16. Determinación de límite plástico de mortero del adobe n° 02.	219
Tabla A-17. Determinación del límite líquido de mortero del adobe n° 03.	220
Tabla A-18. Determinación del límite plástico de mortero del adobe n° 03.	221



CAPÍTULO 1. ASPECTOS GENERALES

1.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

A través de los años se ha visto que las edificaciones no resisten a las investidas de cada sismo que se ha presentado. Si bien es cierto que con la tecnología al alcance y los nuevos estudios; se ha logrado construir edificaciones resistentes a todo tipo de peligros, incluidos los riesgos sísmicos, aún hay viviendas, como son las de adobe, que se construyen sin ningún tipo de refuerzo ante el peligro sísmico.

En su mayoría son edificaciones de adobe antiguas, que fueron construidas con técnicas que toman en cuenta muchas tradiciones antiguas, estas técnicas no incluyen métodos de reducción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, debido a que desconocen estar propensos al peligro sísmico. Así, el adobe es uno de los materiales de construcción más antiguos y su uso muy común, en algunas de las regiones más propensas a los desastres del mundo, tradicionalmente a lo largo de América Latina (Blondet, Villa Garcia M., & Brzev, 2003), es por ello que se hace necesaria su investigación.

En el distrito de Chinchero se presenta esta situación, por ser una zona relativamente recién urbanizada, la manera más tradicional de construir es con el uso del adobe y umbrales o viguetas de rollizos de madera. De acuerdo al reglamento nacional de edificaciones E 080 Adobe, indica lo siguiente: Las construcciones de adobe se limitarán a sólo un piso en la zona sísmica 3 y a dos pisos en las zonas sísmicas 2 y 1 definidas en la NTE E.030 Diseño Sismorresistente. (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016)

Ahora, en la zona de estudio existen edificaciones de adobe de dos pisos y hasta de tres pisos, por ello, surgió la necesidad de investigar la situación actual de dichas edificaciones; en lo que a vulnerabilidad sísmica se refiere.

Chinchero es una ciudad que cobrará una dinámica mayor de crecimiento y desarrollo integral, con motivo de la construcción del nuevo aeropuerto internacional del Cusco. Es por ello que la adecuada seguridad sísmica de todas sus edificaciones es parte fundamental del desarrollo integral de esta ciudad.

En el presente trabajo se hizo la evaluación de edificaciones de adobe, porque; al año 2015 el 75% de las viviendas existentes en la zona urbana del distrito de Chinchero; eran de adobe (Plan de Desarrollo Urbano Chinchero, 2015) por lo cual se hizo necesario una evaluación de este tipo de viviendas en particular.



1.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.2.1 PREGUNTA GENERAL

PG: ¿Qué nivel de vulnerabilidad sísmica se presenta en las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero?

1.2.2 PREGUNTAS ESPECÍFICAS

- PE1: ¿Cuál es el estado actual de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero?
- PE2: ¿Cómo son las características arquitectónicas actuales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero?
- PE3: ¿Cuál es el estado actual de los elementos estructurales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero?

1.3 OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

OG: Determinar el nivel de la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- OE1: Evaluar el estado actual de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero.
- OE2: Describir las características arquitectónicas actuales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero.
- OE3: Describir el estado actual de los elementos estructurales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero.

1.4 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA DE LA TESIS

Originalidad:

Es la primera tesis de pregrado a nivel nacional sobre el tema de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de adobe en el centro urbano del distrito de Chinchero-Cusco. Por tanto, es importante realizar este estudio en la Escuela Profesional de



Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, para fortalecer el área de ingeniería sísmica de la línea de estructuras.

Relevancia:

La importancia de este trabajo de tesis se concentra en el futuro progreso y desarrollo urbano de la ciudad de Chinchero, conociendo, en primer lugar, la situación actual de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero y, en segundo lugar, adoptar las medidas pertinentes para incrementar la seguridad sísmica de las mismas. También se destaca el futuro progreso de la ingeniería sismorresistente en la Escuela Profesional de ingeniería civil de la UNSAAC que se logrará con el desarrollo de la presente investigación.

Oportunidad:

El desarrollo del trabajo de tesis es oportuno porque se realizó antes de la construcción del nuevo aeropuerto internacional en la ciudad de Chinchero-Cusco, infraestructura que seguramente ha de proporcionar un impulso dinámico al crecimiento, progreso y desarrollo urbano de la ciudad.

Factibilidad de la tesis:

Esta investigación es viable porque se trabajó con una muestra de 20 edificaciones del centro urbano del distrito de Chinchero-Cusco, que en muchas tesis de pregrado similares desarrolladas en otras ciudades del país han resultado perfectamente manejables. Asimismo, se sustenta la viabilidad de esta investigación en la aplicación de un método moderno, cualitativo-cuantitativo, para calcular los Índices de Vulnerabilidad Sísmica de las edificaciones que se seleccionó en este estudio. Dicho método es de fácil aplicación, es moderno y fiable de acuerdo con sus múltiples aplicaciones.



1.5 HIPÓTESIS DE LA INVESTIGACIÓN

1.5.1 HIPÓTESIS GENERAL

HG: El nivel de la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero es alta.

1.5.2 HIPÓTESIS ESPECÍFICAS

- HE1: El estado actual de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero no es óptimo.
- HE2: Las características arquitectónicas actuales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero son inadecuadas.
- HE3: El estado actual de los elementos estructurales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero son deficientes.

1.6 OPERACIONALIZACIÓN DE VARIABLES

La operacionalización de variables se presenta en la tabla 1-1

Tabla 1-1. Operacionalización De Variables

VARIABLES	FACTORES	INDICADORES
X: Características de las edificaciones	Estado actual de las edificaciones de adobe	Óptimo No óptimo
	Características arquitectónicas actuales	Adecuado Inadecuado
	Estado actual de los elementos estructurales	Eficiente Deficiente
Y: Vulnerabilidad Sísmica		Alta Media Baja

Fuente: Elaboración propia, 2019.



1.7 ALCANCES Y LIMITACIONES DE LA TESIS

En este trabajo de investigación se logró, datos elementales a través de visitas de campo, en el que se accedió al interior de las viviendas a tomar las encuestas y también tomar medidas de las edificaciones adobe.

Las limitaciones son muchas, pero las más destacadas son que no existe una metodología específica para realizar estudios de vulnerabilidad. Esto se debe a que en su mayoría las características de cada zona sísmica varían en cada lugar del planeta, es decir tienen particularidades. Además las tipologías estructurales varían de un lugar a otro debido a las tradiciones culturales y técnicas de construcción diferentes.

Por otro lado, todos los datos sísmicos que se han registrado a través del tiempo en el planeta, no son lo suficientemente amplios y detallados para aplicar la filosofía de “teoría y experimentación”. Además, el mapa sísmico del Perú no tiene datos específicos de intensidades registradas para el distrito de Chinchero, los datos obtenidos son por metodologías que usan aproximaciones, que con años de investigación son cada vez más cercanos a la realidad contextual.

1.8 TIPO Y NIVEL DE INVESTIGACIÓN

Por su enfoque metodológico: Es una investigación CUALITATIVA. Porque, orienta hacia la exploración y la descripción de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de adobe del distrito de Chinchero.

Por la inmediatez de aplicación de sus resultados y por finalidad: Es una investigación APLICADA. Porque se aplica a un problema real, y sus aportes están dirigidos a mejorar la información que se tiene acerca del nivel de vulnerabilidad de las edificaciones de adobe existentes en el distrito de Chinchero.

Por su metodología: Es una investigación NO EXPERIMENTAL, porque el estudio se basó en la observación de las características estructurales y arquitectónicas de las edificaciones de adobe, sin alterar su estructura.

Por su enfoque temporal es TRANSVERSAL, puesto que la investigación se realizó en un determinado espacio de tiempo, es decir; dentro del año 2019 y una sola vez.

Por el nivel de investigación es DESCRIPTIVO CORRELACIONAL porque busca describir las variables y relacionarlas entre sí. Puesto que relacionó las



características estructurales y arquitectónicas de las edificaciones de adobe estudiadas con un índice de vulnerabilidad sísmica, para determinar el nivel de la misma.

1.9 DISEÑO ESPECÍFICO

El diseño es el siguiente:

CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE → CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA → NIVEL DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

1.10 POBLACIÓN Y MUESTRA

1.10.1 POBLACIÓN

Es el total de edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero-Cusco.

1.10.2 MUESTRA

Se trabajó con un total de 20 edificaciones de adobe.

La muestra es probabilística porque todas las edificaciones de adobe tienen la misma probabilidad de ser escogidas.

1.10.3 TAMAÑO MUESTRAL

Las muestras han sido tomadas por conveniencia, de preferencia se seleccionaron edificaciones de fácil acceso.

El tamaño de las edificaciones fue moderado.

Los estratos de esta muestra fueron:

- Edificaciones de adobe de un piso. (dos)
- Edificaciones de adobe de dos pisos. (17)
- Edificaciones de adobe de tres pisos. (uno)

El tamaño de estos estratos de la muestra es proporcional al tamaño total de este tipo de edificación en la población de estudio.

1.11 TÉCNICAS E INSTRUMENTOS DE COLECTA DE DATOS

TÉCNICA:

La técnica principal que se aplicó en la investigación fue la OBSERVACIÓN ESTRUCTURADA, es decir, aquella que se dirige a observar las características de naturaleza estructural y arquitectónica de cada edificación de adobe en estudio. Con la observación estructurada se pudo medir y hacer un plano de las edificaciones estudiadas. En el siguiente esquema de la figura 1.1 se puede ver las actividades realizadas.

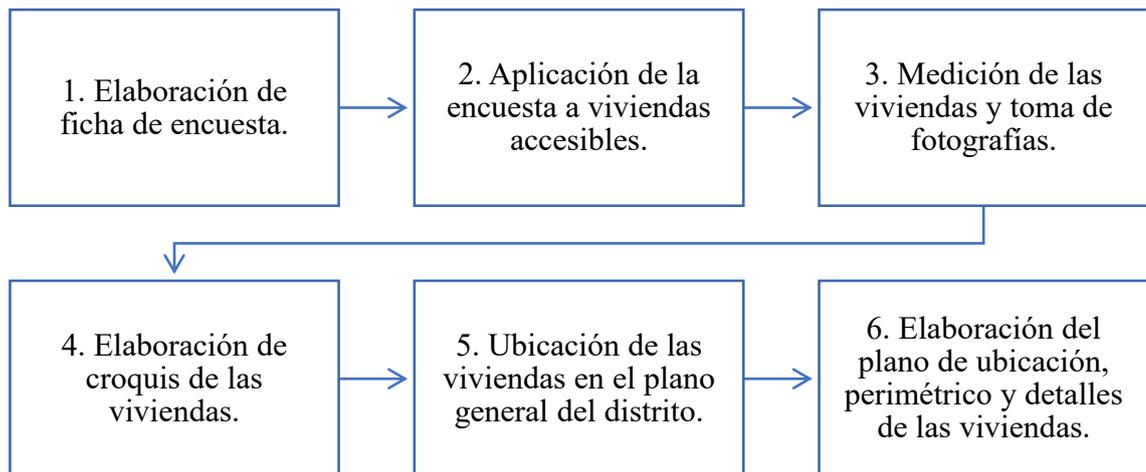


Figura 1.1 Proceso de las actividades realizadas en la colecta de datos. Fuente: Elaboración propia, 2019.

INSTRUMENTOS:

Los principales instrumentos para la recolección y procesamiento de datos son los siguientes:

- Plano de lotización y vías de la zona urbana del distrito de Chinchero.
- Fichas técnicas de encuesta y registro (ver anexo D)
- Cinta métrica.
- Planos de la edificación de adobe.
- Cámara fotográfica.
- Materiales de escritorio, impresión y fotocopias.

1.12 TÉCNICAS DE ANÁLISIS

Inicialmente, se realizó la recopilación de fuentes de información necesarias para desarrollar la investigación, mediante fichas de encuesta.

Se obtuvo los planos de lotización y vías de la ciudad; de la municipalidad distrital de Chinchero, y los planos de las edificaciones de adobe; mediante mediciones realizadas en campo. Esto permitió elaborar cuadro de datos estadísticos (cargas

aplicadas en las viviendas, área de elementos resistentes frente a eventos sísmicos) que son de gran utilidad.

Por el motivo de que sólo fue posible obtener planos de edificaciones de adobe; en viviendas en las cuales se tuvo acceso, mediante mediciones en campo para obtener información de las mismas, ya que muchas de las edificaciones de adobe son producto de la autoconstrucción.

Luego, se procedió a evaluar la metodología y se realizó los ajustes necesarios para adecuarla a la realidad en la cual se ejecutó el estudio. Se elaboraron fichas que permitieron recabar la información necesaria, de acuerdo a cada tipología de edificación de adobe.

Es así que, se llevaron a cabo las visitas técnicas a cada una de las edificaciones de adobe, procurando ingresar a la mayoría de ellas, con previa autorización de los propietarios, y de esta manera se evaluó los distintos parámetros de la metodología, mediante el llenado de las fichas.

En las edificaciones en las cuales no fue posible ingresar, se trató de registrar la mayor cantidad de datos posibles para luego, de acuerdo a la similitud con otras edificaciones, en las cuales se tenga la ficha de evaluación completa, culminar la evaluación y valoración.

Finalmente, se procesó la información total recopilada y se efectuó todo el trabajo de gabinete correspondiente. Se incluyeron las tareas de análisis e interpretación de datos, elaboración de planos y mapas, y otras actividades que fueron necesarias para lograr los objetivos del presente trabajo de investigación.

Estas técnicas de análisis y procedimientos se muestran en el esquema de la figura 1.2.

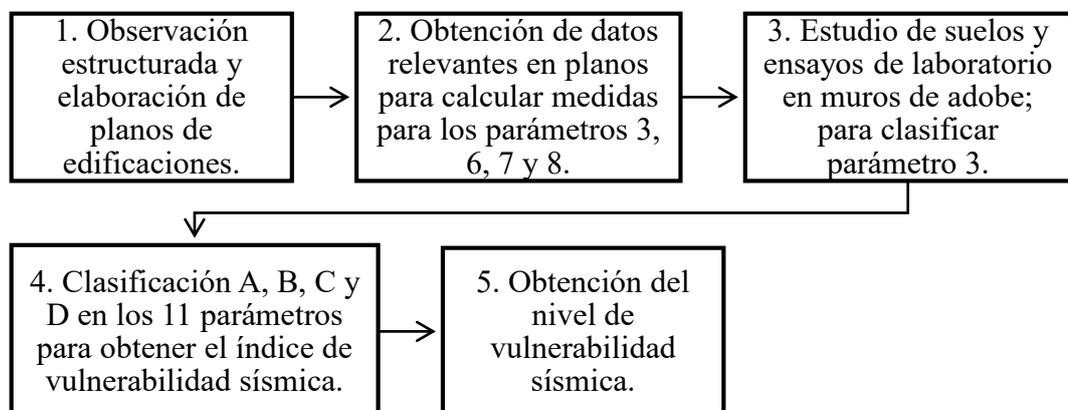


Figura 1.2 Esquema de los pasos realizados para obtener los resultados en la presente investigación. Fuente: Elaboración propia, 2019.



CAPITULO 2. MARCO CONCEPTUAL

2.1 ANTECEDENTES DE INVESTIGACIÓN

En los últimos años diversos países como España, Chile, o México; han desarrollado investigaciones para obtener una gran experiencia en conservación y restauración de viviendas en zonas urbanas, y han generado grandes avances en lo que se refiere al análisis estructural de dichas edificaciones.

Como se sabe, en nuestro país las edificaciones de adobe han estado expuesto desde siempre a los movimientos sísmicos y para poder conservarlas y mejorarlas, se hizo necesario reforzar las estructuras ante los posibles eventos sísmicos que se puedan suscitar. Es por esto que el objetivo primordial es lograr el equilibrio entre la seguridad y la conservación de la estructura de las edificaciones de adobe, con el análisis del comportamiento estructural.

Se realizó la búsqueda y la revisión bibliográfica referida al tema de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de adobe, a cargo de instituciones y/o investigadores; que han efectuado estudios relacionados con el tema.

2.1.1 EXPERIENCIAS INTERNACIONALES

Diversos países han desarrollado importantes investigaciones respecto al tema de vulnerabilidad sísmica en edificaciones, es así que se obtuvieron muchos avances, algunos de los cuales se muestran a continuación:

Italia

Del método de índice de vulnerabilidad sísmica se tiene la experiencia de haberse aplicado en varias ciudades de Italia con buenos resultados y como consecuencia se adoptó oficialmente por el organismo gubernamental de protección civil (Gruppo Nazionale per la Difesa dei Terremoti, GNDT).

Se comienza a desarrollar en este país; con motivo de los estudios post-terremoto realizados a partir de 1976. El método se empieza a describir en 1982, año a partir del cual se utilizó en numerosas ocasiones. Como resultado de ello se obtiene un importante banco de datos sobre daños en edificios, para diferentes intensidades de terremotos y las comprobaciones realizadas; demuestran buenos resultados en la aplicación del método. (C. Caicedo, 1994)



España

Se ha aplicado el método de índice de vulnerabilidad en España en los sismos de Almería en 1993 y 1994 (Yépez, 1994) y Murcia en 1999 (Mena, et al 1999); estos estudios se detallan a continuación:

Para obtener funciones de vulnerabilidad observadas en España, se realizó un estudio post-terremoto después de la ocurrencia de los dos sismos en la región de Almería, el sudoeste de España el 23 de diciembre de 1993 y 4 de enero de 1994, cuya intensidad máxima estimada en el sitio fue de VII en la escala MSK (Yépez, 1994). (Caicedo, Canas, Barbat, & Yépez, 1996)

En el estudio antes mencionado se realizó el levantamiento de daño de los edificios de mampostería no reforzada, es decir; edificaciones de adobe en su mayoría; y de las estructuras de concreto afectados por los terremotos. El tipo y la extensión del daño se analizaron y clasificaron para cada parte estructural y no estructural de las edificaciones y se correlacionaron con el índice de daño definido por la metodología del índice de vulnerabilidad (Yépez, 1994).

México

México es un país que posee una gran cantidad de edificaciones de adobe o mampostería no reforzada, que son relevantes en este país y han sufrido diversos niveles y tipos de daños.

Se realizó estudios de vulnerabilidad sísmica de edificaciones de adobe en varias ciudades de México; de ellas se tiene:

El artículo titulado VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES Y PRONÓSTICO DE DAÑOS EN CASO DE SISMOS FUERTES EN LA CIUDAD DE COLIMA, desarrollada en la ciudad de Colima, que está ubicada en una zona de alto riesgo sísmico, donde se aplicó el método de índice de vulnerabilidad sísmica a las edificaciones residenciales de la zona de estudio. El objetivo de este artículo fue presentar un estudio de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones residenciales de la ciudad de Colima y a partir de allí; construir las matrices de daños esperados para el pronóstico de los efectos de terremotos de intensidad de VI a IX (escala MM). (Zobin & Ventura-Ramírez, 1999)

La metodología del estudio de vulnerabilidad sísmica consta de tres etapas: primero la clasificación de las edificaciones, segundo el inventario de las



edificaciones, y tercero la construcción de matrices de .probabilidad de daños producidos con un terremoto. (Zobin & Ventura-Ramírez, 1999)

El inventario preliminar de 150 edificaciones de la zona de estudio, permitió dividirla en tres subzonas: subzona I (antes de 1950), subzona II (entre 1950 y 1970) y subzona III (después de 1970). Los resultados de cálculos de probabilidades de daños durante terremotos de intensidad VI a IX, para cada subzona, mostraron que tres categorías de daños (fuertes, mayores y totales) son los más peligrosos para la vida de la ciudad. El temblor de intensidad VI no producirá daños significativos. El terremoto de intensidad VII es dañino en la subzona I (11 % de daños mayores y 39% de daños fuertes) y sensible en la subzona II (18% de daños fuertes). El terremoto de intensidad VIII representa real peligro de destrucción de la mitad de las edificaciones en la subzona I (9% de destrucciones totales y 49% de daños mayores), puede ser dañino para edificaciones de la subzona II (25% de daños mayores y 40% de daños fuertes) y bastante sensible en la subzona III (6% de daños mayores y 33% de daños fuertes). El terremoto de intensidad IX puede destruir la mitad de edificaciones en la subzona III y la mayoría de edificaciones de las subzonas I y II (Zobin & Ventura-Ramírez, 1999).

Existe otra investigación realizada en el centro histórico de Tapachula, Chiapas; titulada ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CENTRO HISTÓRICO DE TAPACHULA, CHIAPAS, CON EL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD. En este trabajo se estimó la vulnerabilidad sísmica de 22 manzanas con 399 edificaciones en total del Centro Histórico de Tapachula, Chiapas, con dos métodos: primero el de clasificación tipológica denominada la Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) y posteriormente mediante el método del índice de vulnerabilidad sísmica (MIV) de RISK-UE. Los resultados obtenidos muestran que en la zona estudiada predominan las edificaciones con clasificación de vulnerabilidad alta (B) y muy alta (A) y que la estimación de la vulnerabilidad aplicando los criterios de la Escala EMS-98 mejoran significativamente al aplicar MIV, que detecta una disminución de las de clase E (de 13 a 5) y un incremento de construcciones de la clase A (de 36 a 44) respecto a la evaluación con EMS. (Ruiz Sibaja, Vidal Sánchez, & Aranda Caballero)



En Tlajomulco de Zúñiga, Jalisco en el Oeste de México, se realizó una investigación titulada VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA EN EL PUEBLO DE TLAJOMULCO, JALISCO. En esta investigación, según sus autores Adolfo Preciado, Osmar Rodríguez, Juan Luis Caro y Ramiro Lujan, se aplicó el método de índice de vulnerabilidad, y este índice de vulnerabilidad sísmica del conjunto de viviendas se evaluó por medio del método de inspección y puntaje a través de una evaluación del sistema sismo-resistente. La metodología se desarrolló a través de una muestra representativa de alrededor de 180 estructuras de mampostería no reforzada. Entre ellas el adobe tradicional con aplanado o con muros aparentes, así como diferentes tipos de cubierta pesada y liviana; viviendas de tabique de barro rojo recocido sin confinamiento y con confinamiento deficiente. Los resultados son que la mayoría de las edificaciones obtuvo una clase de vulnerabilidad alta (108 de 180), también obtuvieron una vulnerabilidad alta las edificaciones que mostraban un pobre confinamiento. Además, las estructuras que obtuvieron una vulnerabilidad alta fueron debido a que son de dos niveles y con cubierta de mampostería de cuña. Las estructuras que alcanzaron una clase de vulnerabilidad sísmica intermedia (37 de las 180 evaluadas) fueron también aquellas de tabique de barro pero con diafragma rígido de concreto reforzado y de un solo nivel. Las edificaciones que obtuvieron una vulnerabilidad muy alta (35) fueron las de adobe tradicional. (Preciado, Rodríguez, Caro-Becerra, & Lujan-Godinez, 2015)

Colombia

En Colombia se realizó un trabajo que presenta un modelo rápido y sencillo de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería a escala regional. El método de índice de vulnerabilidad se basa en la identificación de las características influyentes y más relevantes en el daño que sufrirá una edificación de mampostería 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 relativa basado en la opinión de expertos. Puesto que las opiniones tienen imprecisiones y subjetividad, éstas fueron procesadas mediante técnicas difusas. Una vez calificados cada uno de estos parámetros, se procedió a relacionar sus



calificaciones con su valor de importancia por medio de un promedio ponderado difuso. El resultado de esta relación a partir de técnicas basadas en conjuntos difusos corresponde al índice de vulnerabilidad de la edificación de mampostería o adobe. (Maldonado Rondón, Chio Cho, & Gómez Araujo, 2007)

2.1.2 EXPERIENCIAS NACIONALES

En nuestro país se tiene una amplia experiencia en cuanto a este tema, entre las investigaciones más resaltantes tenemos:

En el trabajo de investigación titulado, “EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES COMUNES EN LA CIUDAD DE PIMENTEL”, de autoría de Carlos Augusto Mesta Cornetero (2014), **el objetivo de esta investigación fue evaluar la vulnerabilidad sísmica y la realidad urbana de la ciudad de Pimentel y la importancia de reconocer las zonas de alta, media y baja vulnerabilidad en el ámbito de estudio.** Para ello **el método elegido fue el índice de vulnerabilidad (Benedetti y Petrini)**, que identificó los parámetros más importantes que controlan el daño causado por un terremoto en los edificios. **Llegando a la conclusión de que una gran cantidad de ellas poseen niveles de vulnerabilidad en el rango de medio a alto** (Mesta Cornetero, 2014).

Para la ciudad del Cusco, se tiene un estudio realizado por Rodríguez y Sardón (2005), titulado: “VULNERABILIDAD SISMICA EN VIVIENDAS DE TIPO COLONIAL DEL CENTRO HISTORICO DEL CUSCO”, cuyo **objetivo fue determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones en estudio**, para ello se hizo una adaptación del **método Italiano o método de Índice de Vulnerabilidad**, conforme a las normas peruanas, a la realidad del Perú, para su utilización como método para evaluar las viviendas mencionadas, en esta investigación indica que con respecto a los resultados obtenidos, tanto de los índices de vulnerabilidad como de los índices de daño, **se concluye que los parámetros que más castigan a las edificaciones del Centro Histórico de cualquiera de los 3 eventos que simularon, son la resistencia convencional, configuración en planta, organización del sistema resistente y el estado de conservación** (Rodriguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).



Por último, en la tesis titulada, “ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SISMICA DEL TEMPLO COLONIAL DEL DISTRITO DE CHINCHERO-PROVINCIA DE URUBAMBA, 2017”, realizada por Flores y Paucar (2018), donde **el objetivo del estudio fue determinar el nivel de vulnerabilidad sísmica del templo en estudio**, para ello se utilizó **el método de Índice de Vulnerabilidad y el método de Tarque y Mosqueira**; para evaluar la edificación mencionada. Esta tesis es relevante dado que se emplaza en la misma zona de estudio donde se realiza este trabajo de investigación, por lo cual se tomó como referencia. **Las conclusiones de este trabajo de investigación fueron que el nivel de vulnerabilidad sísmica del templo colonial de Chinchero es Alta, por los dos métodos aplicados** (Flores Cárdenas & Paucar Choque, 2018).

2.2 FUNDAMENTOS DE SISMOLOGÍA

2.2.1 ORIGEN DE LOS SISMOS

Según Alva y Castillo (1993) la idea básica de la teoría de la Tectónica de Placas es que la capa más superficial y sólida de la tierra, es decir la Litósfera, está particionada en varias placas rígidas; dichas placas son movilizadas en otra envoltura menos rígida, llamada Astenósfera, y son destruidas en los límites compresionales de interacción, donde la corteza terrestre es comprimida donde existen fosas marinas o en cadenas montañosas.

El mecanismo que causa el movimiento de las placas, se considera que se debe a movimientos del manto plástico y caliente de la tierra y también a la rotación y los efectos gravitacionales de la tierra. Así pues, la superficie de la Tierra está conformada por 15 placas mayores: Arábica, Africana, Australiana, Antártica, del Caribe, de Cocos, Filipina, Norteamericana, Euroasiática, India, Juan de Fuca, de Nazca, del Pacífico, de Scotia y Sudamericana; y 43 menores. (Mesta Cornetero, 2014)

En la figura 2.1 se observa la ubicación de las placas tectónicas mencionadas.

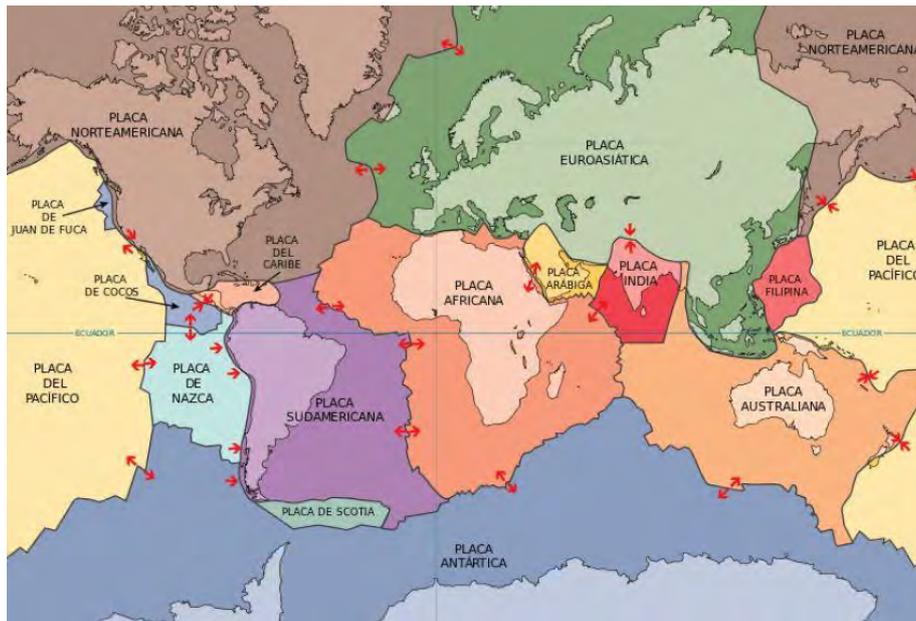


Figura 2.1 Las 15 placas tectónicas mayores. Fuente: USGS 2014.

Los tres tipos más importantes de movimientos de placas son divergente, friccionante y convergente.¹

El movimiento convergente o de subducción es el caso de la placa oceánica Nazca, que se introduce bajo la placa continental Sudamericana, frente al Perú, a razón de unos 9cm/año. Estas placas, al avanzar en sentido contrario, comprimiéndose, acumulan gran cantidad de energía, provocando la ruptura de grandes volúmenes de roca, lo que genera terremotos de gran magnitud (más de 8 grados). En la zona de subducción se generan sismos de hasta 700km de profundidad (Mesta Cornetero, 2014).

CINTURÓN DE FUEGO DEL PACÍFICO

El Cinturón de Fuego es el resultado directo de la tectónica de placas, el movimiento y la colisión de las placas de la corteza terrestre. Está situado en las costas del océano Pacífico, como se observa en la figura 2.2; y se caracteriza por concentrar algunas de las zonas de subducción más importantes del mundo, lo que ocasiona una intensa actividad sísmica y volcánica en las zonas que abarca (Mesta Cornetero, 2014).

¹ Carrasco A., Reyles J. (2012). Vulnerabilidad sísmica en el distrito de Chiclayo - Este aplicando Índices de Vulnerabilidad (Benedetti-Petrini). (Tesis de grado). Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura. Lambayeque.

Se extiende sobre 40,000 km y tiene la forma de una herradura. Tiene 452 volcanes y concentra más del 75% de los volcanes activos e inactivos del mundo. Alrededor del 90% de los terremotos del mundo y el 80% de los terremotos más grandes del mundo se producen a lo largo del Cinturón de Fuego ²

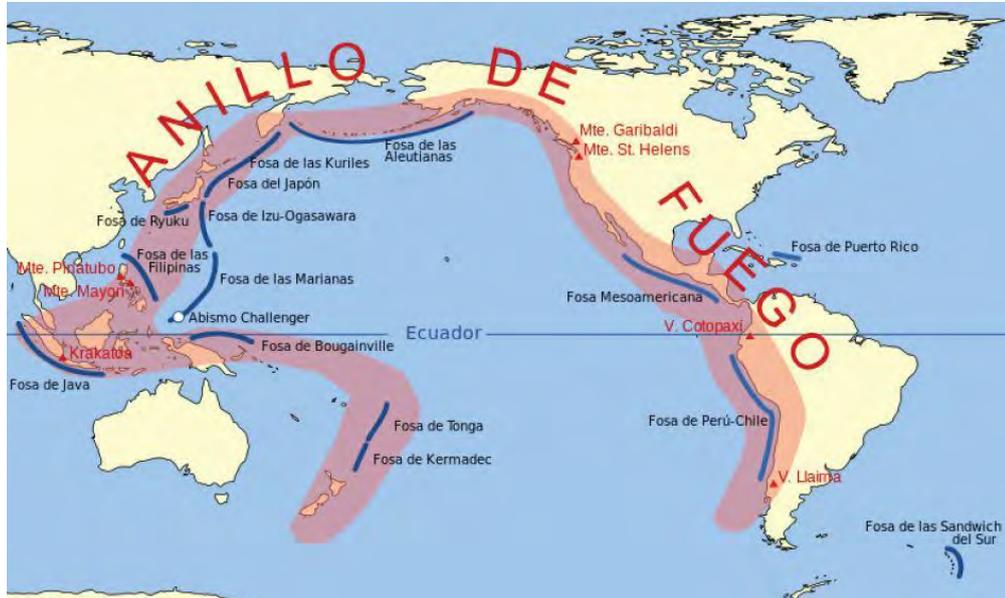


Figura 2.2 Mapa del Cinturón de fuego del Pacífico. Fuente: USGS, 2014.

FOCO Y EPICENTRO

El foco sísmico, foco de un terremoto o hipocentro, es el punto interior de la Tierra donde se inicia un movimiento sísmico o terremoto. La porción de la superficie terrestre situada directamente encima de ella, la vertical del foco; donde el sismo se siente con mayor intensidad, se llama epicentro o área epicentral. Este concepto se ilustra en la figura 2.3.

² Instituto Nacional de Defensa Civil, (2012). *Educación Comunitaria para la Gestión del Riesgo de Desastres: Módulos para Capacitadores Regionales*. Primera Ed. Lima.



Figura 2.3 Mecanismo de acción de un sismo. Fuente: Tarbuck, E. & Lutgens, F., 2001: Ciencias de la Tierra: una introducción a la geología física [6ta ed.] - 540 págs. Prentice Hall, Madrid España. (Obtenido de la página web de la Red Sismológica Nacional – Universidad de Costa Rica)

MEDICIÓN DE LOS SISMOS

Un sismo se mide fundamentalmente con tres parámetros: la magnitud, el momento sísmico y la intensidad sísmica. (Mesta Cornetero, 2014)

A) ENERGÍA SÍSMICA

Empleando las palabras de Bolaños y Monroy (2004) La Energía total liberada por un terremoto es la suma de la energía emitida como ondas sísmicas y la energía disipada en forma térmica por la deformación en la zona de ruptura. Los sismólogos han buscado fórmulas de relación entre la energía liberada y la energía emitida como ondas sísmicas. Esta relación se expresa como se ve en la ecuación 2-1:

$$\text{Log}E = a + b \times M \quad \text{Ecuación 2-1}$$

Donde a y b dependen de la escala de magnitud utilizada.

B) MAGNITUD DE UN SISMO

La magnitud es la medición cuantitativa de la energía liberada en un sismo. Para una valoración objetiva de la magnitud de los terremotos es necesario utilizar instrumentos adecuados como los sismógrafos y acelerógrafos. Sin embargo, un terremoto con una sola magnitud puede tener muchas



intensidades que irán disminuyendo a medida que se alejen del epicentro sísmico (Bolaños & Monroy, 2004).

Existen varias escalas para medir la magnitud de los sismos. Entre las principales están la magnitud local, la magnitud de ondas de volumen, la magnitud de ondas de superficie y la magnitud momento.

➤ Magnitud local (ML)

En 1935, Richter definió la magnitud local como la magnitud para medir sismos poco profundos del Sur de California y con distancias al epicentro menores a 600 km. Esta escala es válida solamente para la zona donde fue calculada, y no puede aplicarse a otras regiones (Bolaños & Monroy, 2004). Richter definió la siguiente relación:

$$M_L = \log(A_{max}) - \log(A_0) \times D \quad \dots \text{Ecuación 2-2}$$

Según Bolaños y Monroy (2004) La ecuación 2-2 está definida como el logaritmo en base 10 de la máxima amplitud (A_{max}) medida en cm en un sísmógrafo Wood-Anderson estándar, menos una corrección por la distancia (D) entre el lugar de registro y el epicentro, que corresponde al logaritmo de la amplitud que debe tener a esa distancia un sismo de magnitud cero (A_0).

➤ Magnitud de ondas de volumen (mb)

La magnitud de ondas de volumen (mb) considera la relación existente entre el periodo predominante en el registro del sismo en su componente vertical y la amplitud de las ondas Secundarias y Primarias (ondas de volumen). La ecuación 2-3 es la relación que permite calcular mb y es conocida como la fórmula de Gutenberg. (Mesta Cornetero, 2014)

$$mb = \text{Log}(A/T) + Q(h, \Delta) \quad \text{Ecuación 2-3}$$

En la ecuación 2-3, A es la amplitud de la señal sísmica medida sobre la componente vertical de registro (en micras), T el periodo (seg) y Q el factor de atenuación de la onda expresado en función de la profundidad del foco (h) y la distancia epicentral (Δ) según las tablas de Gutenberg y Richter (1956) (Mesta Cornetero, 2014).



➤ Magnitud de ondas de superficie (M_s)

Según Mesta Cortenero (2014) Esta magnitud se usa para sismos con foco superficial y se basa en la amplitud máxima del registro medido en el grupo de las ondas Rayleigh con periodos (T) entre 18 – 22 segundos. Las correcciones consideran la distancia al epicentro del sismo y la profundidad del foco del mismo.

La relación establecida para esta escala es:

$$M_s = \text{Log}(A/T) + 1.66 \times \text{Log}\Delta + 3.3 \quad \text{Ecuación 2-4}$$

En esta ecuación 2-4, A es la amplitud del desplazamiento del suelo (micras) y Δ es la distancia epicentral (grados). La fórmula de la ecuación 2-4 tiene validez para sismos que se registraron a distancias comprendidas entre $20^\circ < \Delta < 90^\circ$ y para sismos con focos ubicados a profundidades menores a 70 km. (Mesta Cornetero, 2014)

➤ Magnitud de momento sísmico (M_w)

El momento sísmico es quizás el parámetro más importante para estimar el tamaño de un sismo, es una medida físicamente significativa, puesto que está relacionada directamente con los parámetros fundamentales del proceso de falla. (Mesta Cornetero, 2014)

Según Keiiti Aki (1966), profesor en el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT), el momento sísmico puede ser calculado a partir de la siguiente relación:

$$M_o = \mu \times A \times \Delta u \quad \text{Ecuación 2-5}$$

En la ecuación 2-5, μ es el módulo de rigidez de la roca, A el área de la falla y Δu el desplazamiento medio sobre el plano de falla.

Este factor ha dado lugar a la definición de una nueva escala, denominada escala de magnitud momento, introducida en 1979 por Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori como la sucesora de la escala de Richter. (Mesta Cornetero, 2014)

La relación establecida para esta escala es la expresada en la ecuación 2-6:

$$M_w = (2/3)\text{Log}(M_o) - 6.0_{(N-m)} \quad \text{Ecuación 2-6}$$



De acuerdo con Mesta Cornetero (2014) una ventaja de la escala de magnitud de momento es que no se satura cerca de valores altos. A diferencia de otras escalas, ésta no tiene un valor por encima del cual todos los terremotos más grandes reflejen magnitudes muy similares. Otra ventaja que posee esta escala es que coincide y continúa con los parámetros de la escala de Richter.

C) INTENSIDAD SÍSMICA

Desde el punto de vista de Bolaños y Monroy (2004) La intensidad sísmica es la violencia con que se siente un sismo en la zona afectada. La medición de la intensidad es cualitativa y se realiza observando los efectos o daños producidos por el sismo en las construcciones, objetos, terreno, y el impacto que provoca en las personas. Para medir la intensidad se emplea la Escala de Intensidades Modificada de Mercalli que es una escala descriptiva de 12 grados. Existe también la escala MSK, elaborada por los sismólogos europeos Medvedev, Sponhever y Karnik. Esta escala precisa mejor los efectos de un sismo en las construcciones.

2.2.2 SISMO TECTÓNICA DEL PERÚ

Según Bolaños y Monroy (como se citó en Mesta Cornetero, 2014) la actividad sísmica en el Perú está gobernada por la interacción de las placas tectónicas de Nazca y Sudamericana, así como de los reajustes que se producen en la corteza terrestre. La alta convergencia entre las placas ha producido la subducción de la placa de Nazca debajo la Sudamericana a una razón de 8-10 cm/año hasta profundidades de por lo menos 200 km en el Perú Central.

El proceso de subducción de la placa de Nazca presenta tres rasgos tectónicos importantes, cada uno de ellos con características distintas con respecto a los eventos sísmicos que producen y las fallas que presentan, como se ve en la figura 2.4.

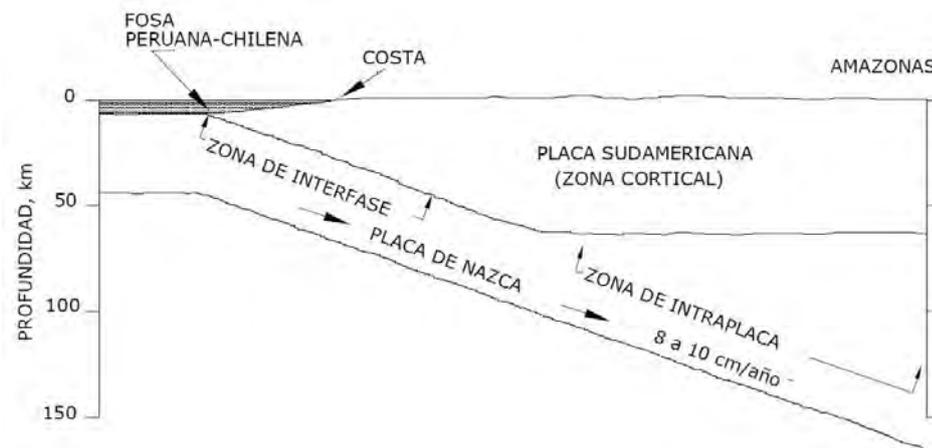


Figura 2.4 Sección transversal del proceso tectónico en la zona de subducción entre la placa de Nazca y la placa Sudamericana. Fuente: (Bolaños & Monroy, 2004).

Mesta Cornetero (2014) indica que la zona de subducción de interface poco profunda está caracterizada por el acoplamiento de las placas de Nazca y Sudamericana y posee mecanismos que obedecen a procesos compresivos. La mayor parte de los sismos a nivel mundial ocurren en esta zona y se presentan entre los 40 y 50 km de profundidad aproximadamente, con magnitudes M_w inclusive de 9,0.

La zona de corteza continental de la placa Sudamericana está sujeta a esfuerzos tectónicos compresionales debido a su convergencia con la placa de Nazca. Esto ha dado como resultado el arrugamiento y levantamiento del margen continental durante un proceso orogénico muy complejo, cuyo resultado final fue la formación de la cordillera de los Andes. La zona de la corteza está caracterizada por eventos moderados, con fallas con ángulo de buzamiento pequeño y con magnitudes M_w entre 6,0 y 7,5; presentadas a lo largo de los márgenes occidental y oriental de la cordillera de los Andes (Mesta Cornetero, 2014).

2.3 ANTECEDENTES DE SISMICIDAD

El presente estudio se realizó en el distrito de Chinchero, a nivel a de zona urbana, es decir el centro urbano del Distrito.

El distrito de Chinchero, se encuentra en la Zona Sísmica N° 2 (Reglamento Nacional de Edificaciones, 2016), esto se observa en la Fig. N° 2.5.



Figura 2.5 Zonas sísmicas del Perú.

Chinchoero está en la zona 2. Fuente:

Reglamento Nacional de Edificaciones E.030, (2016)

Así, las edificaciones de adobe en la zona urbana deben ser seguras para evitar pérdidas humanas y materiales en eventos sísmicos leves o severos, y minimizar costos elevados de reparación de viviendas en eventos menores pero más frecuentes (Bazán Arbildo, 2007).

Además del problema latente del peligro sísmico, existe el aumento de edificaciones, debido al crecimiento de la población y la perspectiva de que el distrito de Chinchero será un foco de movimiento económico muy importante, que generará nuevos comercios en la zona; por otra parte, las edificaciones de concreto armado son de costo elevado, es por ello que muchas de las edificaciones son construidas a base de adobe, con los conocimientos ancestrales, sin muchas técnicas de seguridad.

Es así que las edificaciones de adobe son las que se encuentran en mayor cantidad y a su vez son más vulnerables a los peligros de la naturaleza. Como se puede ver en la figura N° 2.6 donde una vivienda se derrumbó ante la presencia de lluvias, y en la figura 2.7 se observa una vivienda de adobe con grietas de 3mm en la fachada.



Figura 2.6 Vivienda destruida por efecto de deslizamientos en época de lluvias, dado que se encuentra en zona de alta susceptibilidad de movimiento en masa. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 2.7 Vista de una de las viviendas estudiadas, donde se evidencia la presencia de grietas mayores a 3 mm. Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.3.1 SISMICIDAD HISTÓRICA DEL SUR DEL PAÍS

En este espacio se describen algunos antecedentes sísmicos históricos ocurridos en el Sur del Perú, los cuales han sido recopilados de diversas fuentes; entre ellas crónicas y publicaciones (Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI), 2006; Silgado, 1981; Ocola, 1982), así como diarios locales, físicos y virtuales:

1581. Terremoto en Cusco.

1582, Enero 22, 11h30min. Terremoto que destruyó la ciudad de Arequipa. Tuvo una magnitud de 8.1 (750 Km. Al NE de Arequipa), el movimiento sísmico alcanzó una intensidad de X en la Escala Modificada de Mercalli, en Socabaya; en Arequipa se sintió con una intensidad de IX.

1600, Febrero 19, 05h00min. Fuerte sismo causado por la explosión del volcán Huaynaputina (Omate), se desplomaron todos los edificios con excepción de los más pequeños, alcanzando una intensidad de XI MM en la zona del volcán.

1650, Marzo 31, 14h00min. Terremoto en la ciudad del Cusco.

1868, Agosto 13, 16h45min. Este terremoto alcanzó una intensidad de grado XI y fue acompañado de tsunami. El epicentro estuvo en el Puerto de Arica,



se sintió a unos 1400 Kms., al norte y al sur. Afectó a Arequipa, Tacna, y Moquegua. Tuvo una magnitud de 8.6.

1913, Agosto 06, 17h13min. Terremoto que destruyó la ciudad de Caravelí, este movimiento produjo el desplome de todas las edificaciones de dicha ciudad y derrumbes en las laderas del valle. El epicentro se le ubicó en el Océano Pacífico frente al litoral, y su magnitud de 7.7 en Caravelí.

1928, Abril 09, 12h30min. Movimiento sísmico de grado VII MM, destruyó Ayapata, y Tatua Ollachea, Departamento de Puno.

1950, Mayo 21. Terremoto en Cusco. Tuvo una intensidad de VIII en la escala de Mercalli Modificada.

1966, Abril 05, 15h15min. Tras un largo silencio sísmico, terremoto en Cusco, magnitud de 5.8 grados Richter.

1995, Octubre 04. Un temblor en Cusco.

2003, Agosto 08. Se registraron dos movimientos sísmicos de regular intensidad en el departamento del Cusco.

2.3.2 SISMICIDAD REGIONAL EN CUSCO

En este espacio se describen algunos antecedentes sísmicos históricos ocurridos en la región Cusco, los cuales han sido recopilados de diversas fuentes; entre ellas crónicas y publicaciones (INDECI, 2006), historia general del Perú de Rubén Vargas Ugarte, así como diarios locales, físicos y virtuales:

1581. Terremoto de intensidad IX MM en Yanaoca, Cusco.

1650, Marzo 31, 14h00min. Terremoto en la ciudad del Cusco que dejó la ciudad en ruinas. Fue de intensidad IX MM en Yaurisque, Oropesa y Paucartambo (Silgado, 1978 y Ocola, 1982). Su magnitud fue 7.7 Ms. Causó fuertes daños en edificaciones. Se producen deslizamientos en Paucartambo y Pisac.

1707, Setiembre 17. Terremoto de 7.0 Mb de magnitud, en el distrito de Capi, Provincia de Paruro. Se derrumban 90 casas.

1744, Noviembre 19. Terremoto de magnitud 6.0 Mb cerca de la ciudad del Cusco.

1746, Febrero 11. Terremoto de magnitud 7.0 Mb en el pueblo de Urcos, cerca del Cusco. Destrucción de muchas casas en Urcos.



1931, Junio 18. Terremoto de magnitud 7.0 Ms en la provincia de Canchis, son afectados los pueblos de Tinta, Sicuani, Checacupe y Yanaoca. El suelo de agrietó y se desplomaron muchas viviendas.

1938, Marzo 5. Terremoto de magnitud 6.0 Mb con epicentro en Acopía, provincia de Acomayo, es afectado en pueblo de Acopía.

1939, Junio 23. Terremoto de magnitud 6.0 Mb con epicentro en Pomacanchi, son afectadas las provincias de Acomayo y Canas. Se registran daños mayores en las edificaciones de adobe.

1941, Setiembre 18. Terremoto de 6.4 Mb de magnitud con epicentro cerca del Cusco, siendo afectados Cusco y Apurímac. Daños en edificios y viviendas en el Cusco.

1943, Enero 30. Sismo local de magnitud 6.5 Mb, con epicentro en Yanaoca en la provincia de Canchis, siendo afectados los pueblos de Yanaoca y Pampamarca.

1950, Mayo 21. Terremoto en Cusco de intensidad VIII en la escala modificada de Mercalli, y 7.0 Mw de magnitud. Produjo el 50% de daños en las viviendas (Silgado, 1978). Provoca derrumbes de cerros y montañas del Cusco.

1961, Noviembre 08. Terremoto de 6.0 Mb de magnitud, con epicentro en la provincia de Acomayo, distrito de Acos.

1965, Mayo 08. Terremoto de 6.0 Mb de magnitud, con epicentro en el distrito de Urcos provincia de Quispicanchis. Es afectado el pueblo de Urcos y se desprenden las laderas de los cerros.

1966, Abril 05, 15h15min. Tras un largo silencio sísmico, terremoto en Cusco, magnitud de 5.8 grados Richter.

2014, Setiembre 27, 21h35min. Terremoto de magnitud 5.0 Mw (5.0 ML) con epicentro a 4 Km al oeste de Paruro. El hipocentro fue calculado a unos 6 Km, por lo que se sintió fuerte (VII) en la localidad de Misca, donde se dañaron 60 viviendas de adobe y 45 colapsaron en la provincia de Paruro.

2.3.3 SISMICIDAD LOCAL EN CHINCHERO

En lo que respecta a los sismos ocurridos a nivel local en los últimos años, se tiene los siguientes datos:

1986, Abril 05. Sismo con magnitud de 5Mw, foco superficial e intensidades entre IV y VI en la escala de Mercalli modificada. Según Cabrera y Sébrier (1998), este sismo fue localizado a 8 Km al NE de la ciudad del Cusco. Fue generado por la reactivación de las fallas Chinchero-Qoricocha, presentó una longitud de 3 Km y desplazamientos de hasta 10 cm, con extensión en dirección Norte-Sur.

En la figura 2.8 se puede ver el mapa de isosistas realizado luego de este evento sísmico.

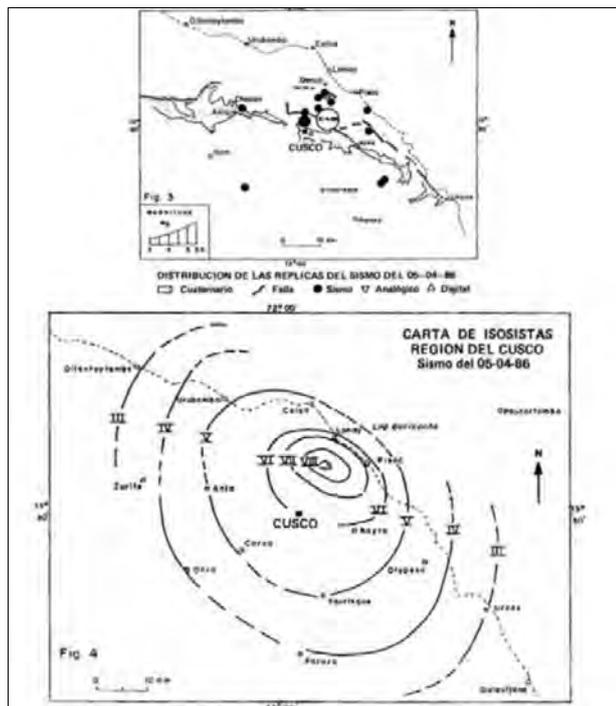


Figura 2.8 Mapa de localización epicentral e intensidades del sismo de 1986 Fuente: Huamán, 1987.

2019, Agosto 22, 06h40min. Sismo de magnitud 3.6 en la escala de Richter remeció el departamento del Cusco, su epicentro se localizó a 13 kilómetros al suroeste de Calca, a una profundidad de 9 kilómetros. La localización se observa en la figura 2.9.

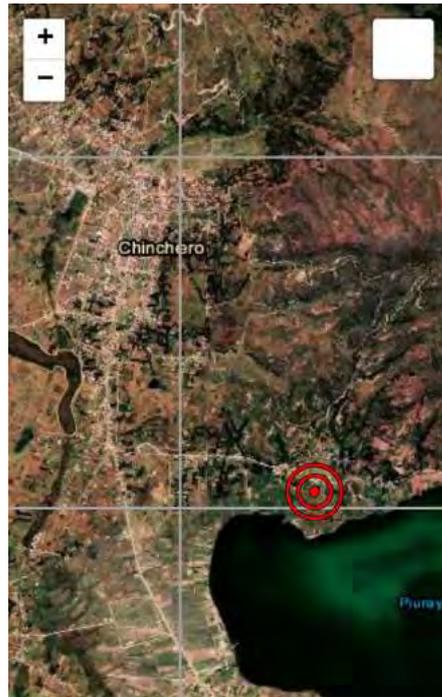


Figura 2.9. Ubicación del epicentro del sismo del 22 de Agosto del 2019, donde se observa que ocurrió cerca de la zona urbana del distrito de Chinchero. Fuente: IGP.

2.3.3.1 PRINCIPALES FORMACIONES GEOLÓGICAS PRESENTES EN EL DISTRITO

Según los autores del boletín n° 65. Serie A: Carta Geológica Nacional del INSTITUTO GEOLÓGICO MINERO Y METALÚRGICO (INGEMMET) el distrito de Chinchero se localiza regionalmente sobre las mesetas de Maras y Chinchero, la superficie topográfica corresponde a planicies, quebradas y lomadas bajas conformadas por depósitos eluviales y suelos lacustres que se encuentran al oeste de la ciudad de Chinchero; a una altitud promedio de 3,720 msnm (Carlotto, Gil, Cárdenas, & Chávez, 1996). Las unidades lito estratigráficas que predominan en la zona de estudio son:

- Qh-al2: Gravas, arenas mal seleccionadas en matriz areno limosas incluye conos aluviales. Pertenece a la formación de depósitos aluviales 2.
- Kis-ma: Yeso, anhidritas con calizas, limoarcillitas, y areniscas caóticas. Pertenece a la formación Maras.
- NQ-chi: Arenas, gravas en matriz arcillo arenosas. Pertenece a la formación Chincheros.

En la figura 2.10 se observa el mapa con las formaciones circundantes a la zona urbana del distrito de Chinchero.

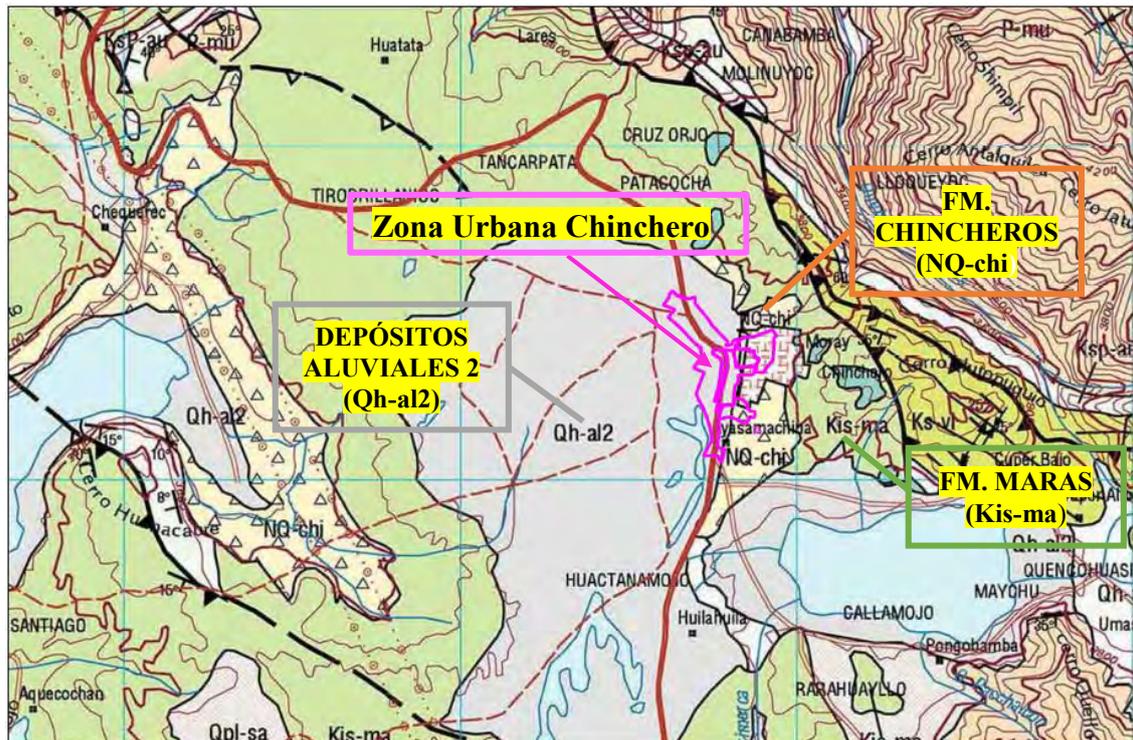


Figura 2.10. Principales unidades litoestratigráficas de la zona urbana del distrito de Chinchero. Fuente: Mapa geológico del cuadrángulo de Urubamba 27r, INGEMMET, 2013.

Como se mencionó anteriormente, las principales formaciones geológicas presentes en la zona de estudio son la formación Chincheros, formación Maras, procedente del grupo Yuncaypata y depósitos aluviales, los cuales se detallan a continuación:

Formación Chincheros:

Según los autores del boletín n° 65. Serie A: Carta Geológica Nacional del INGEMMET, esta formación aflora en los alrededores de la Laguna de Piuray, cerca de la zona urbana de Chinchero, en las faldas del cerro Moyontuyoc, en los alrededores de la laguna de Huaypo y en la falda sur del cerro Sencca. Esta unidad reposa sobre una topografía diferenciada y en discordancia angular sobre el Grupo Yuncaypata (Carlotto, Gil, Cárdenas, & Chávez, 1996).

Esta unidad está constituida en su mayoría de brechas que tienen una matriz arcillo-arenosa, y por un conjunto sedimentario caótico formado por bloques de brechas, calizas y limonitas, que provienen de la erosión del Grupo Yuncaypata; es decir calizas, yesos y lutitas de diferentes colores. El espesor estimado es de 200 m, y está compuesta por secuencias grano decrecientes y



estratos decrecientes de segundo orden. Las características geotécnicas de los sedimentos que constituyen esta formación son malas debido a los diferentes grados de compactación y a la heterogeneidad de los materiales (Carlotto, Gil, Cárdenas, & Chávez, 1996).

La Formación Chincheros (Cabrera, 1988), está formada por secuencias fluvio torrenciales y la evolución estratigráfica muestra que esta formación sería sobre todo Pliocena.

Formación Maras:

Según los autores del boletín n° 65. Serie A: Carta Geológica Nacional del INGEMMET, esta formación sobreyace concordantemente a la Formación Paucarbamba. Estas secuencias afloran en la Pampa de Maras-Piuray. En estos sectores los afloramientos se presentan de manera caótica, es decir una mezcla de lutitas, yesos y en menor cantidad calizas, producto de deformaciones diapíricas.

Esta formación está compuesta básicamente por yesos, intercaladas con lutitas rojas y en menor cantidad lutitas verde y algunos niveles de calizas de grosores delgados (3 a 7 metros). Las lutitas serían de origen lacustre o marino poco profundo, las calizas y los yesos de *sabkha* indicarían máximos transgresivos (Carlotto, 1992).

El grosor total de esta formación se estima entre 100 y 200 metros, aunque en algunos lugares sobrepasa los 400 metros debido a efectos tectónicos y diapíricos (Carlotto, Gil, Cárdenas, & Chávez, 1996).

Depósitos Eluviales:

Según los autores del boletín n° 65. Serie A: Carta Geológica Nacional del INGEMMET, dentro de estos depósitos, se considera los conos tanto los de deyección como aluviales. Estos conos están adosados principalmente a la desembocadura de las quebradas adyacentes al valle del río Vilcanota-Urubamba, de los ríos Ocobamba, Lucumayo y Lares en el Cuadrángulo de Urubamba. Dentro de los conos, las quebradas están conformados por grandes bloques de granitos, rocas volcánicas, cuarcitas, etc., y están envueltos por una matriz areno-arcillosa (Carlotto, Gil, Cárdenas, & Chávez, 1996).

Son depósitos no consolidados, cubren áreas considerables. Estos depósitos de Gravas con diámetro variable, de sub redondeados a sub angulosos en una matriz de arena, arcilla y limo, forman los deslizamientos (Carlotto, Gil, Cárdenas, & Chávez, 1996).

2.3.3.2 PRINCIPALES FALLAS GEOLÓGICAS CIRCUNDANTES AL DISTRITO

La zona urbana del distrito de Chinchero está ubicado cerca de muchas fallas geológicas de la Región del Cusco como son: Falla Geológica de Chinchero, Falla Geológica de Qoricocha, Falla Geológica de Tambomachay, Falla Geológica Zurite - Huarcocondo, etc. Los cuales podrían afectar a las edificaciones en una eventual activación de las fallas. En la figura 2.11, se observan las mencionadas fallas y en un círculo se encuentra indicado la zona urbana del distrito de Chinchero.

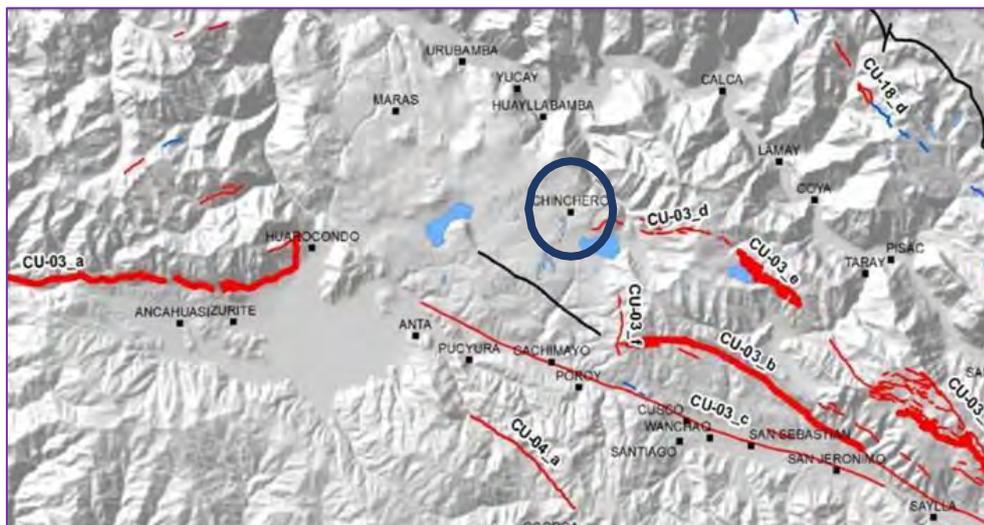


Figura 2.11. Principales fallas geológicas cercanas a la zona urbana del distrito de Chinchero. (INGEMMET, 2013)

Las principales fallas geológicas cercanas a la zona urbana del Distrito de Chinchero se detallan a continuación:

a) Falla Chinchero

Según el boletín n° 55. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica del INGEMMET, esta falla se encuentra ubicada a 8 kilómetros en dirección Norte de la falla Tambomachay, con dirección Este-Oeste. Está representada

por escarpes discontinuos que generan hasta 10 metros de desnivel de la superficie y que se emplazan a lo largo de 10 kilómetros sobre los 4200 m.s.n.m. formando parte de los sistemas de fallas cuaternarias y activas de la cordillera Oriental. La falla Chinchero se localiza a 11 kilómetros de la ciudad del Cusco, sus segmentos se encuentran emplazados entre los 3700 y 4300 m.s.n.m., se observan claros movimientos de tipo normal que a su vez afectan a los depósitos aluviales, fluvio-glaciares y las morrenas (Benavente Escóbar, Delgado Madera, Taipei Maquerhua, Audin, & Pari Pinto, 2013).

En la figura 2.12 se puede observar la ubicación de la falla geológica Chinchero, marcada con flechas rojas.

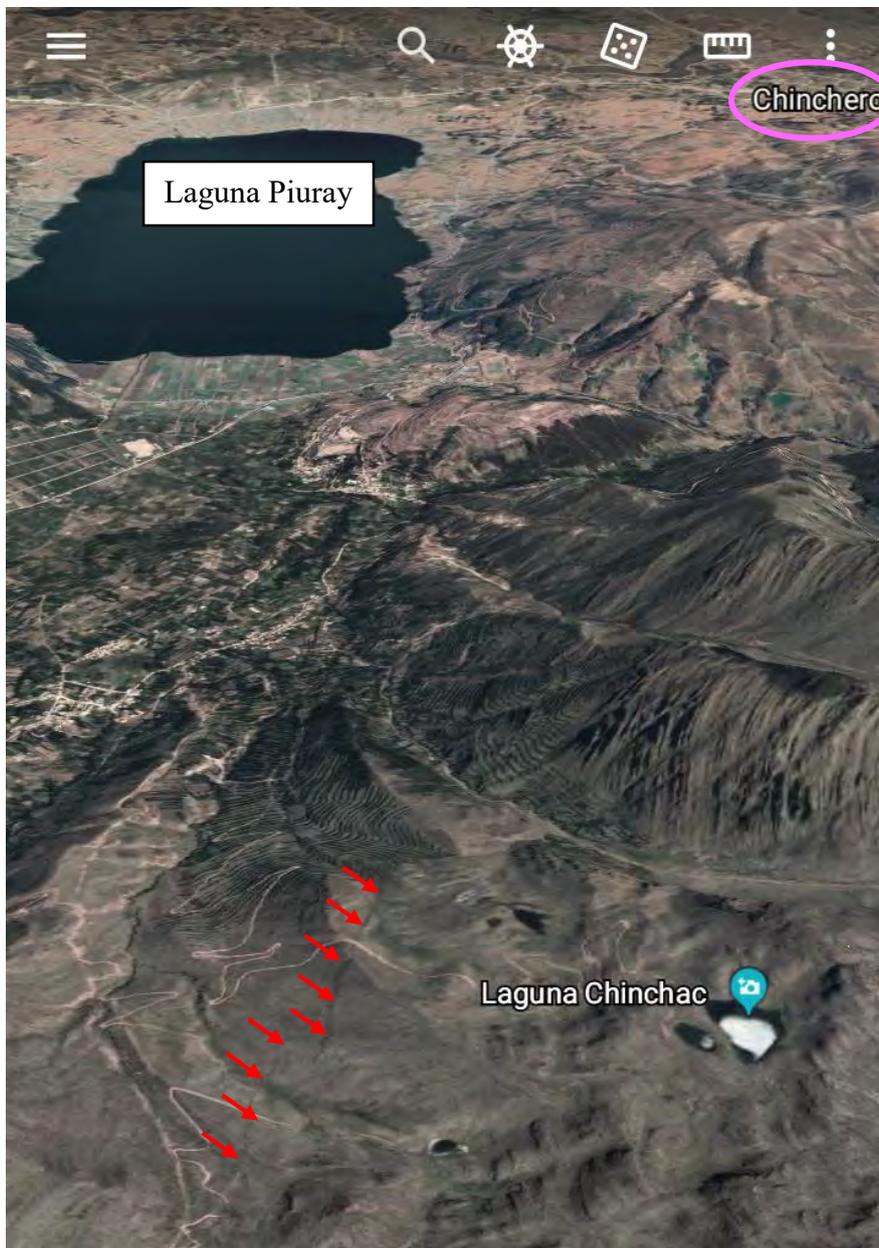


Figura 2.12. Falla geológica Chinchero. Fuente. Google Earth, 2019.

b) Falla Qoricocha.

Según el boletín n° 55. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica del INGEMMET, esta falla se ubica a 6 kilómetros en dirección Norte de la falla Tambomachay y es una prolongación sur de la falla Chinchero. Tiene una longitud de 8 kilómetros y se emplaza sobre una planicie ubicada entre 4000 y 4300 m.s.n.m. (Benavente Escóbar, Delgado Madera, Taípe Maquerhua, Audin, & Pari Pinto, 2013).

En Abril de 1986 parte de esta estructura se reactivó generando un sismo principal de magnitud 5.4 Mw con ruptura de superficie promedio de 10 centímetros (Cabrera & Sébrier, 1998).

En la figura 2.13 se observa la ubicación de la falla geológica Qoricocha.

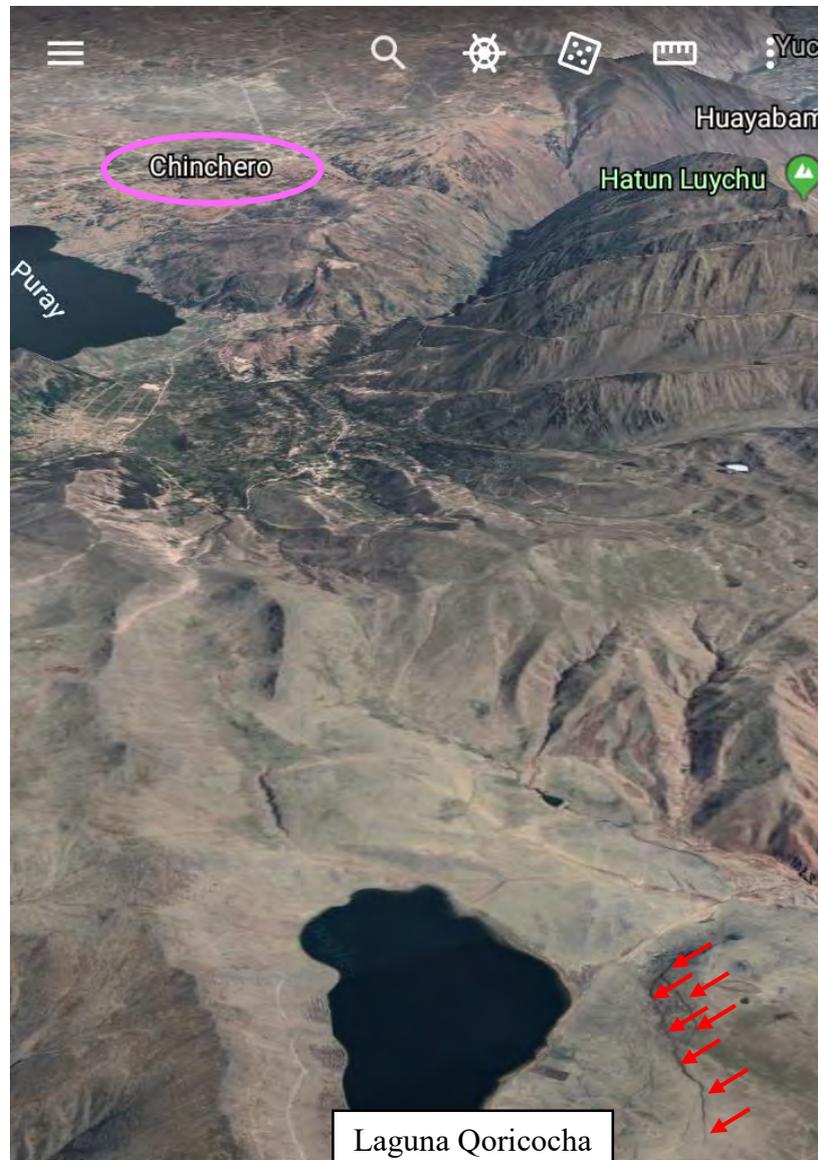


Figura 2.13. Falla geológica Qoricocha. Fuente: Google Earth, 2019.

c) Falla Tambomachay

Según el boletín n° 55. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica del INGEMMET, esta falla se encuentra ubicada en el borde Norte de la ciudad del Cusco. Se extiende con dirección N120°E a lo largo de 20 kilómetros, limitando una cuenca rellena por depósitos fluviales y lacustres del Cuaternario. Su ubicación adyacente a la ciudad de Cusco (4 kilómetros) la convierte en un peligro latente, es decir se trata de una falla activa (Benavente Escóbar, Delgado Madera, Taipei Maquerhua, Audin, & Pari Pinto, 2013).

En la figura 2.14 se observa la ubicación de la falla geológica Tambomachay.



Figura 2.14. Falla geológica Tambomachay. Fuente: Google Earth, 2019.



2.3.3.3 ACELERACIONES MÁXIMAS POSIBLES.

En el año 2013 el INGEMMET en su boletín n° 55. Serie C: Geodinámica e Ingeniería Geológica, elaboró el cálculo de magnitudes máximas posibles que una falla intraplaca pueden generar en las regiones próximas y también realizaron el cálculo de los mapas de aceleración sísmica. Las aceleraciones se calcularon para periodos de entre 0.1 y 5 segundos. Los resultados representan la aceleración máxima horizontal del suelo (PGA) en el punto estudiado, para un evento de magnitud M, que es la máxima encontrada o reportada para cada diferente falla (Benavente Escóbar, Delgado Madera, Taipe Maquerhua, Audin, & Pari Pinto, 2013).

“Los cálculos se realizaron utilizando las propuestas de Wells & Coppersmith (1994) y Stirling et al. (2002). Utilizando relaciones empíricas entre magnitud, momento, longitud de ruptura de la superficie, longitud de ruptura en subsuelo, ancho de la ruptura, área de ruptura, el desplazamiento máximo y promedio por evento” (Benavente Escóbar, Delgado Madera, Taipe Maquerhua, Audin, & Pari Pinto, 2013).

En términos generales, los resultados obtenidos muestran un interesante comportamiento de los valores de máxima aceleración en las zonas circundantes a las fallas. Tomando en cuenta los rangos de aceleración sísmica de la Guía Metodológica: Evaluación del Riesgo por Fenómenos de Remoción en Masa (Ojeda et al. 2001), se reclasificaron los mapas productos en cinco rangos de aceleración (esto se puede observar en la figura 2.15) para las fallas de Tambomachay (figura 2.16), Qoricocha (figura 2.17) y Pachatusan (figura 2.18); la morfología en cada uno de los escenarios delimita las zonas de mayor aceleración sísmica, éstas son en áreas próximas a las fallas y en zonas donde la litología representa un factor amplificador del movimiento del suelo (Benavente Escóbar, Delgado Madera, Taipe Maquerhua, Audin, & Pari Pinto, 2013).

Grados de aceleración sísmica

Aceleración		Grado
<0.1		Muy baja
0.1-0.21		Baja
0.21-0.25		Media
0.25-0.29		Alta
>0.29		Muy alta

Figura 2.15. Grados de aceleración sísmica para el Perú. Fuente: INGEMMET, 2013.

Las aceleraciones calculadas para cada escenario que se observan en las figuras 2.16, 2.17 y 2.18, se observa que afectan de manera distinta al Distrito de Chinchero, siendo la falla de Qoricocha y Tambomachay las más peligrosas para el Distrito de Chinchero en especial para las edificaciones de adobe, es importante resaltar que no realizaron los cálculos para la falla geológica de Chinchero, que es la falla que más afectaría a las edificaciones en general por su cercanía. Por otro lado, cabe resaltar que los cálculos hechos para cada una de las fallas geológicas, son un ensayo teórico de la aceleración frente a un evento sísmico de máxima magnitud (Benavente Escóbar, Delgado Madera, Taípe Maquerhua, Audin, & Pari Pinto, 2013).

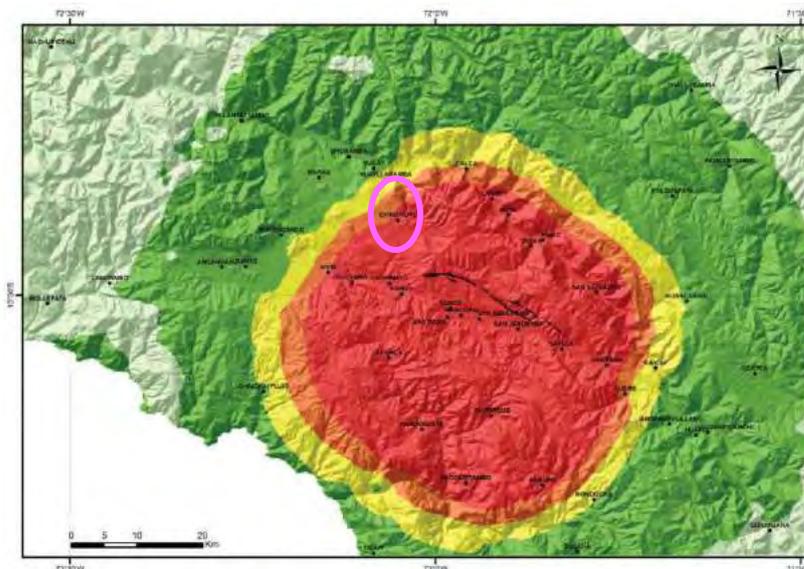


Figura 2.16. Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA expresados en g, para la falla Tambomachay. Fuente: INGEMMET, 2013.

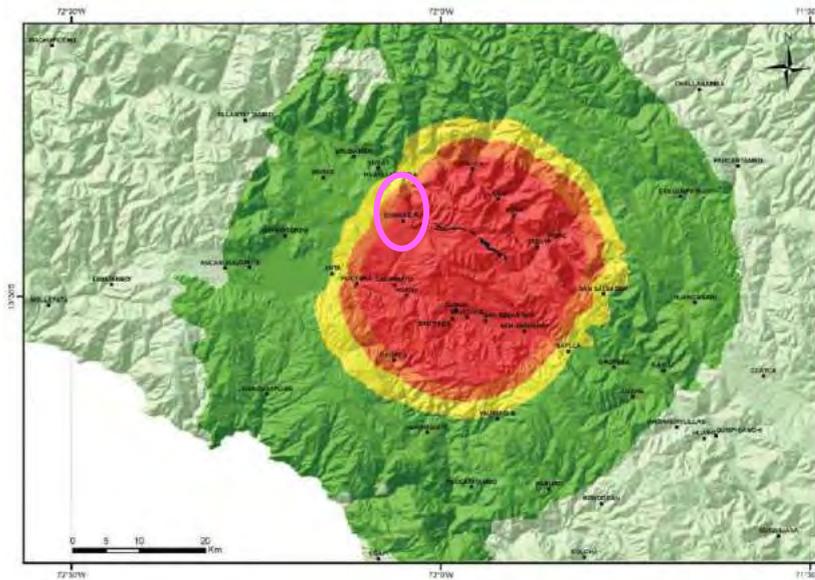


Figura 2.17. Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA expresados en g, para la falla Qoricocha. Fuente: INGEMMET, 2013.

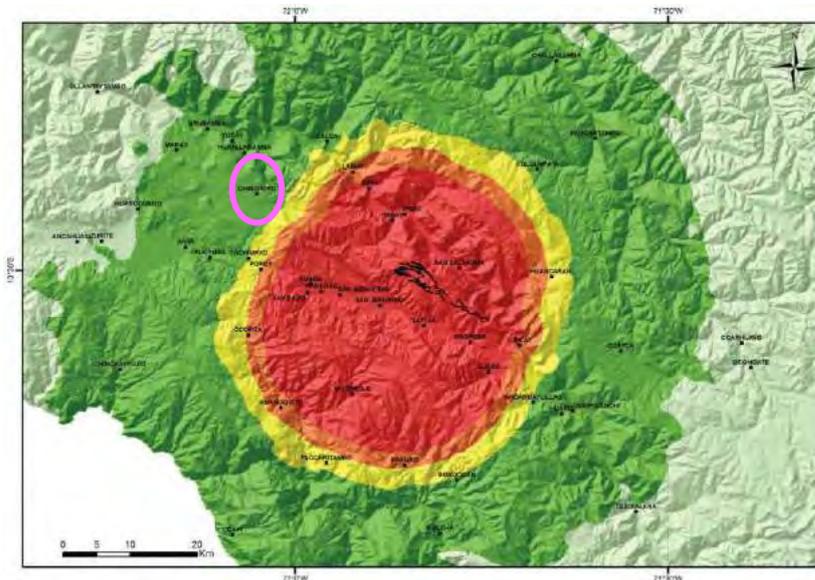


Figura 2.18. Mapa de aceleración sísmica en términos de PGA expresados en g, para la falla Pachatusan. Fuente: INGEMMET, 2013.

2.4 VULNERABILIDAD SÍSMICA

La vulnerabilidad es el grado de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala que va desde cero que equivale a sin daño; a uno que equivale a pérdida total (Barbat & Pujades, 2004).

También 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).

Además, como expresan Moreno-González y Bairán (2014) en el artículo sobre análisis del comportamiento sísmico en edificios de Barcelona; que la vulnerabilidad de un edificio existente se puede entender como la capacidad que tiene la estructura para soportar acciones sísmicas y que la fragilidad está



relacionada con su vulnerabilidad sísmica y se cuantifica mediante curvas de fragilidad. Ahora, la acción sísmica se caracteriza por medio del espectro elástico de respuesta con un 5% de amortiguamiento y está representado en coordenadas espectrales (desplazamiento espectral, en las abscisas, y aceleración espectral, en el eje de las ordenadas) (Moreno-González & Bairán, 2011).

La Oficina de las Naciones Unidas para Asuntos Humanitarios (ONU/DHU) en conjunto con la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (UNESCO) promovió una reunión de expertos con el fin de plantear una unificación de definiciones que ha sido pródigamente aceptada en los últimos años. Entre otras nociones, el reporte de dicha reunión “Desastres Naturales y Análisis de Vulnerabilidad” (Sandi, 1983) incluyó los siguientes:

Amenaza o riesgo (“Hazard” – H): Es la posibilidad de ocurrencia de un incidente potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un área determinada (Sandi, 1983).

Vulnerabilidad (“Vulnerability” - V): Nivel de pérdida de un componente o grupo de componentes bajo riesgo, resultado de la posible ocurrencia de un suceso desastroso, expresada en una escala desde 0 (sin daño) a 1 (pérdida total) (Sandi, 1983).

Riesgo Específico (“Specific Risk” – Rs): Es el nivel de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un incidente particular y como una función de la amenaza y la vulnerabilidad (Sandi, 1983).

Elementos bajo riesgo (“Elements at Risk” - E): Son la población, las edificaciones y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura presentada en un área determinada (Sandi, 1983).

Riesgo Total (“Total Risk” – Rt): Se caracteriza como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un suceso desastroso, es decir, el producto del Riesgo Específico Rs y los elementos bajo riesgo E (Sandi, 1983).

Por lo tanto, se establece lo siguiente:

$$R_t = E \cdot R_s = E \cdot (H \cdot V) \quad \text{Ecuación 2-7}$$

En la ecuación 2-7, conservando este marco conceptual, Cardona (1986) propuso eliminar la variable exposición, E, por considerarla implícita en la



vulnerabilidad, V , sin que esto transformara sensiblemente la definición original, y se proyecta que:

Una vez conocida la amenaza o peligro A_i , entendida como la probabilidad de que se presente un suceso con una intensidad mayor o igual a i durante un espacio de tiempo t , y conocida la vulnerabilidad V_e , explicada como la predisposición exclusiva de un componente de ser susceptible a sufrir una pérdida ante la ocurrencia de un acontecimiento con una intensidad i , el riesgo específico R_{ie} puede entenderse como la probabilidad de que se presente una pérdida sobre el elemento e , como consecuencia de la ocurrencia de un incidente con una intensidad mayor o igual a i (Cardona, 1986), se tiene la ecuación 2-8:

$$R_{ie} = (A_i, V_e) \quad \text{Ecuación 2-8}$$

2.4.1 CLASIFICACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Se clasifica de acuerdo a las características de las componentes involucradas:

-Vulnerabilidad estructural

El término estructural, describe a las partes de una edificación que hacen que se mantenga en equilibrio estable. Esto incluye a la cimentación, vigas, columnas, muros portantes, diafragmas y techos diseñados para transmitir fuerzas horizontales, como la de sismos, a través de las vigas y las columnas hacia la cimentación. Por lo tanto, la vulnerabilidad estructural se refiere a la susceptibilidad que la estructura presenta frente a los posibles daños que se puede ocasionar en aquellas partes que la mantienen en pie ante la ocurrencia de un sismo severo (Fernández Cruz, 2017).

Esto significa que el aspecto estructural debe ser tomado muy en cuenta cuando se tiene una nueva edificación, durante la etapa de diseño y construcción, o durante una etapa de remodelación o mantenimiento, cuando se tiene una edificación que está ya construida (Fernández Cruz, 2017).

-Vulnerabilidad no estructural

El término no estructural se refiere a aquellos componentes de la edificación que se encuentran unidas a las partes estructurales y se agrupan en tres categorías: arquitectónicas (ventanas, techos, puertas, tabiques, cerramientos, cielos rasos, etc.), instalaciones (instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas, etc.), y equipos (equipos mecánicos, muebles, etc.) (Fernández Cruz, 2017).



Un edificio puede quedar en pie luego de un desastre y quedar inhabilitado debido a los daños no estructurales. En cambio, los componentes estructurales se verán afectados frente a sismos poco frecuentes y severos (Fernández Cruz, 2017).

-Vulnerabilidad funcional (administrativa-organizativa)

Este concepto se refiere, por un lado, a los procesos netamente administrativos (contrataciones, adquisiciones, rutinas de mantenimiento, etc.) y a las relaciones de dependencia física y funcional y por otro a la relación y distribución entre los espacios arquitectónicos y los servicios de las edificaciones indispensables (por ejemplo, hospitales). Una apropiada zonificación y dependencia entre las áreas que componen el establecimiento garantizaría, un apropiado funcionamiento en caso de desastres como sismos (Fernández Cruz, 2017).

2.4.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES EN CENTROS URBANOS

Para el caso específico del fenómeno sísmico se define la vulnerabilidad de una estructura o grupo de estructuras, como el grado de daño que resulta por la ocurrencia de un movimiento sísmico del terreno a una intensidad dada.

La vulnerabilidad sísmica es una característica intrínseca de las estructuras, dependiente de la forma como hayan sido diseñadas pero independiente de la peligrosidad sísmica del sitio donde estén ubicadas. Se puede afirmar que cada tipo de estructura tiene su propia función de vulnerabilidad y que el método para la determinación de dicha función varía en la misma forma en la que el comportamiento estructural del elemento en riesgo sea distinto (Caicedo et al, 1994).

Del anterior párrafo se entiende que la vulnerabilidad sísmica depende solamente de cómo están construidas las viviendas, y que cada vivienda tiene un diseño específico, y por ello varía de una vivienda a otra.

2.4.3 IMPACTO EN EDIFICACIONES DE ADOBE POR EL FUTURO AEROPUERTO DE CHINCHERO

El futuro aeropuerto internacional de Chinchero tendrá fuertes repercusiones en las edificaciones cercanas al mismo, puesto que su ubicación respecto al centro urbano de Chinchero oscila entre 300 y 500 metros lineales.



El aeropuerto provocará ruidos y vibraciones que podrían afectar a las edificaciones de adobe, en especial a las más antiguas

Las pocas edificaciones de adobe existentes, serán moderadamente afectadas por las vibraciones producidas durante la operación del futuro aeropuerto antes mencionado como se evidencia en estudios realizados en contextos similares como la investigación titulada “Investigación de las vibraciones por tráfico en las construcciones patrimoniales de adobe”; de autoría de Morán y Álvarez (2012), cuyo objetivo fue: comprobar, de modo científico y objetivamente, si existen o no afectaciones y daños en los muros de las edificaciones patrimoniales de mampostería de tierra, ocasionados por el tráfico vehicular” y mediante la colocación de acelerógrafos en la edificación modelo, se instrumentó el lado posterior, la fachada, e intermedio normal al de fachada con sensores en dos niveles: uno, en el piso de planta baja, y otros, a nivel del entrepiso. En esta investigación se asintió calificar el comportamiento estructural de réplica de los muros patrimoniales discretizados de mampostería de tierra o adobe, como “muros no vulnerables a las vibraciones ambientales producidas por el tráfico vehicular” (Morán Proaño & Álvarez Rodríguez, 2012).

Además, el boom de la construcción; que fue provocado por la expropiación de terrenos para la construcción del futuro aeropuerto, ha tenido como consecuencia la disminución de edificaciones de adobe, y el incremento de edificaciones de concreto armado, que rompen con la armonía del paisaje cultural andino.

Como indica López (2017) los comuneros que poseían más terrenos al interior del polígono, con la expropiación de dichos terrenos fueron los más beneficiados, y comenzaron a invertir parte de su dinero en activos fijos: autos, maquinaria de construcción, viviendas y terrenos. A diferencia de otras edificaciones, las nuevas viviendas construidas en Chinchero durante el año 2013, fueron edificadas con concreto y ladrillo.

Es así que las edificaciones de adobe sólo persistirán en la zona arqueológica de Chinchero donde está prohibido construir edificaciones de concreto armado, mas no en sus alrededores; donde no está prohibido construir este tipo de edificaciones, que es donde se están incrementando las edificaciones de concreto armado, siendo derribadas las edificaciones de adobe.



Podemos añadir que, la arquitectura de la zona que data desde tiempos Pre- Incas y se ha distinguido por construcciones con muros de barro y piedra, y techos de paja; luego en los tiempos coloniales la tipología ha conservado la armonía con el entorno, con edificaciones de un máximo de tres pisos con muros de adobe y techos de teja. Sin embargo, a medida que pasan los años se están construyendo edificaciones que rompen con esta tipología y armonía arquitectónica y por lo tanto mancillan el valor cultural que tiene el lugar y alteran el paisaje. Ahora que dieron inicio a los trabajos de movimiento de tierras en la construcción del aeropuerto ya se ven los primeros cambios que afectan a la arquitectura de la zona como es la situación de los pobladores que eran propietarios de terrenos dentro de lo que comprende el área destinada para la construcción del aeropuerto, los cuales al ser reubicados han construido grandes edificaciones que rompen completamente con la tipología de la zona. Igualmente debido al anuncio de la construcción del aeropuerto se han dado lugar a invasiones en lugares cercanos al probable aeropuerto, como es el caso de los contornos del poblado de Urubamba. Pronto llegarán grandes cadenas hoteleras del extranjero, almacenes de productos, oficinas y estacionamientos de renta de vehículos, estos también de empresas extranjeras. Sin duda un gran incremento económico segmentado, y a su vez la pérdida del patrimonio. No se debe de pensar que, cemento equivale a desarrollo y prosperidad, ya que la calidad de vida no se mide por cuán grande es una casa o edificio sino por la calidad de vida con la que cuentan los ciudadanos y eso involucra seguridad, salud, y sobre todo calidad de Educación. (Pimentel, 2017)

2.5 RIESGO SÍSMICO

El riesgo sísmico 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), (Barbat A.; 1998).

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).



Es por ello que; de acuerdo con Kuroiwa (2010), el riesgo sísmico es definido como una función de la vulnerabilidad sísmica y del peligro sísmico, que de forma general se puede expresar como se expresa la ecuación 2-9:

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

.....Ecuación 2-9 Riesgo sísmico en función de la vulnerabilidad y el peligro sísmico.

2.6 MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

En la actualidad existen muchos métodos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, para el caso específico de evaluación en zonas urbanas; el más utilizado es el método del índice de vulnerabilidad de Benedetti y Petrini, que fue adaptado para evaluar la vulnerabilidad sísmica de zonas urbanas en Colombia, además; se aplicó a las zonas urbanas del norte del Perú, como la ciudad de Pimentel, y en la zona urbana del departamento de Ayacucho. De la misma forma este método fue adaptado para el análisis de vulnerabilidad sísmica de viviendas coloniales y republicanas en la ciudad del Cusco.

Este método ha sido desarrollado en Italia a raíz de los frecuentes sismos ocurridos en la zona. Así, el análisis del comportamiento de edificios, durante terremotos ocurridos desde el año 1976 en diferentes regiones de Italia, ha permitido a los investigadores de este país identificar algunos de los parámetros más relevantes que controlan el daño en los edificios. Estos parámetros se han logrado compilar en un formulario de levantamiento, el cual se viene utilizando desde el año 1982, con el propósito de determinar de una forma rápida y sencilla la vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes. La combinación de estos parámetros, por medio de una escala predefinida, en un único valor numérico llamado Índice de Vulnerabilidad es lo que se conoce hoy en día como el método del Índice de Vulnerabilidad.

2.6.1 DESCRIPCIÓN DEL MÉTODO

El estudio del comportamiento sísmico de edificaciones, durante terremotos ocurridos desde el año 1976 en distintas regiones de Italia, ha concedido a los investigadores de dicho país identificar algunos de los parámetros más trascendentales que controlan el daño en los edificios. Estos parámetros se han recopilado en un formulario de levantamiento, el cual se viene utilizando desde el año 1982, con la intención de determinar de una forma rápida y sencilla el



nivel de vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes. La combinación de estos parámetros, por medio de una escala predefinida, en un único valor numérico llamado Índice de Vulnerabilidad, esto lo que se conoce hoy en día como el método del Índice de Vulnerabilidad (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

Como afirman Rodríguez y Sardón (2005), el formulario de levantamiento consigna de dos niveles, los cuales se han diseñado con el designio de tener dos grados de aproximación.

Y, como expresan Rodríguez y Sardón (2005), el primer nivel contiene los datos generales del edificio, tales como: ubicación, utilización, dimensiones, tipología estructural, etc. También incluye un apartado para la recopilación de la extensión y el nivel de daño, que se utiliza durante las investigaciones post-terremoto. Los datos provistos por el primer nivel se han utilizado para sacar matrices de probabilidad de daño, sin embargo, no forman parte fundamental del método ya que no intervienen para nada en el cálculo del índice de vulnerabilidad.

Por el contrario, como indican Rodríguez y Sardón (2005), en el segundo nivel se recopilan los datos y parámetros fundamentales para el cálculo del índice de vulnerabilidad, que consiste a su vez de dos apartados distintos, uno de ellos está destinado a la evaluación de edificios de mampostería y el otro a edificios de hormigón armado. La escala que se utiliza para calificar los diferentes parámetros que intervienen en el comportamiento de las edificaciones de mampostería se conoce como la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

Los once parámetros que se usan en el formulario de levantamiento del método de índice de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini se evidencian en la tabla 2-1.

2.6.2 CÁLCULO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Como afirman Rodríguez y Sardón (2005), de acuerdo con la escala de vulnerabilidad de Benedetti-Petrini, el índice de vulnerabilidad se obtiene mediante una suma ponderada de los valores numéricos que indican la "calidad sísmica" de cada uno de los parámetros estructurales y no estructurales que, juegan un rol importante en el comportamiento sísmico de las estructuras de mampostería.

Como expresan Rodríguez y Sardón (2005), a cada parámetro se le atribuye, durante las indagaciones de campo, una de las cuatro clases A, B, C, D. A cada una de estas clases le corresponde un valor numérico K_i que varía entre 0 y 45, como se observa en la tabla 2-1.

Tabla 2-1. Escala numérica del índice de vulnerabilidad de Benedetti.

Nro	PARÁMETRO	Clase K_i				Peso W_i
		A	B	C	D	
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.0
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.5
4	Posición edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.0
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.5
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.0
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipo de cubierta	0	15	25	45	1.0
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.0

Fuente: Rodríguez y Sardón (2005)

Una vez conseguidas todas las calificaciones (A, B, C o D) de cada uno de los once parámetros analizados, de acuerdo con la tabla N° 2-1 se la asigna un valor numérico según la escala propuesta en la misma.

Por otra parte; como afirman Rodríguez y Sardón (2005), cada parámetro es modificado por un coeficiente de peso W_i , que varía entre 0.25 y 1.5. Este coeficiente refleja la relevancia de cada uno de los parámetros dentro del sistema resistente de la edificación.

Y se calcula el índice de vulnerabilidad con la ecuación 2-10.

$$Iv = \sum_{i=1}^{11} (K_i \times W_i) \text{ -----Ecuación 2-10}$$

Donde:

Iv: Índice de Vulnerabilidad

K_i : Calificación del parámetro



Wi: Peso del parámetro.

Siendo 382.5 el valor máximo de I_v según la escala de Benedetti-Petrini.

2.6.3 NORMALIZACIÓN DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

Mesta Cornetero (2014) indica que, una vez calculado el índice de vulnerabilidad (I_v) para cada edificación; el cual varía de 0 a 382.5 para mampostería de tierra o adobe de acuerdo a la metodología de Benedetti - Petrini, se da lugar el proceso de normalizar el índice de vulnerabilidad (I_{vn}), en un rango de 0 a 100; donde: 0 es a 0 % y 382.5 es a 100%.

Para interpretar mejor los resultados obtenidos se definen los rangos de vulnerabilidad que se muestran a continuación:

- a) VULNERABILIDAD BAJA: $0 \leq I_{vn} < 20\%$
- b) VULNERABILIDAD MEDIA: $20\% \leq I_{vn} < 40\%$
- c) VULNERABILIDAD ALTA: $40\% \leq I_{vn} < 100\%$

2.6.4 FORMULARIO PARA EL LEVANTAMIENTO DE LA VULNERABILIDAD

Para establecer las clases correspondientes a los parámetros señalados, El formulario encuesta que se observa en la Figura 2.19, que es una versión modificada, del que elaboraron Rodríguez y Sardón (2005), el cual está basado en el utilizado por el Gruppo Nazionali Di Terremoti (GNDT) en Italia.

Este formulario fue utilizada en las salidas respectivas a campo, en ella se observa una breve descripción de cada clase, que es entendible para poder realizar el llenado del formulario.

En este formulario requieren una especial atención algunos parámetros que son de naturaleza cuantitativa, como son los parámetros 3, 6, 7 y 8.

UNIVERSIDAD NACIONAL SAN ANTONIO ABADEL CUSCO-FACULTAD DE ARQUITECTURA E INGENIERIA CIVIL				
FICHA DE LEVANTAMIENTO INDICE DE VULNERABILIDAD PARA EDIFICACIONES DE ADOBE DEL CENTRO URBANO DE CHINCHERO				
Nº edificación:		Año:		
Dirección:		Personas:		
Fecha:				
Nombre del Encuestador:				
PARAMETROS	Clase	ELEMENTOS DE EVALUACIÓN	AYUDA GRÁFICA-OBSERVACIONES	
1	Organización del sistema resistente	<p>A) Edificio que presenta arriostre horizontal (viga collar), en todas las plantas, los muros ortogonales bien trabados y cuentan con contrafuertes en las esquinas.</p> <p>B) Edificio que por no presentar arriostre horizontal, esta constituido por muros ortogonales bien trabados y con contrafuertes en las esquinas</p> <p>C) Edificio que esta constituido unicamente por muros ortogonales bien trabados</p> <p>D) Edificio con paredes ortogonales no ligadas</p>		
2	Calidad del S. R.	(Ver instrucciones en el reverso de la hoja)		
3	Resistencia Convencional	<p>Número de pisos N:</p> <p>Area total cubierta A_p (m²)</p> <p>Area resistente sentido x Ax: (m²) sentido y Ay (m²)</p> <p>Resist. cortante adobe tk: (Ton/m²)</p> <p>Altura media de los pisos h: (m)</p> <p>Peso especifico de la mamposteria Pm: (Ton/m³)</p> <p>Peso por unidad de área diafr. Pd: (Ton/m²)</p> <p>Material del entrepiso:</p>	<p>A) Edificación con $\gamma \geq 1$</p> <p>B) Edificación con $0.70 \leq \gamma < 1$</p> <p>C) Edificación con $0.40 \leq \gamma < 0.70$</p> <p>D) Edificación con $\gamma \leq 0.40$</p>	
4	Posición del edificio y la cimentación	<p>Pendiente aprox del terreno: %</p> <p>Empuje equilibrado a un terraplen SI NO</p> <p>Diferencia máxima entre cotas de fundación (metros)</p> <p>Presenta viga solera SI NO</p>		
5	Diafragmas horizontales	<p>El diafragma esta deformado SI NO</p> <p>La conexión entre diafragma y muros es buena SI NO</p>		
6	Configuración en planta	<p>Valor relacion B1 = a / L.</p> <p>Valor relacion B2 = b / L. =</p> <p>A). $\beta_{-1} \geq 0.8$ o $\beta_{-2} \leq 0.1$</p> <p>B). $0.8 > \beta_{-1} \geq 0.6$ o $0.1 < \beta_{-2} \leq 0.2$</p> <p>C). $0.6 > \beta_{-1} \geq 0.4$ o $0.2 < \beta_{-2} \leq 0.3$</p> <p>D). $0.4 > \beta_{-1}$ o $0.3 < \beta_{-2}$</p>		
7	Configuración en elevación	<p>Superficie porche %:</p> <p>T/H</p> <p>$\pm \Delta M/M$ %:</p> <p>A). Edificio con $-\Delta M/M < 10\%$.</p> <p>B). Superficie porche $< 10\%$ o $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$.</p> <p>C). Superficie porche = $10\% \pm 20\%$ o $-\Delta M/M > 20\%$ o T/H $< 2/3$.</p> <p>D). Superficie porche $> 20\%$ o $\Delta M/M > 0$ o T/H $> 2/3$.</p>		
8	Distancia máx. entre muros	<p>Valor relacion L / S =</p> <p>A) Edificio con L/S < 15.</p> <p>B) Edificio con $15 \leq L/S < 18$.</p> <p>C) Edificio con $18 \leq L/S < 25$.</p> <p>D) Edificio con L/S ≥ 25.</p>		
9	Tipo de Cubierta	<p>A) Edificio con cubierta estable y provista de viga cumbrera. Edificio con cubierta plana.</p> <p>B) Edificio con cubierta estable y bien conectada a los muros, pero sin viga cumbrera. Edificio con cubierta parcialmente estable y provista de viga cumbrera.</p> <p>C). Edificio con cubierta inestable, provista de viga cumbrera.</p> <p>D) Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbrera.</p>	<p>CLASE A</p> <p>CLASE B</p> <p>Cubierta</p> <p>CLASE C</p> <p>CLASE D</p>	
10	Elem. No estructurales	(Ver instrucciones en el reverso de la hoja)		
11	Estado de conservación	(Ver instrucciones en el reverso de la hoja)		
Buen estado A		Estado medio B	Mal estado C	Ruinas D

Figura 2.19. Ficha de levantamiento de vulnerabilidad.. Fuente: Elaboración propia, 2019.

El formulario original, contiene los cálculos que debe desarrollar el encuestador durante las indagaciones de campo, para clasificar cada parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D, este procedimiento; además de dilatar el tiempo del levantamiento, permite la introducción de errores en los cálculos matemáticos. Por estas razones se trabajó con una hoja de cálculo para el cómputo del Índice de Vulnerabilidad (Iv) con la cual se evitan los inconvenientes mencionados y se simplifica el formulario de levantamiento, ya que de esta manera, durante la observación estructurada en campo sólo se

tomaron los datos estrictamente necesarios para definir el Índice de Vulnerabilidad.

2.7 ADAPTACIÓN DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

El método del índice de vulnerabilidad plantea 11 parámetros para evaluar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de mampostería no reforzada; es decir, adobe.

Para la adaptación del método del índice de vulnerabilidad, Rodríguez y Sardón (2005) compararon este método con lo propuesto en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.080 Adobe para estudiar la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de adobe y comprobaron que el método del índice de vulnerabilidad satisface las exigencias planteadas por el RNE.

En la Tabla 2-2 se presentan los criterios análogos encontrados entre lo exigido por el reglamento y lo presentado por el método del índice de vulnerabilidad.

Tabla 2-2. Comparación entre lo propuesto por el método de Índice de Vulnerabilidad y los parámetros propuestos por el RNE E.080.

PARÁMETROS DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD Iv:	REGLAMENTO NACIONAL DE EDIFICACIONES E.080
Comportamiento Sísmico	
1. Organización del Sistema Resistente	Amarres de los muros en las esquinas
3. Resistencia Convencional 8. Distancia Máxima entre Muros	Cuidar esbeltez de muros
3. Resistencia Convencional	Vanos pequeños y centrados
6. Configuración en Planta	Planta que tiende a ser simétrica
8. Distancia Máxima entre Muros	Suficiente longitud de muros en cada dirección
11. Estado de Conservación	Protección de las construcciones de adobe
Sistema Estructural	
4. Posición del Edificio y la Cimentación	Cimentación
1. Organización del Sistema Resistente 2. Calidad del Sistema Resistente 3. Resistencia Convencional	Muros
1. Organización del Sistema Resistente 5. Diafragmas Horizontales	Elementos de arriostre horizontal
1. Organización del Sistema Resistente 8. Distancia Máxima entre Muros	Elementos de arriostre vertical
1. Organización del Sistema Resistente	Refuerzos
5. Diafragmas Horizontales 9. Tipo de cubierta	Entrepiso y Techo

Fuente: Rodríguez y Sardón, 2005.



Por estas razones, para su utilización en estructuras de adobe se tomó en cuenta la adaptación realizada en conformidad con las normas peruanas, por parte de Rodríguez y Sardón (2005) en la tesis “Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de Tipo Colonial del Centro Histórico del Cusco” para edificaciones de adobe en la ciudad del Cusco.

Según Rodríguez Zavaleta & Sardón Morveli (2005), la Norma E.080 encuadra los parámetros del método del índice de vulnerabilidad. Por ello, no se aumentó ningún parámetro al método original del índice de vulnerabilidad, solamente se modificó los parámetros propuestos de acuerdo a las características estructurales de las construcciones de adobe que existen en la zona de estudio.

En la tabla 2-3, se presentan todos los parámetros que se tomaron en cuenta para este estudio, de acuerdo con Rodríguez y Sardón (2005).

Tabla 2-3. Parámetros para la evaluación de Vulnerabilidad Sísmica

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

Fuente: Rodríguez y Sardón, 2005.

2.7.1 PARÁMETROS EN EL FORMULARIO DE LEVANTAMIENTO

Cada uno de los once parámetros, como se menciona en el ítem anterior; ya fueron adecuados por Rodríguez y Sardón (2005) para edificaciones de adobe en el centro histórico de Cusco. A continuación, se describen los once parámetros.



Así, la asignación de las clases A, B, C y D en cada parámetro, se da de acuerdo con una descripción resumida de cada parámetro tomando en cuenta la normativa peruana (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005):

1. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE

En este parámetro, para las edificaciones de adobe se evalúa el grado de organización del sistema resistente vertical de la estructura sin tomar en cuenta el material empleado en su construcción. Se enfatiza en considerar la posible semejanza del comportamiento de la estructura evaluada con el de una estructura ortogonal cerrada tipo cajón. Para determinar las 4 clases se recurrió al Reglamento Nacional de Construcciones norma técnica E-0.80 (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

Por lo tanto; el criterio de clasificación se da de la siguiente manera:

- A) Edificio que muestra arriostre horizontal (viga collar o solera), en todas las plantas, los muros ortogonales bien trabados y tienen contrafuertes en las esquinas,
- B) Edificio que por no mostrar arriostre horizontal, está constituido por muros ortogonales bien trabados y con contrafuertes en las esquinas,
- C) Edificio que está constituido únicamente por muros ortogonales bien trabados,
- D) Edificio con paredes ortogonales no ligadas (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

2. CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE

Según Rodríguez y Sardón (2005) para este parámetro se evalúa las particularidades de los materiales que componen las construcciones de adobe. Por ello; el criterio de clasificación se da de la siguiente manera:

- A) El sistema resistente de la edificación presenta las siguientes tres características:
 - 1. Adobe de buena calidad con piezas homogéneas y de dimensiones constantes por toda la extensión del muro.



2. Presencia de aparejo entre las unidades de adobe.

3. Mortero buena calidad con espesor de la mayoría de las pegas entre 1.5 y 2.0 cm,

B) El sistema resistente de la edificación no presenta una de las características de la clase A,

C) El sistema resistente de la edificación no presenta dos de las características de la clase A,

D) El sistema resistente de la edificación no presenta ninguna de las características de la clase A (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

3. RESISTENCIA CONVENCIONAL

La metodología italiana utiliza para el cálculo de este parámetro un coeficiente sísmico C, definido como la relación entre la fuerza máxima resistente horizontal y el peso del edificio. Pero, lo más recomendable es utilizar la normatividad peruana, haciendo una adaptación, para ello partiendo de la fuerza cortante en la base definida en la Norma Técnica Edificación E-080 Adobe (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

Así, se realiza el siguiente análisis:

$$V = S \times U \times C \times P \quad \dots \dots \text{Ecuación 2-11}$$

Donde:

S = Factor del suelo

U = Factor de Uso

C = Coeficiente Sísmico

P = Peso de la edificación

Definiendo el Esfuerzo Cortante con la ecuación 2-12

$$V = \tau_k \times A_m \quad \text{Ecuación 2-12}$$

Y el peso total de la edificación con la ecuación 2-13

$$P = w \times A_p \times N \quad \text{Ecuación 2-13}$$

Donde:

Peso promedio de la planta =w

Área menor en una dirección de los muros = A_m



Área de la planta típica = A_p

Número de pisos = N

El esfuerzo cortante promedio en muros se muestra en la ecuación 2-14:

Esfuerzo cortante promedio en muros = $\tau_k = V / A_m$ Ecuación 2-14

Luego se reemplazan las variables en la ecuación 2-11; con las ecuaciones 2-12, 2-13. Y se llega a obtener las ecuaciones 2-15 y 2-16.

$$\tau_k \times A_m = S \times U \times C \times w \times A_p \times N \quad \dots\dots \text{Ecuación 2-15}$$

$$\frac{\tau_k \times A_m}{w \times A_p \times N} \geq S \times U \times C \quad \dots\dots \text{Ecuación 2-16}$$

El lado izquierdo de la ecuación 2-16 representa las particularidades estructurales de la edificación y el lado derecho los parámetros requeridos por el Reglamento Nacional de Edificaciones E-80 Adobe, y ello depende exclusivamente de las condiciones en las que se encuentre la estructura. Es consecuente concluir por lo tanto que las características estructurales deben ser iguales o exceder los requerimientos exigidos por la Norma E 080 (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

Finalmente, como indican Rodríguez y Sardón (2005), la clasificación de este parámetro dentro de una de las cuatro clases A, B, C, D se hace por medio del factor $\gamma = \alpha/\beta$, en donde α y β quedan definidos en las ecuaciones 2-17 y 2-18:

$$\frac{\tau_k \times A_m}{w \times A_p \times N} = \alpha \quad \dots\dots \text{Ecuación 2-17}$$

$$S \times U \times C = \beta \quad \dots\dots \text{Ecuación 2-18}$$

$$\frac{\alpha}{\beta} = \gamma \quad \dots\dots \text{Ecuación 2-19}$$

Por lo tanto; de acuerdo con Rodríguez y Sardón (2005) el criterio de clasificación se da de la siguiente manera:

- A) Edificación con $\gamma \geq 1$,
- B) Edificación con $0.70 \leq \gamma < 1$,
- C) Edificación con $0.40 \leq \gamma < 0.70$,
- D) Edificación con $\gamma \leq 0.40$, (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).



4. POSICIÓN DEL EDIFICIO Y DE LA CIMENTACIÓN

De acuerdo con Rodríguez y Sardón (2005), las cuatro clases se definen de la siguiente manera:

A) Edificio cimentado sobre terreno firme con pendiente inferior o igual al 10%. La fundación está ubicada a una misma cota. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén,

B) Edificio cimentado sobre roca con pendiente percibida entre un 10% y un 30% o sobre terreno suelto con pendiente comprendida entre un 10% y un 20%. La discrepancia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a 1 metro. Ausencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén,

C) Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente entendida entre un 20% y un 30% o sobre terreno rocoso con pendiente entendida entre un 30% y un 50%. La discrepancia máxima entre las cotas de la fundación es inferior a un metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén,

D) Edificio cimentado sobre terreno suelto con pendiente mayor al 30% o sobre terreno rocoso con pendiente mayor al 50%. La discrepancia máxima entre las cotas de la fundación es superior a 1 metro. Presencia de empuje no equilibrado debido a un terraplén. (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

5. DIAFRAGMAS HORIZONTALES

La presencia de los diafragmas tiene una notable importancia para garantizar el correcto funcionamiento de los componentes resistentes verticales (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

De acuerdo con Rodríguez y Sardón (2005), las cuatro clases se definen de la siguiente manera:

A) Edificio que presenta viga solera, a la que se encuentra anclado al entrepiso (diafragma),

B) Edificio sin viga solera, donde el entrepiso se encuentra bien anclado a los muros,

C) Edificio cuyo entrepiso ya sea por falta de rigidez o falta de anclaje a los muros no se comporta como diafragma,

D) Edificio cuyo entrepiso ya sea por falta de rigidez o falta de anclaje a los muros no se comporta como diafragma y la deformabilidad del entrepiso es notoria (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

6. CONFIGURACIÓN EN PLANTA

Como afirman Rodríguez y Sardón (2005) la disposición y la forma en planta de las edificaciones son factores determinantes en su comportamiento ante los movimientos sísmicos. La asignación de las posibles calificaciones se puede explicar mediante la figura 2.20.

Definiendo los parámetros con los valores β_1 y β_2 de las ecuaciones 2-22 y 2-23.

$$\beta_1 = a / L \quad \text{Ecuación 2-20}$$

$$\beta_2 = b / L, \quad \text{Ecuación 2-21}$$

Donde a representa la extensión menor del edificio, L la extensión mayor y b la extensión de los elementos que sobresalgan de las extensiones principales a y L de la planta (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

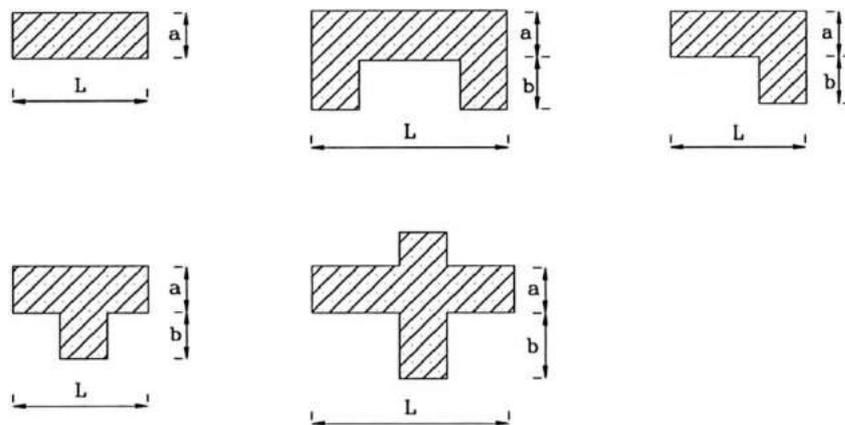


Figura 2.20. Configuraciones en planta para evaluar el parámetro seis.. Fuente: (F. Yépez, A. H. Barbat, J.A.Canas, 1995)

La asignación de las calificaciones se realiza como se detalla a continuación:

- A). Edificación con $\beta_1 \geq 0.8$ ó $\beta_2 \leq 0.1$,
- B). Edificación con $0.8 > \beta_1 \geq 0.6$ ó $0.1 < \beta_2 \leq 0.2$,
- C). Edificación con $0.6 > \beta_1 \geq 0.4$ ó $0.2 < \beta_2 \leq 0.3$,
- D). Edificación con $0.4 > \beta_1$ ó $0.3 < \beta_2$ (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

7. CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN

Como expresan Rodríguez y Sardón (2005), en el caso de edificaciones de mampostería, la principal causa de irregularidad está constituida por la presencia de balcones de diferentes tamaños y diferentes alturas de pisos. La presencia de balcones y porches se indica como la correspondencia porcentual entre el área en planta del mismo y la superficie total del piso. Para su mejor valoración se introduce también un tercer factor T/H , que toma en cuenta la diferenciación de las dimensiones en altura, tal como se indica en la figura 2.21.

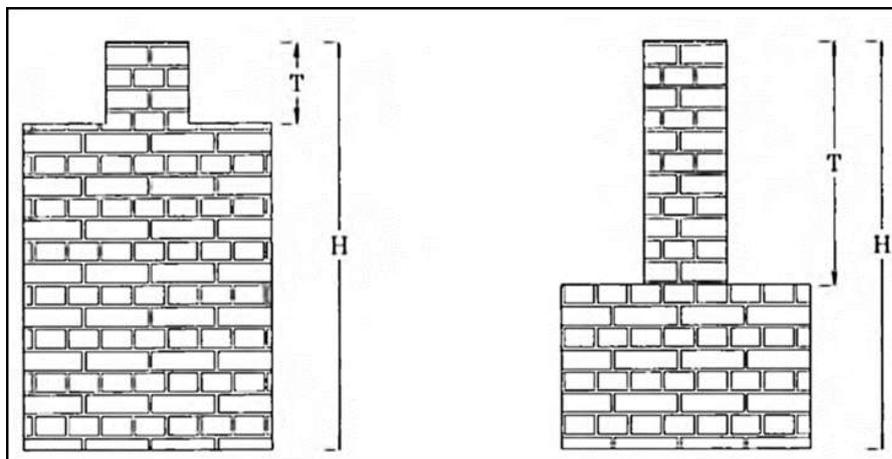


Figura 2.21. Parámetro para evaluar la configuración en elevación. Fuente: (F. Yépez, A. H. Barbat, J.A.Canas, 1995)

De acuerdo con Rodríguez y Sardón (2005), las cuatro clases se definen de la siguiente manera:

- A). Edificio con $-\Delta M/M < 10\%$,
- B). Superficie porche $< 10\%$ ó $10\% \leq -\Delta M/M < 20\%$,
- C). Superficie porche $= 10\% \cong 20\%$ ó $-\Delta M/M > 20\%$ ó $T/H < 2/3$,
- D). Superficie porche $> 20\%$ ó $\Delta M/M > 0$ ó $T/H > 2/3$ (Rodríguez Zavaleta & Sardón Morveli, 2005).

8. DISTANCIA MÁXIMA ENTRE LOS MUROS

Según Rodríguez y Sardón (2005) con este parámetro se toma en cuenta la existencia de muros principales interceptados por muros transversales ubicados a una distancia enorme entre ellos. Para el análisis, se considera el factor L/S ,



donde L es el espaciamiento de los muros transversales y S el grosor del muro principal, evaluando siempre el caso más desfavorable.

Por lo tanto, el criterio de clasificación se da de la siguiente manera:

- A) Edificio con $L/S < 15$,
- B) Edificio con $15 \leq L/S < 18$,
- C) Edificio con $18 \leq L/S < 25$,
- D) Edificio con $L/S \geq 25$ (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

9. TIPO DE CUBIERTA

De acuerdo con Rodríguez y Sardón (2005), las cuatro clases se definen de la siguiente manera:

- A). Edificio con cubierta estable y suministrada de viga cumbreira. Edificio con cubierta plana,
- B). Edificio con cubierta estable y bien acoplada a los muros, pero sin viga cumbreira,
- C). Edificio con cubierta inestable, suministrada de viga cumbreira,
- D). Edificio con cubierta inestable, sin viga cumbreira (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

10. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

En este parámetro se intenta tomar en cuenta el efecto de los elementos que no forman parte del diseño estructural resistente, como son cornisas, balcones, parapetos, tanques de agua o cualquier componente que sobresalga de la estructura y cuya caída pueda producir daños y víctimas humanas.

De acuerdo con Rodríguez y Sardón (2005), las cuatro clases se definen de la siguiente manera:

- A) Edificación sin cornisas y sin parapetos. Edificación con cornisas bien conectadas a la pared, con tanques de agua de pequeña dimensión y de peso moderado. Edificación cuyo balcón forma parte accesoria de la estructura de los



diafragmas. Edificación con elementos de pequeña dimensión bien vinculados a la pared (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

B) Edificación sin cornisas y sin parapetos. Edificación con cornisas bien conectadas a la pared, con tanques de agua de pequeña dimensión y de peso moderado. Edificación cuyo balcón forma parte accesoria de la estructura de los diafragmas. Edificación con elementos de pequeña dimensión bien vinculados a la pared (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

C) Edificación con componentes de pequeña dimensión, mal vinculados a la pared (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

D) Edificación que ostenta tanques de agua o cualquier otro tipo de elemento en el techo, mal vinculado a la estructura. Parapetos u otros elementos de peso significativo, mal contruidos, que pueden caer en caso de terremoto. Edificación con balcones edificados posteriormente a las estructuras principales y conectadas a ésta de modo deficiente (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).

11. ESTADO DE CONSERVACIÓN

De acuerdo con Rodríguez y Sardón (2005), las cuatro clases se definen de la siguiente manera:

A) Buen estado, muros en buena condición, sin lesiones visibles,

B) Estado medio, muros que presentan lesiones capilares no extendidas, con particularidad de los casos en los cuales dichas lesiones han sido producidas por terremotos,

C) Mal estado, muros con lesiones de tamaño medio entre 2 a 3 milímetros de ancho o con lesiones capilares producidas por sismos. Edificación que no presenta lesiones pero que se caracteriza por un estado mediocre de conservación de la mampostería, falta de protección de elementos estructurales (zócalos) sin presencia de humedad,

D) Ruinas, muros que muestran, un fuerte deterioro de sus materiales constituyentes o, lesiones muy graves de más de 3 milímetros de ancho, falta de protección de componentes estructurales (presencia de erosión), con presencia de humedad (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005).



2.8 SISTEMAS ESTRUCTURALES DE EDIFICACIONES EN CHINCHERO

En la zona urbana del distrito de Chinchero, se logró identificar los sistemas estructurales como son las edificaciones de adobe, y edificaciones de concreto armado.

2.8.1 SISTEMA ESTRUCTURAL DE ADOBE

Es el tipo de construcción más vulnerable en caso de sismo.

Según Mesta Cornetero (2014) las construcciones que emplean adobe presentan un comportamiento sísmico inadecuado, debido a su baja resistencia sísmica en contraste con el alto peso de los materiales, así como una muy baja capacidad de ductilidad.

En la opinión de Mesta Cornetero (2014), en las zonas marginales de las ciudades importantes del interior del país no es racional proscribir las construcciones de adobe, puesto que el adobe es un poco más resistente a los sismos que el tapial, consume un poco más de mano de obra en su construcción y es más fácil y económico reforzarlo. Se logra incrementar sustancialmente la resistencia de este tipo de construcciones, si se les incluye viga collar (ver ítem 7.1 Recomendaciones de reforzamiento), y se les edifica sobre suelos secos y compactos, donde las ondas sísmicas sufren poca amplificación.

Dado que, el sistema estructural que se estudió en la presente investigación es el adobe, se detallan este tipo de estructura en la figura 2.22.



Figura 2.22. Características de las edificaciones de adobe. Fuente Internet, 2019.

Como se puede ver en la anterior figura, por lo general, una vivienda de adobe se caracteriza por consistir en muros entabados, y entrepisos de madera, así como también, techo par y viga cumbrera con rollizos de eucalipto.

Los techos definidos como ligeros y flexibles están conformados por vigas de madera o troncos rústicos, con cobertura de caña y barro, planchas onduladas de asbesto-cemento o de zinc. Debido a que pesan poco y son flexibles, la parte superior de los muros vibran como un borde libre, análogamente a una “caja de zapatos sin tapa”, en otras palabras como si fueran solamente cercos (Mesta Cornetero, 2014).

2.8.1.1 CARACTERÍSTICAS DE LOS ELEMENTOS EN SISTEMAS ESTRUCTURALES DE ADOBE EN CHINCHERO

A) ADOBE

La definición más puntual del adobe según lo establecido por la Norma Técnica de Edificación E.080 (2017), en su artículo 3. *Definiciones* indica que, es una unidad de tierra cruda, que puede estar mezclada con paja u arena gruesa para mejorar su resistencia y durabilidad.

Los adobes de las viviendas en estudio, fueron elaborados con tierra y paja y sus dimensiones están en el orden de 0.50 de largo x 0.25 de ancho y 0.16 m de alto. Los adobes se confeccionan desde muchos años atrás, en Chinchero el procedimiento realizado para su elaboración se hace colocando el barro

humedecido en moldes de madera llamados adoberas, con las dimensiones deseadas. Se hace la mezcla de barro y paja en el instante de la fabricación. Se retiran las adoberas y los adobes se dejan secar al aire libre desde 20 días hasta por más de un mes, volteándolos de lado para que terminen de secarse. Una prueba muy común y convencional de probar si el suelo sirve para la preparación de adobe es coger un poco de mezcla de barro y paja, y luego formar con la mano unas 5 o 6 bolitas de 2 cm de diámetro, aproximadamente, y una vez que las bolitas estén secas se debe intentar romperlas con 2 dedos de una mano, si la bolita se fractura en trozos grandes entonces el suelo es bueno y sirve para la preparación de adobes, pero, si no se fractura es porque contiene mucha arcilla y si se pulveriza es porque el suelo contiene demasiada arena (Delgado, 2006).

La representación gráfica de este procedimiento de prueba se observa en la figura 2.23.



Figura 2.23. Prueba común para uso de material en la elaboración de adobe. Fuente: Delgado, 2006.

B) MORTERO

El mortero de asiento se hace con el mismo tipo de tierra con la que se construyó los adobes, esto se comprobó con el ensayo de granulometría que se realizó al adobe y mortero de tres viviendas. En algunos casos al mortero también se le añade paja para optimizar su resistencia a la tensión. En general el espesor de las juntas de mortero es del orden de 2 cm. (Velarde Abugattas, 2014).

En la zona urbana de Chinchero, la mayor cantidad de casas son construidas con adobe, el mortero para unir las unidades de adobe están hechas del mismo material y están en un rango de dimensión de 1.5 cm a 2.5 cm.

En la figura 2.24 se observa el mortero de barro en el muro de una edificación de adobe.

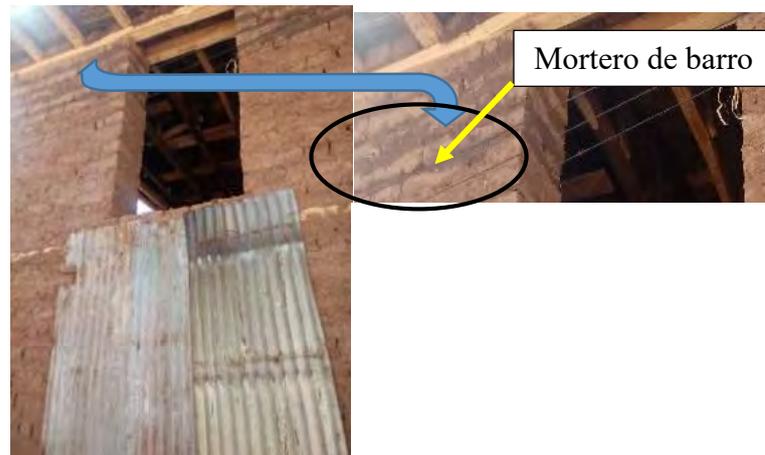


Figura 2.24. Distribución de las unidades de adobe y mortero en las casas de adobe en Chinchero.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

C) CIMIENTOS

Son la base de toda edificación, constituye la parte más importante ya que será la que soporte el peso de toda la estructura y la trasladará al terreno de fundación, según Velarde (2014), la cimentación de una edificación de adobe, se construye de mampostería de piedra con mortero de barro y paja, constituyendo la base de los muros principales de la edificación. La profundidad de la cimentación en general tienen una profundidad de entre 0.50 a 0.60 metros.

La Norma E. 080 (2017) menciona en el artículo 7; ítem 7.1; inciso a) y b), que la cimentación deberá transferir la carga de los muros al terreno de acuerdo al esfuerzo permitido y que tendrá un ancho mínimo de 60 cm y una profundidad mínima de 60 cm medida a partir del terreno natural.

En la figura 2.25 se observa el cimiento de una vivienda de adobe, que no presenta sobre cimiento, es por ello que el cimiento sobresale encima del terreno natural.



Figura 2.25 Cimiento de una vivienda de adobe, donde se observa que sobresale del terreno natural.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

D) VANOS

Los vanos de las puertas, pasadizos y ventanas muestran dinteles compuestos por vigas de madera, y varían en volumen de acuerdo a las dimensiones que estos componentes lleguen a tener.

En la figura 2.26 se observan los vanos de una vivienda de adobe.



Figura 2.26 Presencia de vanos uniformemente distribuidos a lo largo del muro de la vivienda.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

E) ENTREPISOS

Las vigas de entrepiso son de madera, van posadas en dos muros de adobe en la orientación más corta, cumplen la función de transferir las cargas verticales del entrepiso hacia los muros y también ayudan a optimizar el comportamiento sísmico. Las dimensiones más habituales son de 3" x 6" y su espaciamiento es de entre 0.80 a 1 m aproximadamente, es el grupo de

componentes estructurales horizontales que constituyen el soporte del acabado de piso de las áreas superiores y contribuyen a la solidez de la edificación. Los componentes estructurales de un entrepiso pueden ser vigas de madera aserrada o rolliza, posteriormente se emplaza el piso de madera. (SENA, s.f).

En la figura 2.27 se observa el entrepiso con su piso de madera instalado.



Figura 2.27. Vista del entrepiso, de una vivienda de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.

F) TECHO

Las viviendas de adobe presentan gran diversidad de tipologías de estructura en cubierta o techo. En general se muestran vigas principales de longitudes 3” x 6” espaciadas de entre 0.80 a 1.00 m y carrizo en el sentido perpendicular en toda la estructura, a este armazón de madera se le conoce como tijeral, es cubierta con torta de barro y teja artesanal. Se apoyan en muros y/o vigas de madera. En la figura 2.28 se observa la configuración de los tijerales en viviendas de adobe en Chinchero.



Figura 2.28. Vista del armazón de techo en viviendas de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.

G) ESCALERA

Las viviendas de adobe en Chinchero cuentan con escaleras de madera, hay presencia de grietas formadas por el secado de la madera y en algunos casos por su antigüedad, también en muchas viviendas antiguas, existe reducción de la sección por los ataques bióticos. Esto se observa en la figura 2.29.



Figura 2.29. Escalera de vivienda, con claros signos de deterioro y agrietamientos. Con elementos mal vinculados a la estructura. Fuente: Elaboración propia, 2019.

H) BALCONES

Los balcones son elementos anclados al entrepiso, que se usan como pasadizo o corredor para acceder al segundo nivel de las edificaciones de dos niveles o más.

Las edificaciones de adobe en chinchero, en su mayoría cuentan con un balcón hacia el interior o patio, estos balcones están apoyados sobre las vigas de madera que sobresalen del entrepiso y columnas que se conectan al techo, las barandas de madera en su mayoría se encuentran deterioradas e inestables. Esto se observa en la figura 2.30.



Figura 2.30. Balcón corrido, en el patio de vivienda. Fuente: Elaboración propia, 2019.

I) ELEMENTOS DE PIEDRA

En la zona urbana del distrito de Chinchero, existen componentes; en el cimiento y sobre cimiento, de piedra labrada, poseen una forma regular análoga a un paralelepípedo. Se observa estos elementos, más que todo en el cimiento y sobre cimiento de viviendas que fueron construidas sobre restos arqueológicos incaicos.

En la figura 2.31 se observa el sobre cimiento de una vivienda construida en la época colonial, y es relevante la presencia de muros incas en el sobre cimiento.



Figura 2.31. Sobre cimiento de piedra, vivienda ubicada cerca de la zona arqueológica de Chinchero. Fuente: Elaboración propia, 2019.



2.8.2 SISTEMA ESTRUCTURAL COMBINADO (EDIFICACIONES DE CONCRETO ARMADO Y ALBAÑILERÍA CONFINADA)

La técnica de construcción que se utiliza en muchas ciudades del sur del Perú es híbrida, entre la albañilería confinada y el sistema aporticado con tabiques de relleno.

Como afirma Mesta Cornetero (2014), primero, se construyen las columnas, luego se levanta la albañilería y finalmente se vacía la losa de techo en conjunto con las vigas. De esta manera, los muros son portantes de carga vertical, pero se encuentran desvinculados de las columnas (como si existiese una junta vertical lisa y a ras entre ambos materiales).

Este tipo de construcción no es permitida por la NTE E.070, donde se especifica, que para que un muro sea confinado la albañilería debe construirse en primer lugar, para después vaciar el concreto de las columnas, permitiéndose una conexión dentada o a ras, pero agregando mechas de anclaje (Mesta Cornetero, 2014).

La técnica de construcción antes mencionada se encontró en la zona urbana del distrito de Chinchero, en la mayoría de edificaciones autoconstruidas, y se identificó la misma; como un sistema estructural combinado, dado que es una combinación entre albañilería confinada y sistema aporticado.

2.8.3 SISTEMA ESTRUCTURAL DE CONCRETO ARMADO

La técnica de construcción que se identificó como sistema estructural de concreto armado, son en su totalidad edificaciones estatales, dado que fueron construidos con la supervisión adecuada y cumplimiento de las normas de edificaciones pertinentes. Este tipo de sistema estructural son edificaciones de concreto armado.

2.9 CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS EN EDIFICACIONES DE ADOBE EN CHINCHERO

Como expresa el CGPA (2011), el área histórica de la zona urbana de Chinchero está ubicada en la parte alta de un promontorio. La plaza es un espacio abierto que



no es central con respecto al poblado y su particularidad radica en que combina construcciones coloniales, como la iglesia, e incaicas, como el muro con doce nichos. Tres grandes arcos de hechos con adobe de los que nacen igual número de callejas delimitan este espacio.

Además, la plaza separa el conjunto arqueológico incaico, que se extiende hacia el norte de ella, del poblado colonial, que se desarrolla hacia el sur y al oeste. Los restos incaicos están conformados mayormente por andenería de gran calidad y por afloramientos rocosos labrados. Estos andenes descienden hacia un riachuelo que corre de oeste a este y que más adelante desciende vertiginosamente por una quebrada que lleva a Urquillos. Paralelo al riachuelo corre un camino incaico que también lleva al poblado de Urquillos (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011).

La iglesia está levantada en el lado este de la plaza sobre restos incaicos, al parecer de carácter ceremonial. Fue construida entre 1570 y 1607 y conserva un programa pictórico mural de gran calidad. En los lados oeste y sur de la plaza se conservan algunas casas coloniales, como la que perteneció al cacique Mateo Pumacchahua en el lado sur (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011).

Desde el punto de vista del CGPA (2011), el área histórica presenta un aspecto uniforme que está dado por edificaciones en adobe de un solo piso o de dos pisos. Predominan hacia las calles muros embarrados y enlucidos con cal en los que de trecho en trecho se abren vanos con carpintería de madera de carácter muy sencillo. En general, se está ante una arquitectura muy sencilla, de carácter marcadamente popular, pero que no deja de ser pintoresca. Es notoria, asimismo, la presencia de áreas libres, conformadas por canchones, corrales y pequeñas huertas con árboles y hortalizas.

El área no histórica o que no corresponde a la zona arqueológica en la zona urbana, presenta en menor cantidad edificaciones de adobe de un piso, de dos pisos y hasta de tres pisos, estas edificaciones constan en su mayoría de dos habitaciones por piso, y tienen acceso al segundo y tercer piso mediante un balcón de palos rollizos y madera que da al exterior de las edificaciones de adobe. En otro aspecto, existen en la gran mayoría edificaciones de concreto armado, más aun en la vía principal que une al distrito con la ciudad del Cusco y con Urubamba.

La calificación de las viviendas del poblado (zona arqueológica) arroja un gran porcentaje de edificaciones contextuales, que pueden tener algunos elementos que



se remontan a la colonia y presentar otros de tiempos más recientes que se integran bien al conjunto. En número muy pequeño se han conservado algunas casas coloniales de carácter más señorial (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011).

También es moderado el número de edificaciones contemporáneas descontextuales, es decir; las edificaciones de concreto armado. Por su uso, la mayoría de edificaciones de adobe está destinada a viviendas. Solo en las calles por las que los turistas se dirigen hacia la plaza y el conjunto arqueológico se han abierto tiendas de artesanías. Pero en el caso de edificaciones de concreto armado, su uso de la mayoría de ellas es el primer piso en comercio y los demás pisos como vivienda.

El principal problema que está enfrentando la parte histórica del poblado es un desarrollo desproporcionado y a veces en condiciones precarias de servicios para el turismo. Otro problema es el estado ruinoso en que se encuentran muchas de las edificaciones de carácter popular, lo que hace avizorar una eminente desaparición de las mismas y su posible reemplazo por construcciones descontextuales; es decir, edificaciones de concreto armado. Finalmente, cabe mencionar que la parte baja del área histórica; es decir el centro urbano moderno, está sufriendo un proceso de descaracterización con la aparición de edificaciones de tres niveles con elementos ajenos poco respetuosos de la arquitectura tradicional. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

Las configuraciones en planta de las diferentes edificaciones estudiadas, fueron obtenidas mediante la observación de las viviendas durante el trabajo de campo. Las mismas que se detallan a continuación.

2.9.1 CONFIGURACIÓN RECTANGULAR

La configuración rectangular de las viviendas, se definió de las observaciones; en campo, y tomando medidas de las viviendas. Se denominó rectangular porque su largo es mayor a su ancho. En la figura 2.32 se observa este tipo de configuración.

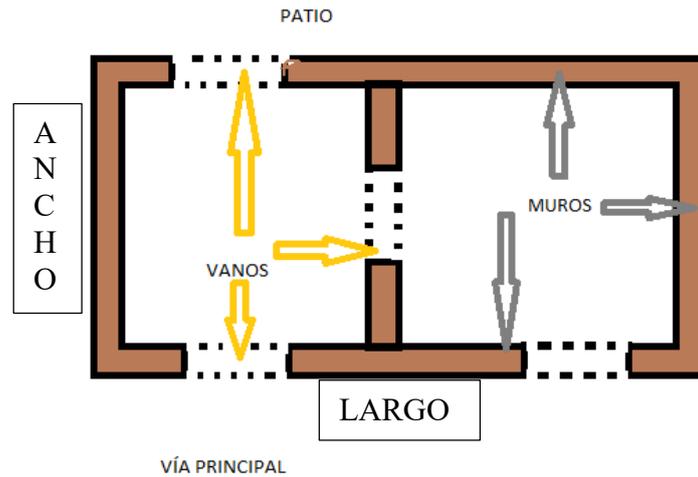


Figura 2.32 Configuración rectangular en planta, de una vivienda de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.

La figura 2.33 muestra la configuración rectangular de dos niveles y dos habitaciones por nivel de construcción; que tienen las casas de adobe.



Figura 2.33 Configuración típica de viviendas de adobe en la zona urbana de Chinchero. Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.9.2 CONFIGURACIÓN EN “L”

La Configuración en “L” de las viviendas, se definió de las observaciones; en campo, y tomando medidas de las viviendas. Se denominó en “L” porque su distribución en planta se asemeja a la letra “L”. En la figura 2.34 se observa este tipo de configuración.

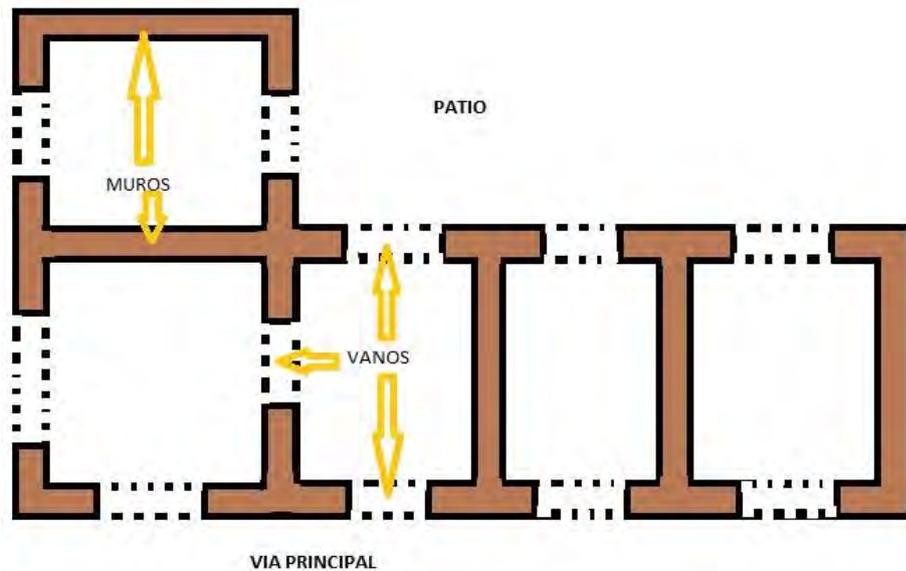


Figura 2.34 Configuración “L” en planta, de una vivienda de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.

2.9.3 CONFIGURACIÓN CUADRADA

La configuración cuadrada se definió mediante la observación y medición de viviendas de adobe en la zona urbana del distrito de Chinchero. Se denominó cuadrada porque las medidas de sus lados son iguales. En la figura 2.35 se observa este tipo de configuración.

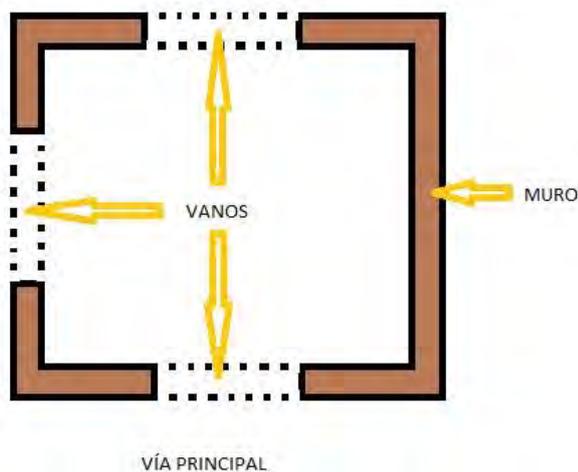


Figura 2.35 Configuración cuadrada en planta, de una edificación de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.



2.10 RESPUESTA DE EDIFICACIONES DE ADOBE ANTE SISMOS

Las estructuras de adobe son vulnerables a los efectos de fenómenos naturales tales como terremotos, lluvias e inundaciones. La construcción tradicional de adobe tiene una respuesta muy mala ante los movimientos telúricos, sufriendo daño estructural severo, hasta llegando al colapso, causando con ello pérdidas significativas en términos de vida humana y daño material. La deficiencia sísmica de la construcción de adobe se debe al elevado peso de la estructura, a su baja resistencia y a su frágil comportamiento (Blondet, Villa Garcia M., & Brzev, 2003).

Durante terremotos severos, estas estructuras desarrollan niveles elevados de fuerza sísmica, debido a que pesan demasiado, y por esta razón son incapaces de resistir y entonces fallan violentamente (Blondet, Villa Garcia M., & Brzev, 2003).

Los efectos de fenómenos naturales como son los terremotos, lluvias, inundaciones y deslizamientos son catastróficos. La construcción tradicional de adobe tiene una respuesta muy mala ante los sismos y terremotos ya que las fallas estructurales de adobe no reforzado, tal como menciona el Reglamento Nacional de Edificaciones E.080 (2017) son quebradizos, sufriendo daño estructural severo o llegando al colapso, causando así pérdidas significativas y daño material.

Durante las vibraciones sísmicas horizontales, si el suelo se mueve en una dirección, las fuerzas de inercia que se generan en los muros actúan en sentido contrario. Esto provoca en ellos fallas por momento, por flexión y corte, que actúan simultáneamente en cada uno de los muros. Tanto el momento negativo, como el corte provocan grietas cerca de las esquinas, y el momento positivo, grietas en el centro; efecto análogo a empujar los muros, que se separan en las esquinas. (Mesta Cornetero, 2014)

Fallas debido a fuerzas perpendiculares al plano del muro

Este es el tipo de falla en el que se genera las primeras grietas como consecuencia de las fuerzas fuera del plano del muro, estas grietas se manifiestan a baja intensidad sísmica, sin embargo esto no quiere decir que hay pérdida de estabilidad en los muros. Torrealva (2003), menciona los principales factores que afectan la estabilidad de los muros de adobe:

- El vínculo entre el muro y el techo o el sistema de entrepiso.
- El espesor del muro y su esbeltez.



- Si el muro es o no portante.
- La condición de la base del muro.
- La longitud libre del muro o distancia entre la intersección de los muros transversales.

Fallas debido a fuerzas cortantes al plano del muro

Las grietas que se originan por fuerzas cortantes en el plano del muro ocurren cuando por alguna razón se ha logrado controlar la falla por volteo y a niveles más altos de intensidad sísmica. Esta falla está directamente relacionada con la resistencia de la mampostería a la fuerza cortante (Torrealva, 2003).

Según Torrealva (2003), los factores relevantes que influyen en los muros de adobe que son sometidos a fuerzas fuera de su plano son:

- El espesor del muro.
- La calidad de la mano de obra en la construcción del muro.
- La calidad del mortero.
- El peso del techo, que es directamente proporcional a la fuerza de inercia.
- El estado de conservación del muro.



2.11 GLOSARIO DE TÉRMINOS

Peligro o amenaza sísmica

Posibilidad de exceder un nivel de ocurrencia de un incidente sísmico con un cierto ímpetu en un cierto sitio y en un determinado período de tiempo. (Mesta Cornetero, 2014)

Vulnerabilidad sísmica

Es el nivel o grado de daño que la edificación es susceptible a sufrir, cuando se encuentra subyugada a la acción del sismo. Es inversamente proporcional a la capacidad sísmica con la que se encuentra construida. Es inconstante con el transcurrir del tiempo (Cardona, 1986).

Empleando las palabras de Mesta Cornetero (2014) es la tendencia intrínseca de una estructura, conjunto de estructuras o una zona urbana, a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico; está coligada directamente con sus características físicas y estructurales de diseño.

Riesgo sísmico

Es el riesgo que existe en una determinada zona, de que ocurra un sismo.

Según Mesta Cornetero (2014) es el nivel de pérdidas esperadas debido a la ocurrencia de un evento particular y como una función de la vulnerabilidad y la amenaza. Está conexo con la probabilidad que se manifiesten ciertas consecuencias, lo cual está íntimamente vinculado al grado de exposición, su predisposición a ser afectado por el evento sísmico y el valor intrínseco del elemento.

Macro zonificación sísmica

Es la zonificación nacional y/o regional a gran escala de las zonas sísmicas (Wikipedia, 2019).

Microzonificación sísmica

Es la zonificación sísmica local a pequeña escala de las zonas sísmicas (Wikipedia, 2019).

Estado de conservación

En este caso, se refiere a la calidad de conservación de los materiales que componen una edificación (Wikipedia, 2019).

Calidad de los materiales estructurales

La calidad de los materiales, se determina, por su estado de conservación y sus características físico-mecánicas (Wikipedia, 2019).



Clasificación sísmica del suelo de cimentación

Los perfiles de suelo se catalogan tomando en cuenta el espesor del estrato, las características mecánicas del suelo, el perímetro fundamental de vibración y la velocidad de propagación de las ondas de corte (NTP E.030, 2016).

Índice de vulnerabilidad sísmica

El índice de vulnerabilidad sísmica es un número que muestra el nivel de vulnerabilidad de una edificación.

Es un método propuesto por Benedetti y Petrini, que pondera la vulnerabilidad sísmica de edificaciones en función de doce (12) parámetros: distribución de muros, tipo de organización estructural, calidad del sistema resistente, relación demanda-capacidad, suelo y pendiente, configuración en planta, entresijos, cubierta y sistema de techos, aberturas en los muros, estado de conservación, elementos no estructurales y la edad de la edificación (Maldonado Rondón, Chio Cho, & Gómez Araujo, 2007).

Función de vulnerabilidad

En la opinión de Mesta Cornetero (2014) es aquella que relaciona matemática o gráficamente la vulnerabilidad de una estructura con el daño que puede sufrir, para varias intensidades del movimiento del terreno, siendo estas intensidades manejadas preferiblemente por valores de algún parámetro físico, como la aceleración máxima del terreno o uno de los grados en cualquier escala macro sísmica.

Seguridad sísmica

La seguridad sísmica es la que permite mediante técnicas de reforzamiento se mitigue la vulnerabilidad sísmica, de manera que las edificaciones sean más seguras. (Wikipedia, 2019)

2.12 ASPECTOS GENERALES DEL DISTRITO DE CHINCHERO

2.12.1 UBICACIÓN GEOGRÁFICA.

El distrito de Chinchero se encuentra ubicado en la provincia de Urubamba, departamento del Cusco, al sur del Perú. Esto se puede observar en el mapa geográfico de ubicación regional en la figura 2.36, y la ubicación provincial en la figura 2.37.



Figura 2.36. Ubicación geopolítica de la provincia de Urubamba, en el departamento del Cusco. Fuente: Plan de Desarrollo Urbano Chinchero 2015.



Figura 2.37. Ubicación geopolítica del distrito de Chinchero, en la provincia de Urubamba. Fuente: PDU Chinchero 2015.

El centro urbano del distrito de Chinchero, está ubicado en el norte central del mismo, aunado al centro histórico arqueológico del Distrito. Se tiene como referencia las coordenadas de ubicación en la figura 2.38:

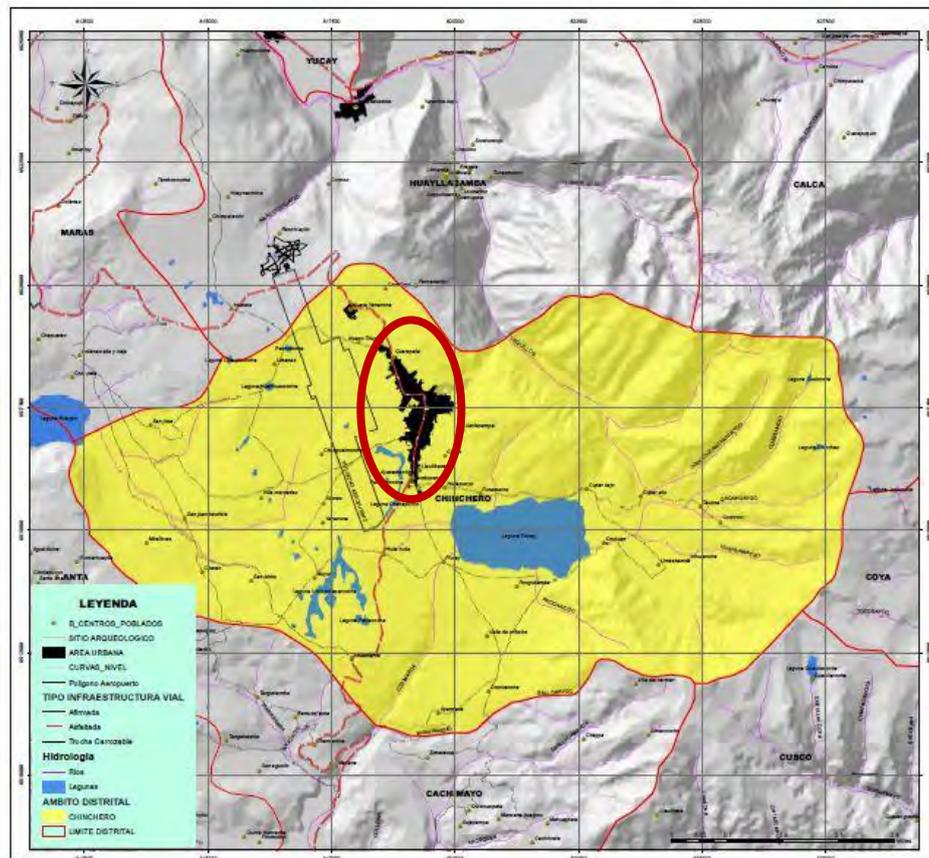


Figura 2.38. Ubicación geopolítica del centro urbano del distrito de Chinchero. Fuente PDU Chinchero 2015.

2.12.2 ACCESIBILIDAD

Chinchero es una zona turística; donde se implementó nuevas formas de comercio, que hacen que se desarrollen procesos de ingreso y salida de personas, productos, bienes, donde su mayor uso es para el turismo y para el comercio.

A su vez, según el sistema de Centralidades del PAT-Urubamba a Chinchero se le categoriza como Centro Urbano Mayor y tiene un Rol de Centro de producción textil y articuladora de la producción de papa para el mercado local y regional (Equipo Técnico PDU Chinchero, 2015).

Para esto Chinchero cuenta con la vía nacional 28F, la cual es una infraestructura vial asfaltada interprovincial denominada Cusco-Chinchero-Urubamba, la cual se encuentra en regular estado.

Esta es una de las vías más importantes. Se constituye el medio de comunicación más importante del centro poblado. Se caracteriza por articular en sentido longitudinal gran parte del territorio distrital; dado que atraviesa el distrito de



Chincheró en una longitud de aproximadamente 12 Km. y de sección de 18 metros aproximadamente. El flujo de transporte es local, interdistrital, interprovincial e incluso regional. Cuenta con tratamiento de circulación peatonal, se han incluido áreas de descanso, áreas verdes y áreas de estacionamientos a ambos lados de la Vía, lo que permite el tránsito con mayor seguridad para el peatón. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

2.12.3 CLIMA

El distrito de Chincheró tiene un clima típico de la sierra sur del país de tipo semiseco y templado, con temperaturas actuales que varían de $-1\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ y rara vez baja a menos de $-4\text{ }^{\circ}\text{C}$ o sube a más de $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, con un promedio anual de temperatura máxima $17\text{ }^{\circ}\text{C}$ y temperatura mínima de $5\text{ }^{\circ}\text{C}$; con precipitaciones pluviales que varían durante el año, en junio que es el mes más seco con 3 mm de lluvia y en enero es la mayor precipitación con 153 mm. Las precipitaciones promedio son de 711 mm. (Climate Data, 2019)

2.12.4 TOPOGRAFÍA Y CALIDAD DEL SUELO

La topografía y calidad del suelo se detallan de acuerdo al plan de desarrollo urbano del distrito, en el cual se explica lo siguiente:

Chincheró se encuentra conformada por mesetas, laderas bajas, lomadas y quebradas, las cuales se aprecian en los cortes longitudinales hechos al plano topográfico que se observa en la figura 2.39.

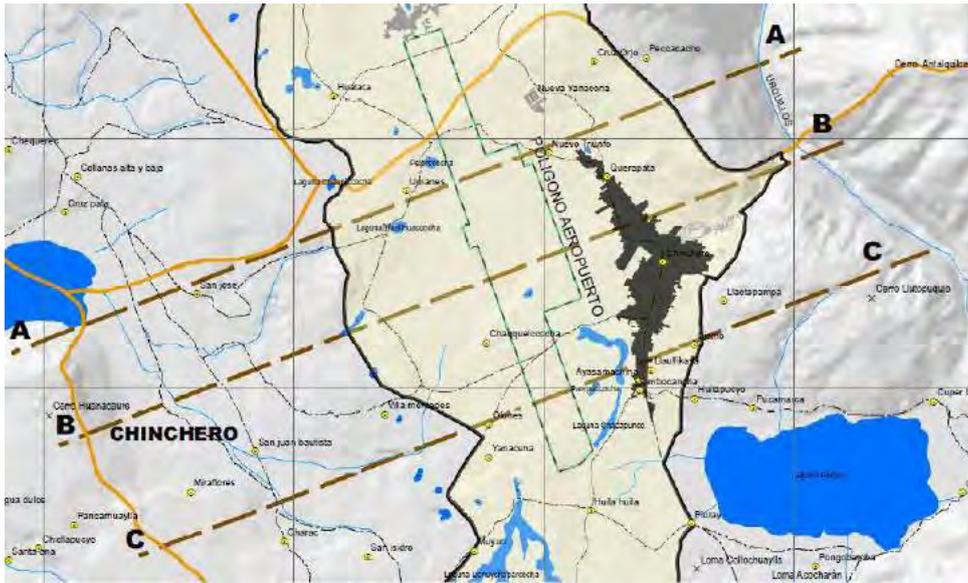


Figura 2.39. Cortes de perfiles topográficos del centro urbano del distrito de Chinchero. Fuente: PDU Chinchero 2015.



Figura 2.40. Perfil topográfico, corte A – A. Fuente: PDU Chinchero 2015.

En la figura 2.40 se observa que el perfil de la zona urbana empieza a aparecer entre una quebrada y mesetas, principalmente a ambos lados de la vía Cusco – Urubamba.



Figura 2.41. Perfil topográfico, corte B –B. Fuente: PDU Chinchero 2015.

En la figura 2.41 se observa claramente la configuración de la zona urbana en el perfil topográfico, donde indica la ubicación de la zona urbana del distrito de Chinchero, se puede observar que la zona de estudio se encuentra a más de 3700 m.s.n.m.



Figura 2.42. Perfil Topográfico, corte C – C. Fuente: PDU Chinchero 2015.

En la figura 2.42 donde se muestra el corte C-C del perfil topográfico; se observa que la zona urbana del distrito de Chinchero se encuentra en la unión de dos quebradas, por donde se ubica la zona de mesetas.

2.12.5 DEMOGRAFÍA

Según el Instituto Nacional de Estadística e Informática del Perú (INEI) a nivel distrital, el distrito de Chinchero presenta una equiparable concentración urbana, siendo su población total más que los demás distritos de la provincia de Urubamba, después de los distritos de Urubamba y Ollantaytambo, teniendo un 43% de la población urbana y el 43% de la población rural. Donde se ve claramente que hay igual población en la zona urbana y la zona rural. Cabe resaltar esta información, dado que en años anteriores la población era rural en su mayoría, y en los últimos años se ha equiparado en ambos casos. Así, cuenta con una población total de 9818 habitantes al año 2014 (INEI, 2007).

Así mismo, dentro de las variables demográficas más importantes del distrito de Chinchero, al año 2014, la densidad poblacional del distrito es 103.8 hab/Km². Además, Para el año 2007 el distrito Chinchero contaba con una población total de 9,422 habitantes, de los cuales el 28,3% se ubicaba en la zona urbana y 71,7% en la zona rural; sin embargo, si bien el distrito de Chinchero para el año 2007 es predominantemente rural, su proceso de urbanización se evidencia en el siguiente gráfico, en especial entre los tres últimos censos poblacionales que muestra tasas de crecimiento positivas para esta zona, esto se observa en la figura 2.43.

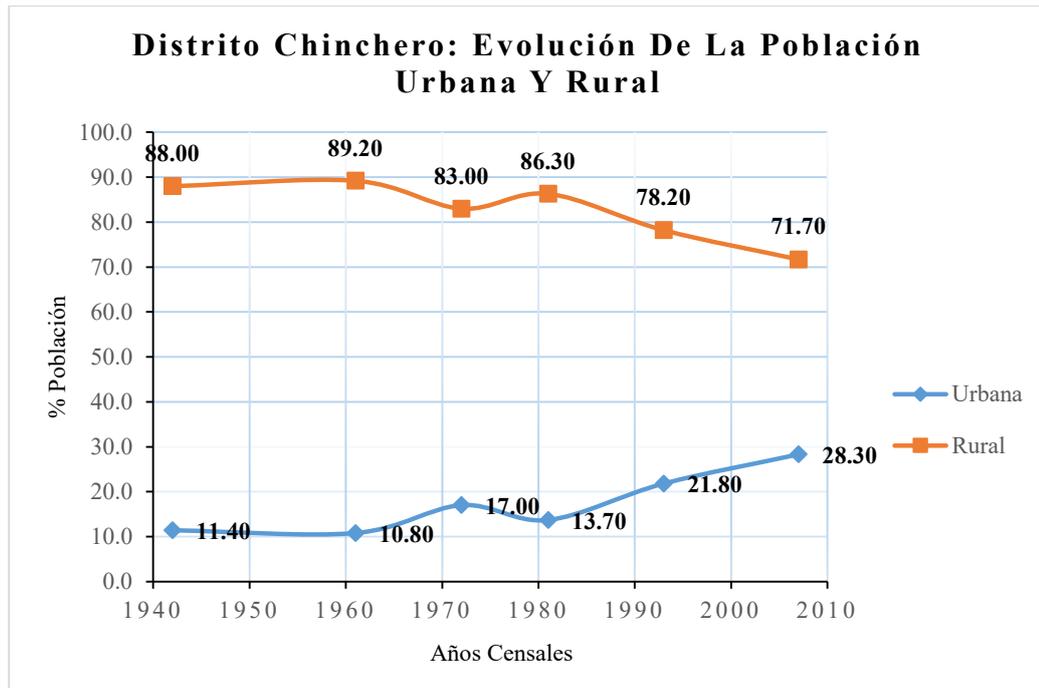


Figura 2.43. Evolución de la población urbana y rural 1940 – 2007. Fuente: Censos Nacionales de Población 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007. INEI, y CGPA 2011. Elaboración propia, 2019.

Tabla 2-4 Población urbana y rural 1940 - 2007.

Distrito	Años Censales											
	1940		1961		1972		1981		1993		2007	
	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural	Urbana	Rural
Chinchero	659	5 131	692	5 717	1 219	5 961	1 075	6 770	1 991	7 155	2 664	6 758
Total	5 790		6 409		7 180		7 845		9 146		9 422	

Fuente: Censos Nacionales de Población 1940, 1961, 1972, 1981, 1993, 2007. INEI, y CGPA 2011.

En la tabla 2-4 se observa que la población urbana del distrito de Chinchero entre los años 1993 y 2007 se ha incrementado en 33,8%, es decir se ha incrementado en 673 habitantes, crecimiento que se ha producido a un ritmo promedio anual de 2,1%. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

Por lo tanto, se realizó la presente investigación, tomando en cuenta la importancia la evaluación del nivel de vulnerabilidad de las edificaciones, dado que con los años la población se ha ido incrementando en la zona urbana.

2.12.6 RESEÑA HISTÓRICA

Como expresan los investigadores del Centro Guaman Poma de Ayala (2011), la zona urbana del distrito Chinchero, es un poblado destacado y su conocido valor está en haber sido una ocupación continua, es así que, existen en la zona vestigios Pre incas, Incas, Coloniales y Republicanos: por ello se considera que ha sido un poblado siempre vivo, en la figura 2.44 se observa que su arquitectura se constituye así en un texto privilegiado en el que se pueden leer las diferentes épocas.



Figura 2.44. Evolución morfológica del centro poblado. Fuente: PDU Chinchero 2015 y Plan Maestro del Parque Arqueológico de Chinchero 2005.

En la época Inca el conjunto revela una planificación territorial y diseño urbano que parece responder ideológicamente al circuito sagrado del agua y al rol de centro de intercambio de productos de los diferentes pisos ecológicos. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

En 1571, después de las guerras civiles se dan las reducciones en esta zona, se presume que es en este año que se reutilizan las canalizaciones que llevaban el agua de la laguna de Piuray al valle del Cusco, Chinchero entra en el repartimiento de Yucaj de 1581 probablemente así nace el poblado colonial. La vida del Chinchero con la ocupación colonial la traza es modificada, a una traza en damero, pasa de ser una arquitectura andina orgánica, respetuosa de las pendientes y elementos naturales a una traza de origen Judeo Cristiana occidental. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

En la época republicana no se producen grandes cambios estructurales, la traza se mantiene y la forma general del poblado es la misma, sin embargo en los últimos años los cambios han sido constantes producto del crecimiento generado

por el turismo, y a la inminente construcción del aeropuerto internacional de Chinchero, estos cambios vienen destruyendo muy rápidamente las estructuras Pre hispánicas y coloniales, así como también están generando cambios considerables en la imagen y morfología urbanas del centro urbano. Esta expansión urbana se ha dado alrededor de la vía principal que une la provincia de Urubamba con la ciudad del Cusco. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011) En el presente trabajo donde se estudió la zona urbana del distrito de Chinchero, se evaluó las edificaciones de adobe existentes en la zona, en especial las viviendas residenciales.

Al año 2019 el 54% de edificaciones son de adobe y el 24% de concreto (ver Fig. N° 2.45); según el conteo realizado para la presente investigación, mediante observación y toma de fotografías de las calles de Chinchero. Donde el total de viviendas construidas es 1176; de las cuales el 69% son edificaciones de adobe, esto se observa en la tabla 2-5.

Tabla 2-5 Cuadro de tipo de material predominante en las edificaciones, del centro urbano del distrito de Chinchero.

TIPO DE MATERIAL	ZONA URBANA	PORCENTAJE
CONCRETO	360	24%
ADOBE	816	54%
TSC-BALDIO	323	22%
TOTAL DE PREDIOS	1499	100%
TOTAL DE EDIFICACIONES	1176	78%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

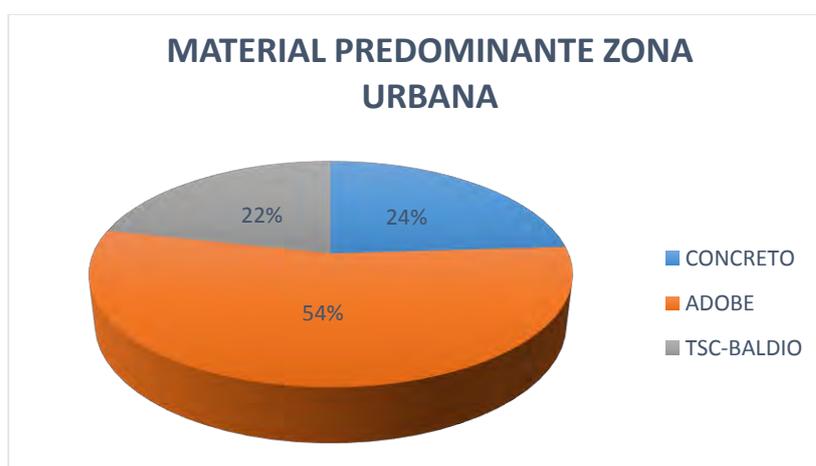


Figura 2.45 Censo de material predominante en el centro urbano del distrito de Chinchero. Fuente PDU Chinchero 2015 y Elaboración propia, 2019.



Como se explicó en párrafos anteriores, con el transcurrir del tiempo, la evolución del centro urbano del distrito ha suscitado grandes cambios en su infraestructura, y también se ha modificado la morfología espacial del mismo.

De la misma forma, la población ha ido creciendo, y asentándose en los alrededores, creciendo de forma radial y ordenada, hacia el este, el oeste, el norte y el sur. Siempre cerca a la vía principal que une el distrito con la Ciudad del Cusco y Urubamba.

En la figura 2.46 se puede ver las vías principales como se veían en el año 2011 y como se ven en el año 2019.



Figura 2.46. Vistas variadas de las calles de la zona urbana del distrito de Chinchero, en el año 2011, y en la actualidad. a) Zona de parqueo, en el año 2011, b) Zona de parqueo y mercado, en el año 2019, c) Paradero principal, en el año 2011, d) Paradero principal de Chinchero, en el año 2019, e) Paradero de Allpachaca, en el año 2011, f) Paradero de Allpachaca, en el año 2019, g) Calle Garcilazo, en el año 2011, h) Calle Garcilazo en el año 2019, i) Av. Mateo Pumacchagua, en el año 2011, j) Av. Mateo Pumacchagua, en el año 2019, k) Calle Manco II en el año 2011, l) Calle Manco II, en el año 2019. Fuente: fotografías tomadas por el CGPA y fotografías propias, 2019.



2.12.7 PLANO CATASTRAL DE LA ZONA URBANA DE CHINCHERO

El distrito de Chinchero, se ve en el anexo C; Plano N° 01 Plano Catastral de la Zona Urbana del distrito de Chinchero, en esta se muestra el plano catastral del centro urbano, contemplado en el Plan de Desarrollo Urbano del año 2015, este plano es el manejado por el Organismo de Formalización de la Propiedad Informal (COFOPRI) para aspectos de delimitación. Además en el anexo C; Plano N° 02 Vista Satelital de la Zona Urbana del distrito de Chinchero, se puede ver la vista satelital, provista por el aplicativo Google Earth.

2.13 PELIGROS NATURALES PREDOMINANTES EN EL DISTRITO DE CHINCHERO

2.13.1 ZONAS DE PELIGRO SÍSMICO

Según el Centro Peruano Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres (CISMID) las zonas de peligro sísmico se muestran en la figura 2.47, denominado mapa de distribución de máximas intensidades sísmicas a nivel del Perú:

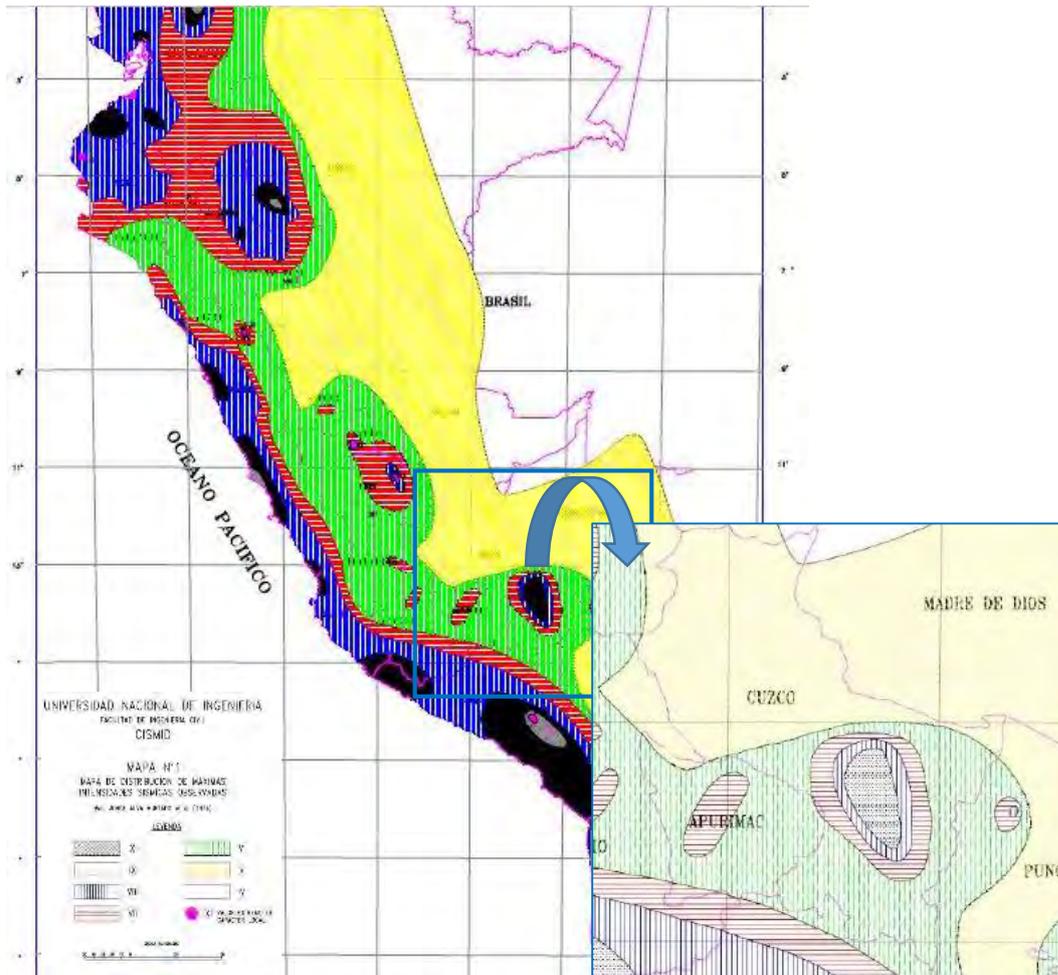


Figura 2.47. Mapa de máximas intensidades sísmicas del Perú. Fuente UNI, CISMID.

El Perú, al igual que los países del margen occidental de América y los países del margen oriental de Asia y Australia se encuentran emplazados en el denominado Cinturón de Fuego del Pacífico, esta zona está diferenciada por una sismicidad activa importante. Como se explicó en el ítem de 2.2 Fundamentos de Sismología, cuando dos placas llegan a converger, como es el tema de la Placa Oceánica de Nazca, que se desliza bajo la parte continental de la placa Sudamericana. Acontece el fenómeno de subducción, ocasionando una sismicidad importante y un vulcanismo activo, como es el caso del territorio peruano y todo el Cinturón de fuego del Pacífico.

La región de Cusco, se encuentra caracterizada por una evolución tectono-sedimentaria plio-cuaternaria, localizada a lo largo de todo el sistema de fallas que limita las Altiplanicies de la Cordillera Oriental. Y está caracterizado por una importante actividad sísmica cortical, se sabe que la región de Cusco



presenta muchos sectores de fallas normales activas. (Equipo Técnico PDU Chinchero, 2015)

En la región Cusco se ha logrado reconocer y estudiar el sistema de fallas activas de Cusco ubicadas en las zonas Zurite, **Chinchero**, Qoricocha, Tambomachay, Pachatusan y Urcos; y el sistema de fallas del Vilcanota que comprende Pomacanchis, Sangarará y Langui-Layo. Los sismos son superficiales y destructores cuando sus hipocentros se localizan a poca profundidad (0 y 60 km de profundidad) como los ocurridos en Cusco en 1650, 1959 y **1986**, así como en Urcos en 1965, las que están relacionadas con el sistema de fallas activas del Cusco. El Sismo del 5 de Abril de 1986, afectó al distrito de Chinchero, dado que se dio debido a la activación de las fallas Chinchero y Qoricocha. Los lugareños afirman que es el último sismo más intenso que se registró en la zona.

2.13.2 ZONAS DE PELIGRO POR INUNDACIONES

El equipo técnico del Centro Guaman Poma de Ayala que elaboró el plan de desarrollo urbano para el distrito de Chinchero (2011) indica que, las zonas de peligro en la zona urbana del distrito de Chinchero, se definen, por las áreas que están expuestas al peligro debido a su cercanía a la laguna de Ponccolay al oeste del poblado y que en temporada de lluvias aumenta su nivel afectando áreas urbanas de la ribera del Sector Nueva Victoria, final de las calles, Calle Olones, Manantial, calle Belleza, calle Los Pinos, Miraflores, Bolognesi, Conquista y Manco Segundo en alto y medio peligro.

El centro ocupacional Asociación De Desarrollo Huayna Paqareq de la Región Inka (ADEHPRI) está cercano al borde del peligro medio, el Estadio Municipal y parte del Coliseo Cerrado se encuentra en medio y alto peligro. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

Hacia el Sur, la Carretera a Cusco en un tramo de 600 m. en muy alto peligro y 600 m. en alto y medio peligro por inundación. En este sector son vulnerables las zonas y actividades agropecuarias circundantes a la laguna de Ponccolay.

Hacia el norte, bordeando el área del conjunto arqueológico de Chinchero se tiene un bofedal que en temporada de lluvias se inunda, estando vulnerable parte de las andenerías bajas del conjunto, las áreas de uso recreativo y la vía



interprovincial que conecta a Urubamba en un tramo de 500 m. los cuales están expuestos a peligro medio. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

Otras zonas vulnerables son aquellas que se encuentran aledañas al riachuelo Pinchazanja por infiltración que discurre de sureste a noroeste hasta la calle Cahuide en una longitud de 700 m. que en temporada de lluvias llega a desbordarse, aunque parte de este riachuelo ya ha sido protegido y controlado, aún en sus últimos tramos sigue poniendo en peligro las zonas cercanas a las andenerías del conjunto arqueológico de Chinchero, convirtiéndolos en bofedales, que se mencionan en el párrafo anterior. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

Se calcula que al año 2011, 4.48 ha. (2.55%) del área urbana está expuesta a muy alto peligro; que 2.45 ha. (1.42%) está expuesta a alto peligro y 6.8 ha. (3.94%) a medio peligro por inundaciones. En total 7.9% del área urbana está expuesta a diferentes niveles de inundación (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011).

2.13.3 ZONAS DE PELIGRO POR DESLIZAMIENTO

De acuerdo con el Centro Guaman Poma Ayala (CGPA) en el año 2011, la zona urbana de Cuper Pueblo que comprende siete manzanas con edificaciones contemporáneas contextuales, es decir; edificaciones de adobe, ciertos tramos de muros incas y recompuestos en algunas calles.

Zona de andenerías de Q'entepata al lado de la plaza antigua. Andenerías bajas de Cancha y Quillapata en el lado norte del conjunto arqueológico de Chinchero, son zonas que presentan peligro de deslizamiento, y si ocurre un deslizamiento, podría afectar eventualmente a turistas que las visitan. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

Todas las edificaciones que no tienen estructuras especiales, entre ellas las edificaciones de adobe, cercanas a los cuerpos de agua y antiguos bofedales; tienen un alto nivel de saturación de suelos, por lo que frente al peligro sísmico son altamente vulnerables. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

El CGPA (2011) agrega que el área urbana de Nuevo Triunfo, parte de la Av. Huiñay Huayna (actual Av. Querapata) que compromete parte de 5 manzanas en medio peligro y hacia la zona de laderas del cerro Querapata más del 90 % se encuentra en peligro medio y bajo ante deslizamientos.



En las laderas del cerro Querapata son vulnerables las áreas agrícolas e infraestructuras turísticas como el Balcón del Inca y Parwa, construidas en los últimos cinco años.

El museo, el garaje municipal; ubicado en la Av. Querapata, la Parroquia de Chinchero y el campo deportivo Cuper, estos últimos ubicados en la zona arqueológica, están expuestos a peligro bajo de deslizamientos. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

Se calcula que al año 2011, 1.73 ha. (1.003%) del área urbana está expuesta a medio peligro y 2.96 ha de medio a bajo peligro por deslizamiento. No existe peligro alto ni muy alto ante deslizamientos (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011).

2.13.4 ZONAS DE PELIGRO POR HUNDIMIENTO

Ante aluviones la zona urbana de Chinchero no es vulnerable, dado que no se da la existencia de este peligro; sin embargo, pueden darse fenómenos de hundimiento de suelos (dolinas) por la existencia de cavernas característica de la formación geológica de Maras y Chincheros con predominancia de yesos, limonitas y calizas con poca cobertura vegetal y por lo tanto son susceptibles a deslizamientos (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011).

Con respecto a la posibilidad de que se dé el fenómeno de licuación, el tipo de suelo que conforma el área de estudio presenta mayoritariamente suelos finos cohesivos, es por ello que se reducen los factores que condicionan el fenómeno de licuación de suelos, por lo tanto, la posibilidad de ocurrencia del fenómeno de licuación queda descartado. (Equipo Técnico PDU Chinchero, 2015)

En la zona donde se construirá el futuro aeropuerto, existe presencia de suelo orgánicos y afluencias hasta aproximadamente 20m de profundidad, concretamente; en la parte sur este, y lentes de pequeño espesor en la parte norte, ésta situación crea períodos de vibración natural del suelo muy diferentes con una variación de casi 350% (1.46s en el lado este y 0.43s en el lado norte); suelos orgánicos muy saturados y altamente comprimibles. (Equipo Técnico PDU Chinchero, 2015)

2.14 ENSAYOS DE LABORATORIO A REALIZAR

2.14.1 ENSAYO DE ANÁLISIS GRANULOMÉTRICO

En el manual de ensayos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en su ítem MTC E 107, ANALISIS GRANULOMETRICO DE SUELOS POR TAMIZADO, cuyo objetivo es determinar cuantitativamente la distribución de tamaños de partículas de suelo. Su referencia normativa es el ASTM D 422: “Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils. ”

Según el MTC E 107 (2016), los equipos a utilizar son:

- Dos básculas. Una con sensibilidad de 0,1% del peso del espécimen, para pesar los materiales retenidos en el tamiz de 4,760 mm (N° 4). Otra con sensibilidad de 0,01 g para pesar material que pase el tamiz de 4,760 mm (N° 4).
- Estufa. Capaz de conservar temperaturas constantes de hasta de 110 ± 5 °C.

Como indica el MTC E 107 (2016), los materiales a utilizar son:

- Tamices de malla cuadrada. Incluyen los mencionados en la tabla 2-6.

Tabla 2-6. Tamices utilizados para el ensayo de Granulometría.

TAMICES	ABERTURA (mm)
3”	75,000
2”	50,800
1 ½”	38,100
1”	25,400
¾”	19,000
⅜”	9,500
N° 4	4,760
N° 10	2,000
N° 20	0,840
N° 40	0,425
N° 60	0,260
N° 140	0,106
N° 200	0,075

Fuente: MTC E 107, 2016

- Envases. Adecuados para el manejo y secado de las muestras.
- Cepillo y brocha. Para limpiar las mallas de los tamices.

Como dice el MTC E 107 (2016), el procedimiento que se realiza en el ensayo de granulometría se divide en dos partes:



a) ANÁLISIS POR MEDIO DE TAMIZADO DE LA FRACCIÓN RETENIDA EN EL TAMIZ DE 4,760 mm (N° 4).

Primero se separa la fracción de muestra retenida en el tamiz de 4,760 mm (N° 4) en una serie de porciones usando los tamices de la tabla 2-7. O los que sean necesarios dependiendo del tipo de muestra.

Tabla 2-7. Tamices utilizados para el análisis por medio de tamizado de la fracción retenida en el tamiz de 4,760 mm (n°4).

TAMICES	ABERTURA (mm)
3"	75,000
2"	50,800
1 1/2"	38,100
1"	25,400
3/4"	19,000
3/8"	9,500
N° 4	4,760

Fuente: MTC E 107, 2016

Luego, en caso de que la maniobra de tamizado sea manual, se mueve el tamiz o tamices de un lado a otro y haciendo circunferencias de manera que la muestra se conserve en movimiento sobre la malla. Debe evidenciarse al desmantelar los tamices que la maniobra está concluida; esto se sabe cuándo no pasa más del 1 % de la porción retenida al tamizar durante un minuto, maniobrando cada tamiz individualmente. Si quedan partículas aprehendidas en la malla, deben separarse con un cepillo o pincel y reunir las con lo retenido en el tamiz.

Por último se establece el peso de cada fracción en una báscula con una sensibilidad de 0,1 %. La suma de los pesos de todas las fracciones y el peso, inicial de la muestra no debe discrepar en más de 1 %.

b) ANALISIS GRANULOMETRICO DE LA FRACCION FINA

El análisis granulométrico de la porción que pasa el tamiz de 4,760 mm (N° 4), se hará por sedimentación y/o tamizado según las particularidades de la muestra y según la información solicitada.

El método para el análisis granulométrico por lavado sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200) es:

Primero se dividen mediante cuarteo, 115 g para suelos arenosos y 65 g para suelos limosos y arcillosos, pesándolos con exactitud de 0,01 g.



Luego se pesa una fracción de 10 a 15 g de los cuarteos anteriores y se seca en la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C. Se pesan de nuevo y se apuntan los pesos.

Después se instala la muestra en un recipiente adecuado, cubriéndola con agua y se deja en remojo hasta que todos los trozos se ablanden.

A continuación, se lava el espécimen sobre el tamiz de 0,074 mm (N° 200), con cuantiosa agua, evadiendo frotarla contra el tamiz y teniendo mucha precaución de que no se pierda ninguna partícula de las detenidas en él.

Después se recoge lo conservado en un recipiente, se seca en la estufa a una temperatura de 110 ± 5 °C y se pesa.

Por último, se tamiza en seco siguiendo el método indicado como en el caso de exploraciones por medio de tamizado de la porción retenida en el tamiz de 4,760 mm (n° 4).

La norma E 080 (2006); establece los porcentajes de cada material que debe contener en su elaboración el adobe, en la tabla 2-8.

Tabla 2-8. Porcentajes de material en adobe.

Material	Porcentajes (%)
Arcilla	10-20
Limo	15-25
Arena	55-70

Fuente: E-80, 2006.

2.14.2 ENSAYOS DE LÍMITES DE CONSISTENCIA

Como afirma la norma técnica peruana NTP 339.129: SUELOS. Método de ensayo para determinar el límite líquido, límite plástico e índice de plasticidad de suelos (1999); la consistencia es la relativa facilidad con la cual un suelo puede ser deformado.

Según la NTP 339.129 (1999), originalmente Albert Atterberg definió seis “límites de consistencia” de suelos de grano fino: el límite superior de flujo viscoso, el límite líquido, el límite de pegajosidad, el límite de cohesión, el límite plástico, y el límite de contracción. En ingeniería se usan frecuentemente el límite líquido y el límite plástico.

El contenido de agua en el punto de transformación de estado semisólido a plástico es el límite plástico, y de estado plástico a líquido es el límite líquido³, esta noción se observa de modo gráfico en la figura 2.53. El objetivo al realizar ensayos y determinar estos “límites” es para saber si el material que atraviesa la malla N°200 es predominante en arcillas o en limos.

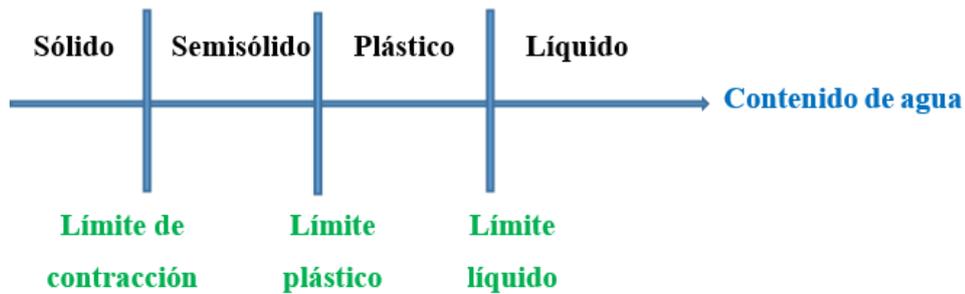


Figura 2.48. Límites de Atterberg. Fuente: Joseph Bowles y elaboración propia, 2019.

En el manual MTC E 110 DETERMINACION DEL LIMITE LIQUIDO DE LOS SUELOS; cuyo objetivo es determinar el contenido de humedad, expresándolo en porcentaje(%), para lo cual el suelo se halla en el límite entre los estados líquido y plástico, se indican los pasos a seguir para obtener el límite líquido de los suelos.

Como indica en manual MTC E 110, los equipos a utilizar son:

- Cazuela para Almacenaje.
- Aparato del límite líquido (o de Casagrande).
- Acanalador.
- Calibrador.
- Vasijas o Pesa Filtros.
- Báscula. Una báscula con sensibilidad de 0,01 g.
- Horno. Termostáticamente controlado y que pueda mantener temperaturas de $110\pm 5^{\circ}\text{C}$ para secar el espécimen.

Según el manual MTC E 110 los materiales e insumos que se utilizan en este ensayo son:

- Espátula.
- Pureza del agua: agua desmineralizada o agua destilada.

³ Joseph Bowles. Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil.



De acuerdo con el manual MTC E 110, la muestra que se utiliza en este ensayo se adquiere tomando una fracción distintiva de la muestra total suficiente para proporcionar 150 g a 200 g de material pasante del tamiz 425 μm (Nº 40).

Como enuncia el manual MTC E 110, los pasos a seguir para realizar el ensayo de límite líquido es:

Paso 1: Colocar una fracción del suelo preparado, en la copa del aparato de límite líquido en el punto en que la copa reposa sobre la base, presionándola, y esparciéndola en la copa hasta una profundidad de aproximadamente 10 mm en su punto más hondo, constituyendo una superficie aproximadamente horizontal. Tener precaución en no dejar burbujas de aire atrapadas en la pasta con la menor cantidad de pasadas de espátula como sea posible. Conservar el suelo no usado en el plato de mezclado. Forrar el plato de mezclado con un paño húmedo para retener la humedad en la muestra.

Paso 2: Manipulando el acanalador, dividir la muestra contenida en la copa, haciendo un surco a través del suelo siguiendo una línea que una el punto más cumbre y el punto más hondo sobre la orilla de la copa. Cuando se corte el surco, conservar el acanalador contra la superficie de la copa y trazar un arco, conservando la corriente perpendicular al área de la copa en todo su movimiento.

Paso 3: Comprobar que no existen residuos de suelo por debajo de la copa. Elevar y soltar la copa virando el manubrio a una velocidad de 1,9 a 2,1 golpes por segundo hasta que las dos porciones de suelo estén en contacto en la base de del surco una longitud de 13 mm (1/2 pulg).

Nota 1. Se sugiere el uso de una regla graduada para comprobar que la ranura o surco se cerró en 13 mm (1/2 pulg).

Paso 4: Comprobar que no se haya originado el cierre prematuro del surco debido a burbujas de aire, examinando que ambos lados de la ranura o surco se hayan desplazado en conjunto aproximadamente con la misma forma. Si una burbuja hubiera causado el cierre prematuro del surco, formar reiteradamente el suelo en la copa, aumentando una pequeña cantidad de suelo para retribuir la pérdida en la operación de ranuración y repetir del paso 1 al paso 3 a un contenido más superior. Si luego de varios ensayos a contenidos de humedad sucesivamente más altos, la pasta de suelo se sigue resbalando en la copa o si la cantidad de golpes necesarios para cerrar la ranura o surco es siempre menor de 25, se



indicará que el límite no pudo determinarse, y se reportará al suelo como no plástico sin efectuar el ensayo de límite plástico.

Paso 5: Anotar el número de golpes, N , necesario para cerrar la ranura o surco. Agarrar una tajada de suelo de aproximadamente del ancho de la espátula, despleándola de extremo a extremo de la torta de suelo en ángulos perpendiculares a la ranura y conteniendo la porción de la ranura en la cual el suelo se deslizó en conjunto, ponerlo en un envase de peso conocido, y cubrirlo.

Paso 6: Regresar el suelo sobrante en la copa al plato de mezclado. Lavar y secar la copa y el acanalador y asentar la copa nuevamente a su soporte dispuesto para la siguiente prueba.

Paso 7: Mezclar otra vez todo el espécimen de suelo en el plato de mezclado aumentándole agua destilada para elevar su contenido de humedad y reducir la cantidad de golpes necesarios para cerrar la ranura. Repetir del paso 1 al paso 6 para al menos dos experimentos adicionales produciendo números de golpes progresivamente más bajos para cerrar la ranura. Una de estas pruebas se hará para un cierre que requiera de 25 a 35 golpes, una para un cierre entre 20 y 30 golpes, y una prueba para un cierre que demande de 15 a 25 golpes.

Paso 8: Establecer el contenido de humedad, W_n , de muestra de suelo de cada prueba conforme al método de ensayo NTP 339.127. Los pesos iniciales deben establecerse inmediatamente después de culminar el ensayo.

Como expresa el manual MTC E 110, para obtener el límite líquido se realizan los siguientes cálculos:

Primero: Representar la correlación entre el contenido de humedad, W_n , y el número de golpes correspondientes, N , de la copa en un gráfico semilogarítmico con el contenido de humedad como ordenada en la escala aritmética, y el número de golpes como abscisa en escala logarítmica. Trazar la mejor línea recta que pase por los puntos graficados.

Segundo: Tomar en cuenta el contenido de humedad oportuno a la intersección de la línea con la abscisa de 25 golpes como el límite líquido del suelo. Este método gráfico puede reemplazar los métodos de ajuste para encontrar una línea recta con los datos, para obtener el límite líquido.



En el manual MTC E 111: DETERMINACION DEL LIMITE PLASTICO (L.P.) DE LOS SUELOS E INDICE DE PLASTICIDAD (I.P.), cuyo objetivo es determinar en el laboratorio el límite plástico de un suelo y el cálculo del índice de plasticidad (I.P.) si se conoce el límite líquido (L.L.) del mismo suelo, se indica los procedimientos a realizar para obtener el L.P. y el I.P.

Según el manual MTC E 111, los equipos, materiales e insumos a utilizar son:

- Espátula
- Fuente para Almacenaje, de porcelana o similar
- Báscula, con aproximación a 0,01 g.
- Horno
- Tamiz, de 426 μm (N° 40).
- Agua destilada.
- Vidrios de reloj
- Superficie de rodadura, vidrio grueso esmerilado.

Como indica el manual MTC E 111, para la muestra se toman alrededor de 20 g de la muestra que pase por el tamiz de 426 mm (N° 40), dispuesto para el ensayo de límite líquido. Se mezcla con agua destilada hasta que pueda constituirse con facilidad una esfera con la masa de suelo. Se toma una porción de 1,5 g a 2,0 g de dicha esfera como muestra para el ensayo.

De acuerdo con el manual MTC E 111, los pasos a seguir al realizar este ensayo es:

Paso 1: Se moldea la mitad del espécimen en forma de elipsoide y luego, se rueda con los dedos de la mano sobre una zona lisa, con la presión rigurosamente necesaria para formar cilindros.

Paso 2: Si antes de llegar el cilindro a un diámetro de unos 3,2 mm (1/8") no se ha destrozado, se hace de nuevo una elipsoide y a redundar el proceso, cuantas veces sea preciso, hasta que se desmorone o destruya aproximadamente con dicho diámetro. El desmoronamiento puede manifestarse de modo distinto, en los distintos tipos de suelo: En suelos muy plásticos, el cilindro queda dividido en trozos de unos 6 mm de longitud, mientras que en suelos plásticos los trozos son más pequeños.



Paso 3: La porción así conseguida se instala en vidrios de reloj o pesa-filtros tarados, se prolonga el proceso hasta reunir unos 6 g de suelo y se establece la humedad acorde a la norma MTC E 108.

Paso 4: Se repite, con la otra mitad de la masa, el proceso indicado en el paso 1, 2 y 3.

Teniendo en cuenta al manual MTC E 110, el límite plástico es el promedio de las humedades de ambas determinaciones. Se enuncia como porcentaje de humedad, con aproximación a un entero y se calcula de la siguiente manera:

$$\text{Límite Plástico} = \frac{\text{Peso de agua}}{\text{Peso de suelo secado al horno}} \times 100$$

Para el cálculo del índice de plasticidad de un suelo, se puntualiza como la diferencia entre su límite líquido y su límite plástico.

Índice de plasticidad= Límite Líquido – Límite Plástico.

Donde:

Límite Líquido y Límite Plástico, son números enteros

2.14.3 ENSAYO DE CONTENIDO DE HUMEDAD

En el manual de ensayos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en su ítem MTC E 108, DETERMINACION DEL CONTENIDO DE HUMEDAD DE UN SUELO, cuyo objetivo es instituir el método de ensayo para determinar el contenido de humedad de un suelo. Con referencia en la Norma NTP 339.127, basado en la ASTM D - 2216: “Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.”

Según el MTC E 108 (2016), los equipos a utilizar son: horno de secado termostáticamente controlado y básculas.

Como indica el MTC E 108 (2016), los materiales a utilizar son:

Envases, desecador, utensilios para manipulación de recipientes (guantes, tenazas), otros utensilios (espátulas, cuchillos, cucharas, divisores de muestras, lona para cuarteo, etc.)

De acuerdo con el manual MTC E 108, las muestras serán resguardadas y transportadas de acuerdo a la Norma ASTM D 4220-89 (Practices



for Preserving and Transporting Soil Sample), Grupos de suelos B, C ó D. Las muestras que se almacenen antes de ser sometidas a ensayos se mantendrán en contenedores herméticos no corrosibles a una temperatura entre 3 y 30 °C aproximadamente y en un área que evite el contacto directo con la luz solar. Las muestras perturbadas se almacenarán en receptáculos de tal manera que se evite ó minimice la condensación de humedad en el interior del contenedor. Además, la determinación del contenido de humedad se ejecutará tan pronto como sea posible después del muestreo, especialmente si se utilizan contenedores corrosibles o bolsas plásticas.

Según el manual MTC E-108, para la selección del espécimen de ensayo se sigue los siguientes criterios:

Cuando el espécimen de ensayo es una fracción de una mayor cantidad de material, el espécimen seleccionado será representativo del estado de humedad de la cantidad total de material. La manera en que se seleccione el espécimen de prueba, depende del propósito y aplicación del ensayo, el tipo de material que se ensaya, el estado de humedad, y el tipo de espécimen (de otro ensayo, en bolsa, en bloque, y las demás).

En muestras intactas tales como: tubos, bloques, divididos, muestreadores y otros, el espécimen de ensayo se obtendrá por uno de los siguientes procedimientos dependiendo del propósito y potencial uso de la muestra.

a) Se desbastará diligentemente por lo menos 3 mm de material de la faceta exterior de la muestra para comprobar mediante la visualización, si el material está estratificado y para revolver el material que esté más húmedo o más seco que la fracción principal de la muestra. Luego se desbastará por lo menos 5 mm., o un grosor igual al tamaño máximo de partícula presente, de toda la superficie exteriorizada o del intervalo que esté siendo ensayado.

b) Se trozará el espécimen por la mitad. Luego se desbastará diligentemente por lo menos 5 mm, o un grosor igual del tamaño máximo de partícula presente, de la extensión expuesta de una mitad o el intervalo ensayado. Deberá evitarse el material de los extremos que pueda encontrarse más húmedo o más seco que la fracción principal de la muestra.

Como expresa el manual MTC E 108, los pasos a seguir para realizar el ensayo de contenido de humedad es:



Paso 1: Establecer y registrar la masa de un contenedor seco y limpio (y su tapa si es usada).

Paso 2: Escoger especímenes de ensayo representativos de acuerdo al inciso b) de este ensayo.

Paso 3: Poner el espécimen de ensayo húmedo en el contenedor y, si se usa, colocar la tapa asegurada en su posición. Establecer el peso del contenedor y material húmedo usando una báscula seleccionada de acuerdo al peso del espécimen. Anotar este valor.

Paso 4: Sacar la tapa (si se usó) y colocar el envase con material húmedo en el horno. Secar el suelo hasta lograr una masa constante. Conservar el secado en la estufa a 110 ± 5 °C a menos que se especifique otra temperatura. El tiempo solicitado para conservar peso constante variará dependiendo del tipo de suelo, tamaño de muestra, tipo de estufa, capacidad, y otros componentes. La influencia de estos componentes generalmente puede ser establecida por un buen juicio, y experiencia con los materiales que sean probados y los aparatos que sean utilizados.

Paso 5: Luego que el suelo se haya secado a peso constante, se removerá el envase del horno (y se le coloca la tapa si se usó). Se accede al enfriamiento del material y del envase a temperatura ambiente o hasta que el envase pueda ser maniobrado cómodamente con las manos y la acción del balance no se afecte por corrientes de convección y/o esté siendo calentado. Establecer el peso del envase y el material secado a la estufa usando la misma báscula usada en este ensayo. Anotar este valor. Las tapas de los envases se usan si se presume que la muestra está absorbiendo humedad del aire antes de la determinación de su peso seco.

2.14.4 ENSAYO DE CORTE DIRECTO

De acuerdo al manual MTC E 123 - 2016, basado en la norma ASTM D-3080: “Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. ” y AASHTO T-236.

En el manual de ensayos del Ministerio de Transportes y Comunicaciones, en su ítem MTC E 123, CORTE DIRECTO (CONSOLIDADO DRENADO), cuyo objetivo es constituir el procedimiento de ensayo para determinar la resistencia



al corte de una muestra de suelo consolidada y drenada, por el método del corte directo.

Según el MTC E 123 (2016), los equipos a utilizar son:

- Dispositivo de carga.
- Piedras porosas.
- Dispositivo para la aplicación de la fuerza de corte.
- Dispositivo para la aplicación de la fuerza normal.
- Cuarto húmedo.
- Equipo para el corte de la muestra.
- Base de la caja de corte.
- Balanza.
- Horno o Estufa de secado.
- Envases para muestras de humedad.
- Equipo para la compactación de probetas.
- Misceláneos. Incluyen: sierra de alambre, cronómetro, espátula, cuchillos, enrasadores, agua destilada y demás elementos necesarios.

Como indica el MTC E 123 (2016), la preparación del espécimen es:

- Si se usa una muestra inalterada, debe ser bastante grande para proveer un mínimo de tres muestras idénticas.
- Las muestras inalteradas deberán ser preservadas y transportadas como se detalla para las muestras de los grupos C o D según Práctica MTC E 104.
- La preparación de la muestra debe efectuarse de tal modo que la pérdida de humedad sea intrascendente.
- La muestra se talla sobre medida para las dimensiones del dispositivo de corte directo.
- Para muestras inalteradas de suelos sensibles, debe tenerse excesivo cuidado al labrar las muestras, para evitar la alteración de su disposición natural.
- Se establece el peso inicial de la muestra para el cálculo posterior del contenido inicial de humedad de acuerdo con la norma MTC E 108.
- Si se usan muestras de suelos compactados, la compactación debe hacerse con los ambientes de humedad y peso unitario deseados. Se puede hacer directamente en el dispositivo de corte, en un molde de extensiones iguales a las del dispositivo de corte o en un molde más grande para recortarlas de acuerdo



con lo indicado en este ensayo. El pisón utilizado para compactar el material deberá tener un área de contacto con el suelo igual ó menor a la mitad del área del molde. El suelo requerido para el espécimen será combinado con suficiente agua para originar el contenido de humedad deseado. Se debe permitir al espécimen estar listo antes de la compactación, de acuerdo a la guía mostrada en la tabla 2-9:

Tabla 2-9. Guía para determinar el tiempo mínimo de reposo.

Clasificación D2487	Tiempo mínimo de reposo (h)
SW, SP	No requiere
SM	3
SC, ML, CL	18
MH, CH	36

Fuente: MTC E 123, 2016.

- El diámetro mínimo de especímenes circulares o el ancho mínimo para especímenes rectangulares debe ser alrededor de 50mm (2"). Para minimizar las alteraciones ocasionadas por el muestreo, el diámetro de las muestras conseguidas de tubos saca muestras debe ser, por lo menos, 5mm (1/5") menor que el diámetro del tubo.
- El grosor mínimo de la muestra de ensayo, debe ser alrededor de 12 mm (1/2"), pero no menor de un sexto el tamaño máximo de las partículas del suelo.
- La relación mínima diámetro/espesor o ancho/espesor, según la muestra, debe ser 2:1.

Como indica el MTC E 123 (2016), la calibración del espécimen es:

- Se articula el dispositivo de corte directo (sencillo) con un disco metálico de calibración, de espesor igual al del espécimen de ensayo deseado y alrededor de 5mm (1/5 ") menor en diámetro.
- El dispositivo de corte doble, necesita dos discos de calibración.
- Se emplea la fuerza normal igual a la fuerza que se va a utilizar en el ensayo y se instala el indicador de desplazamiento normal. Se ajusta este indicador de tal modo que pueda utilizarse para medir tanto lecturas de consolidación como de expansión.



- Se anota la lectura del indicador de deformación normal, como una futura referencia para establecer, tanto el espesor de la muestra de ensayo, como la deformación desarrollada por el conjunto.
- Luego, se saca el disco de calibración. Se puede aceptar cualquier otro método que permita la calibración exacta del aparato.

Como indica el MTC E 123 (2016), los pasos a seguir se dividen en dos etapas; ensamblaje de la caja de corte y ejecución del ensayo:

Pasos a seguir para el ensamblaje de la caja de corte:

- a) Espécimen inalterado.- Poner las piedras porosas húmedas sobre los extremos expuestos de la muestra en la caja de corte; poner la caja de corte conteniendo la muestra inalterada y piedras porosas en el soporte de la caja de corte y ajustar la misma.
- b) Espécimen compactado.- Poner la caja de corte conteniendo la muestra compactada y piedras porosas insertadas en la base de la caja de corte y sujeto a la caja de corte.

Pasos a seguir para la ejecución del ensayo:

Paso 1: Se encaja la caja de corte con los marcos alineados y se bloquea. Se aplica una capa de grasa entre los marcos para lograr impermeabilidad durante la consolidación y disminuir la fricción durante el corte. Pueden también usarse espaciadores o superficies recubiertas con tetrafluoretilenofluoruro carbono, para disminuir la fricción durante el corte.

Paso 2: Se introduce la muestra de ensayo con mucho cuidado. Se enlaza el dispositivo de carga y se ajusta el dial para medir tanto la deformación durante el corte, como el cambio del espesor de la muestra y luego se determina el espesor inicial.

Para muestras inalteradas obtenidas bajo el nivel freático, deben humedecerse las piedras.

Para suelos expansivos se debe humedecer después de la aplicación de la fuerza normal, para evitar expansiones que no son representativas de las circunstancias de campo.

Paso 3: Se debe admitir una consolidación inicial de la muestra bajo una fuerza normal adecuada. Luego de aplicar la fuerza normal predeterminada, se llena el depósito de agua hasta un nivel por encima del espécimen, permitiendo el



drenaje y una nueva consolidación de la misma. El nivel del agua se debe conservar durante la consolidación y en las fases siguientes de corte de tal modo que la muestra esté saturada en todo momento.

Paso 4: La fuerza normal que se aplique a cada una de las muestras depende de la información solicitada.

Un solo incremento de ella puede ser adecuado para suelos relativamente firmes. Para los demás suelos pueden ser obligatorios varios incrementos con el objeto de prevenir el daño de la muestra o espécimen.

Paso 5: Durante el proceso de la consolidación deben anotarse las lecturas de deformación normal, en tiempos adecuados, antes de aplicar un nuevo acrecentamiento de la fuerza.

Paso 6: Cada acrecentamiento de la fuerza normal debe durar hasta que se complete la consolidación primaria.

El acrecentamiento final debe completar la fuerza normal especificada.

Paso 7: Se representan mediante un gráfico las lecturas de la deformación normal contra el tiempo.

Paso 8: Corte de la muestra. Luego de finalizada la consolidación se deben soltar los marcos apartándolos aproximadamente 0,25mm (0,01"), para permitir el corte de la muestra.

Se debe aplicar la fuerza de corte lentamente para lograr la disipación completa del exceso de presión de poros.

En el ensayo con control de deformaciones, la velocidad de aplicación de cargas puede determinarse, aproximadamente, dividiendo la deformación estimada de corte, durante el esfuerzo máximo de corte, por el tiempo calculado para la falla. Se continúa el ensayo hasta que el esfuerzo de corte sea constante, o hasta que se logre una deformación del 10% del diámetro o de la longitud original.

En el ensayo con control de esfuerzos, se comienza con incrementos de la fuerza de corte de aproximadamente un 10 % de la máxima estimada.

Antes de aplicar un nuevo incremento, se permitirá por lo menos un 95 % de consolidación bajo el incremento anterior.

Cuando se ha aplicado del 50% al 70% de la fuerza de falla estimada, los nuevos incrementos serán de la mitad del valor de los aplicados hasta ese momento, o sea el 5% de la máxima fuerza de corte.



En la proximidad de la falla, los incrementos de la fuerza pueden ser iguales a un cuarto del incremento inicial (2,5 % de la fuerza normal de corte estimada).

Se debe llevar registro de la fuerza de corte aplicada y la deformación normal y de corte para intervalos convenientes de tiempo. Con preferencia, el incremento de la fuerza de corte debe ser continuo.

Terminado el ensayo, se remueve la muestra completa de la caja de corte, se seca en la estufa y se determina el peso de los sólidos.

2.15 CÁLCULOS A REALIZAR EN GABINETE

2.15.1 CAPACIDAD DE CARGA

La capacidad de carga se define como la carga por unidad de área bajo la fundación bajo la cual se produce la falla por corte, es decir es la mayor presión unitaria que el suelo puede llegar a resistir sin llegar al estado plástico. (Amézquita Jimenez, Jalixto Cuyo, & Pampas Quiroga)

TEORÍAS DE CAPACIDAD DE CARGA

Para adaptar la mecánica de suelos, se toma en cuenta los resultados de la Mecánica del Medio Continuo en la teoría de Terzaghi y a partir de la mencionada teoría; se generaron otras teorías como las de Prandtl, Hill, Skempton, Meyerhof, etc.

Por ello, para el cálculo de capacidad de carga se toma en cuenta

Las **teorías de Terzagui, Meyerhof y Vesic** con las siguientes consideraciones:

1. Factor de seguridad $FS=3$
2. Criterio de falla progresiva
3. Profundidad mínima de fundación del proyecto
4. Posibilidad de saturación accidental del suelo de fundación.

Las expresiones de cálculo de capacidad de carga corresponden a las **Teorías de Terzagui, Meyerhof y Vesic** y son:

Teoría de Terzaghi

Terzagui (1943) fue el primero en presentar un teoría para evaluar la capacidad última de carga de cimentaciones superficiales, la cual indica que una



cimentación es superficial si la profundidad D_f de la cimentación es menor o igual al ancho de la misma.

Esta teoría cubre el caso más general, se aplica a suelos con cohesión y fricción, y su ley de resistencia al corte es:

$$\tau = c + \sigma \times \operatorname{tg} \varphi \quad \text{Ecuación 2-22}$$

Donde:

φ = Angulo de fricción

τ = Esfuerzo cortante

c = Cohesión del terreno en cimentación.

$\operatorname{Tg} \varphi$ = Tangente del ángulo φ .

Se supone una carga de tipo repartida de modo uniforme y lineal; es decir, como zapata continua.

Luego, se desprecia la resistencia al corte del suelo situado sobre la profundidad de fundación D_f al que se supone como una sobrecarga actuando sobre la fundación:

$$q = \gamma \times D_f \quad \text{Ecuación 2-23}$$

Donde:

q = Carga

γ = Peso específico del suelo

D_f = Profundidad del desplante.

La capacidad de carga resulta:

$$q_c = cN_c + qN_q + 0.5\gamma B N_\gamma \quad \text{Ecuación 2-24}$$

Donde:

q_c = Carga de falla

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga.

q = Sobre carga efectiva

B = Ancho de la zapata.

Los factores de capacidad de carga son adimensionales y son función del ángulo de fricción interna φ .

Teoría de Meyerhof

La capacidad de carga se calcula mediante la fórmula de la ecuación 2-25:



$$q_{cu} = C \times N_c \times F_{cs} \times F_{cd} \times F_{ci} + q \times N_q \times F_{qs} \times F_{qd} \times F_{qi} + 0.5 \times B \times \gamma \times N_\gamma \times F_{\gamma s} \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i}$$

-----Ecuación 2-25

Donde:

q_{cu}= Carga de falla

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga.

q= Sobre carga efectiva

B= Ancho de la zapata.

F_{cs}, F_{qs}, F_{γs} = Factores de forma

F_{cd}, F_{qd}, F_{γd} = Factores de profundidad

F_{ci}, F_{qi}, F_{γi} = Factores de inclinación de la carga

Teoría de Vesic

La capacidad de carga se calcula mediante la fórmula de la ecuación 2-26:

$$q_{cu} = C \times N_c \times F_{cs} \times F_{cd} \times F_{ci} \times F_{cc} + q \times N_q \times F_{qs} \times F_{qd} \times F_{qi} \times F_{qc} + 0.5 \times B \times \gamma \times N_\gamma \times F_{\gamma s} \times F_{\gamma d} \times F_{\gamma i} \times F_{\gamma c}$$

-----Ecuación 2-26

Donde:

q_{cu}= Carga de falla

N_c, N_q, N_γ = Factores de capacidad de carga.

q= Sobre carga efectiva

B= Ancho de la zapata.

F_{cs}, F_{qs}, F_{γs} = Factores de forma

F_{cd}, F_{qd}, F_{γd} = Factores de profundidad

F_{ci}, F_{qi}, F_{γi} = Factores de inclinación de la carga

2.15.2 ASENTAMIENTOS

Para calcular los asentamientos se tomó en cuenta los Métodos de Cálculos de Asentamientos que se muestran en la tabla 2-10.

Tabla 2-10. Tipo de asentamiento a evaluar.

Tipo de Asentamiento	Método	Aplicación
Inmediato	Elástico	Arenas, Gravas, Suelos no saturados, Arcillas duras y Rocas
Inmediato	Meyerhof	Arenas, Gravas y similares
Inmediato	Prueba de carga	Arenas, Gravas, Suelos no saturados, Arcillas duras y Rocas
Consolidación Primaria	Teoría de la consolidación	Arcillas blandas a medias saturadas
Consolidación Primaria y Secundaria	Ídem	Arcillas blandas a muy blandas, turbas y suelos orgánicos y similares

Fuente: Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE) E.050.

El Asentamiento total (S_t) se calcula con la fórmula, de la ecuación 2-27:

$$S_t = S_i + S_{cp} + S_{cs} \quad \text{Ecuación 2-27}$$

Donde:

S_i = Asentamiento Inmediato

S_{cp} = Asentamiento por Consolidación primaria

S_{cs} = Asentamiento por Consolidación secundaria.

En arenas, gravas, arcillas duras y suelos no saturados en general $S_t \approx S_i$

En arcillas saturadas $S_t \approx S_{cp}$

En suelos de gran deformabilidad como turbas y suelos orgánicos $S_t \approx S_{cp} + S_{cs}$

En caso de suelos granulares el Asentamiento inmediato es igual al Asentamiento total.

En el caso de suelos cohesivos el Asentamiento total es igual a la suma del asentamiento inmediato y el asentamiento por consolidación primario y secundario.

El asentamiento inmediato en el centro de la zapata; que es el caso más crítico, se calcula con la ecuación 2-28:

$$S = 2 \times q_a \times B \times \frac{1-u^2}{E} \times N \quad \text{Ecuación 2-28}$$

Donde:

S: Asentamiento inmediato

q_a : Carga ultima admisible



B: Ancho de la zapata

u: Coeficiente de Poisson

E: módulo de Young

N: Factor de influencia

El asentamiento inmediato en las esquinas de la zapata, se calcula con la ecuación 2-29:

$$S = 2 \times qa \times B \times \frac{1-u^2}{E} \times N \quad \text{Ecuación 2-29}$$

Donde:

S: Asentamiento inmediato

qa: Carga ultima admisible

B: Ancho de la zapata

u: Coeficiente de Poisson

E: Módulo de Young

N: Factor de influencia



CAPÍTULO 3. RECOPIACIÓN DE INFORMACIÓN E INTERPRETACIÓN

3.1 INTRODUCCIÓN

En este capítulo se aborda el levantamiento de las edificaciones de adobe evaluadas, y los ensayos necesarios que se realizaron en diferentes laboratorios, para determinar las propiedades mecánicas de los materiales utilizados en la construcción de la viviendas, y de los tipos de suelos encontrados en la zona urbana del distrito de Chinchero.

3.2 EVOLUCIÓN URBANA DE CHINCHERO

De acuerdo con el CGPA (2011), la evolución urbana de Chinchero se divide en varias etapas por años, y ha tenido una consolidación progresiva, ocurriendo hechos importantes en cada una de las etapas de la ocupación, los cuales condicionaron el proceso de evolución de la zona urbana de Chinchero hasta la actualidad. Para explicar el desarrollo de la evolución urbana se consideran las épocas Pre Inca, Inca, Colonial, Republicana y contemporánea; las cuales se desarrollan a continuación:

PRIMERA ETAPA - ÉPOCA PRE INCA:

El CGPA (2011) indica que la primera ocupación se da por los Killkes, de los cuales quedan como evidencia diversos restos arqueológicos localizados a lo largo del territorio provincial.

Con el inicio de las excavaciones arqueológicas, realizadas en el Parque Arqueológico de Chinchero se han encontrado evidencias de ocupación Killke; esta sería la primera ocupación antes de la llegada de los incas la base de la economía de la cultura pre-inca habría sido las actividades de pastoreo y agrícola. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

LA ÉPOCA INCA:

Como expresa el CGPA (2011), los palacios de Chinchero corresponden a la fundación del Inca Tupac Yupanqui, al mandar a construir el pueblo de Chinchero, Tupac Inca Yupanqui tuvo especial cuidado en la planificación y el tratamiento de



la arquitectura, particularmente con los acabados y el patrón a edificar, para ello convocó a los mejores alarifes y maestros de la región del Tawantinsuyo, para ejecutar los diferentes trazos y diseños urbanísticos del poblado de Chinchero, considerando que se trataba de una residencia para la élite social inca.

SEGUNDA ETAPA - ÉPOCA COLONIAL:

Los estudios arqueológicos realizados por la Misión Española señalan hechos referidos a readaptaciones y reocupaciones comprobadas arqueológicamente en el sector de las habitaciones, la plaza, el atrio y la iglesia. Básicamente las reocupaciones de espacios de filiación inca, durante la época colonial fueron para aprovechar las estructuras en la construcción del templo principal, que originó las alteraciones del contexto arquitectónico, especialmente en los lugares sacros. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

TERCERA ETAPA - ÉPOCA REPUBLICANA:

Chinchero no cuenta con una historia importante después de la Independencia de Perú de 1821.

Según el CGPA (2011), la imagen y la estructura urbana del poblado no muestran cambios sustanciales. De acuerdo al relato de George squier en 1877, quien visitó el poblado de Chinchero en su recorrido hacia el valle de Yucay, describió características del centro poblado, este relato ha permitido comprender que Chinchero no habría sufrido cambios ya que a la fecha se mantienen todas las consideraciones mencionadas; además que este relato fue acompañado de un gráfico, documento único, no existe otro tipo de documentación que pudiera dar más luces sobre lo que fue el siglo XIX.

CUARTA ETAPA 1950 – 1980

El CGPA (2011) sostiene que Chinchero se crea por Ley N° 59 de fecha 09 de Setiembre del año 1905 y es elevada a la categoría de pueblo por Ley 12301 del 03 de Mayo del año 1955. Es en este periodo en el que se presentan cambios sustanciales, se conforma el nuevo manzanejo para el crecimiento del centro poblado, en el año de 1980 se realiza el asfaltado de la carretera principal, lo que determinó la ocupación de viviendas en este nuevo eje, generando la aglomeración



de actividades comerciales y servicios en torno a este eje, ocasionando el abandono de algunas viviendas del centro histórico.

QUINTA ETAPA- ÉPOCA ACTUAL:

Como expresa el CGPA (2011) esta etapa corresponde aproximadamente desde 1990 hasta la actualidad, y el crecimiento de la población continúa en torno al eje de la vía principal lo que define una trama irregular inorgánica, se continua con los trabajos de pavimentación de algunas calles importantes como la calle Garcilazo, donde se establece una zona de crecimiento espontaneo de trama irregular, aglomerando algunas actividades comerciales y de servicios. Posteriormente con la pavimentación de la Av. Querapata se genera la ocupación de este eje, Es claro observar la influencia que tienen las vías principales para la ocupación espacial del centro poblado y generar un crecimiento longitudinal, Chinchero crece de manera espontánea y desordenado desde hace más de diez años, actualmente se viene ocupando las zonas continuas a los ejes viales con una deficiente cobertura de servicios básicos y de equipamiento urbano; además la ausencia de habilitación urbana en zonas de expansión, sin respeto a la propuesta de ordenamiento planteada por el Ministerio de Vivienda en coordinación con la municipalidad distrital de Chinchero.

La Construcción del Aeropuerto Internacional de Chinchero, es un proyecto de envergadura nacional e internacional que generará fuerte impacto en la zona urbana, es importante tomar en cuenta que el diseño del proyecto está previsto para que ocupe terrenos de las comunidades de Yanacona y Ayllopongo, es por esta razón, que a raíz de la expropiación de terrenos que realizó el Ministerio de Transportes y Comunicaciones (MTC) para la construcción del aeropuerto; los comuneros que vendieron sus terrenos obtuvieron capital para invertir, y ahora empiezan a levantar edificaciones en las inmediaciones de la Av. Mateo Pumacchua.

En la figura 3.1 se observa las ocupaciones que se dieron en la zona urbana del distrito de Chinchero.

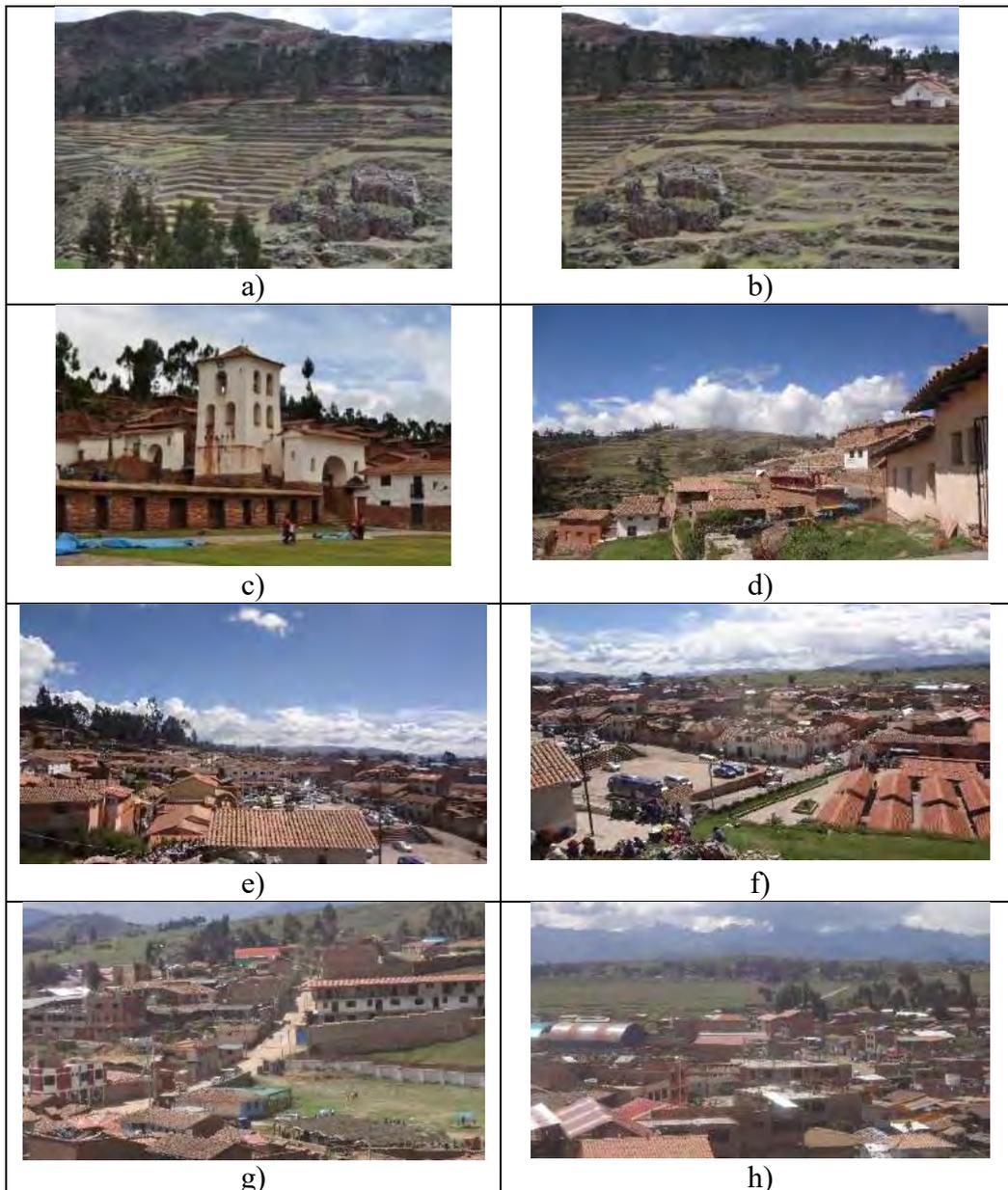


Figura 3.1. Evolución Urbana de Chinchero al año 2019, a) PRIMERA OCUPACIÓN: Andenería, b) PRIMERA OCUPACIÓN: Plaza capellanpampa, c) SEGUNDA OCUPACIÓN: Sobre estructura inca, d) SEGUNDA OCUPACIÓN: Viviendas con sobre cimientos incas sector Cuper Pueblo, e) TERCERA OCUPACIÓN: Zonas aledañas al centro histórico (sector Tambocancha), f) TERCERA OCUPACIÓN: Zonas aledañas al centro histórico (sector Tambocancha), g) CUARTA OCUPACIÓN: Trama irregular ocupación en el eje vial de la Av. Querapata, h) QUINTA OCUPACIÓN: Crecimiento longitudinal de Chinchero eje Chinchero Urubamba. Fuente: CGPA 2011, fotografías propias, 2019.

Es importante resaltar que la zona urbana presenta una nueva plaza principal; donde en áreas circundantes se encuentran infraestructuras institucionales y de servicios; como el Puesto de Salud CLASS Chinchero, las instituciones educativas y mercado central, además; se tienen vías relevantes como la carretera principal Cusco Chinchero (Av. Mateo Pumacchahua), la Av. Garcilaso y la Av. Querapata sobre las cuales se han ido construyendo más edificaciones; en su mayoría de concreto armado. Otro eje importante que conecta los sectores este y oeste de la zona urbana

del distrito de Chinchero, es la Calle Manco Segundo, en cuyo eje se desarrollan importantes actividades comerciales, y también existen vías de menor orden que comunican a los sectores y comunidades aledañas.

3.3 TIPOLOGÍA DE LAS EDIFICACIONES

El resultado de las diferentes formas de ocupación del territorio, la topografía del lugar, la traza urbana, la cobertura de servicios, la tipología de servicios y las condiciones físicas naturales permiten identificar cuatro sectores claramente diferenciados en cuanto a la morfología urbana y a la tipología de las edificaciones. Estos sectores se detallan a continuación:

Sector A: Ubicada al noreste del centro poblado, el núcleo central con trama reticular en damero, se ha adecuado a la topografía del terreno, manteniendo sus características originales, la tipología predominante de viviendas son edificaciones hechas en adobe de uno y dos niveles, con carpintería de madera y/o metal y cubiertas de teja artesanal. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

La estructura vial presenta homogeneidad en cuanto se refiere a secciones de vías, aun se puede observar las calles estrechas que le dan cierta particularidad al núcleo central. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

Como expresa el CGPA (2011), el uso predominante es residencial; sin embargo existen algunas calles principales donde las viviendas han sido modificadas con el fin de poner negocios de venta de artesanía, textilería destinados al turismo.

La representación gráfica de este sector se puede observar en la figura 3.2.

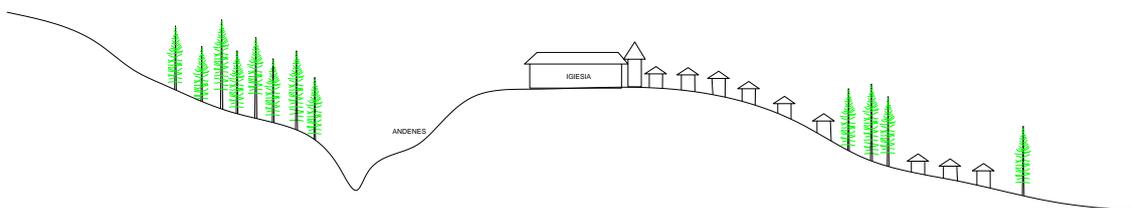


Figura 3.2. Representación morfológica y tipología de edificaciones del sector A. Fuente CGPA, 2011.

Sector B: Ubicado de forma contigua al núcleo inicial, en este sector existe un intento por continuar con el damero inicial; sin embargo con el inicio del nuevo manzaneo de mayores dimensiones, se va perdiendo la retícula original; además de que se da la ocupación de manera longitudinal en torno a las nuevas vías

pavimentadas. La tipología de las viviendas es predominantemente de dos niveles en adobe con carpintería de madera; sin embargo estas edificaciones presenta una nueva tipología, incluyen nuevos elementos de composición como balcones, balconillos, rejas de seguridad en ventanas puertas, existe predominancia de viviendas en material de concreto de dos, tres y cuatro niveles, especialmente las que se encuentran ubicadas en las vías principales, rompiendo con las características tipológicas del contexto urbano predominante, el uso actual de este sector es residencial y con uso comercial en los ejes principales de circulación. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

La representación gráfica de este sector se puede observar en la figura 3.3.

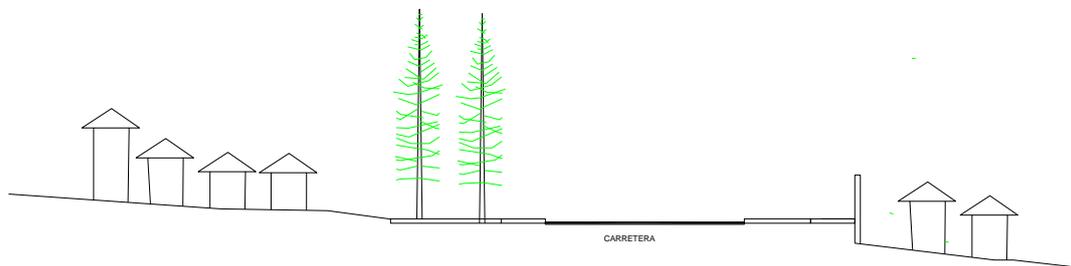


Figura 3.3. Representación de morfología y tipología estructural del sector B. Fuente CGPA, 2011.

Sector C: Este sector presenta por zonas una retícula regular; sin embargo esta ocupación continua siendo a lo largo de la carretera principal y de las vías más importantes del centro poblado, lo que origina un crecimiento inorgánico, la topografía de este sector es de menor pendiente a diferencia de los anteriores, la infraestructura vial es de varios tipos y secciones, que son de uso vehicular y peatonal. Las tipologías constructivas son predominantemente de adobe de uno y dos niveles, con la inclusión de diferentes elementos de composición en las fachadas, las cuales difieren del núcleo central, el uso predominante es residencial y con uso comercial como centros artesanales en los ejes principales de circulación. Este sector se caracteriza por el menor grado de consolidación, existiendo manzanas que no están siendo ocupadas, y que continúan siendo áreas agrícolas, que recientemente están siendo emplazados con edificaciones nuevas, en su mayoría de concreto. (Centro Guaman Poma de Ayala, 2011)

La representación gráfica de este sector se puede observar en la figura 3.4.

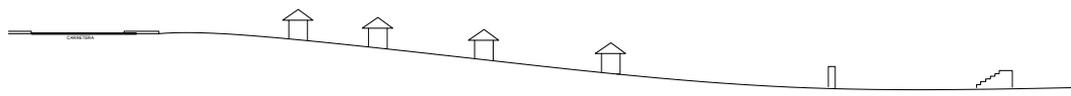


Figura 3.4. Representación de morfología y tipología edilicia en el sector C. Fuente CGPA, 2011.

Sector D: Corresponde al sector de la parte alta de Querapata, la topografía de este sector es de pendiente alta, la tipología de las viviendas es de adobe de dos pisos con carpintería de madera y metal. La infraestructura vial es de uso vehicular y peatonal, este sector es en su mayoría residencial, con algunos comercios de centros artesanales en torno a la Av. Querapata.

Para el presente trabajo de investigación, se realizó un estudio para determinar la tipología de las edificaciones, por número de niveles, y por material de construcción. Esto se detalla en el anexo C, Plano N° 03: Tipología de edificaciones por material de construcción y Plano N° 04 Tipología de edificaciones por número de niveles, en resumen se tiene lo observado en las tablas 3-1 y 3-2.

Tabla 3-1. Tipología de las edificaciones encontradas.

MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	MATERIAL DE CONSTRUCCIÓN	
	ADOBE	CONCRETO ARMADO (C° A°)
NÚMERO DE NIVELES		
Un piso	164	51
Dos pisos	651	265
Tres pisos	1	37
Más de cuatro pisos	0	7
Total de viviendas	816	360
TOTAL: Adobe+ [Concreto Armado]		1176

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 3-2 Material predominante en las edificaciones encontradas.

TIPO DE MATERIAL	ZONA URBANA	PORCENTAJE	ADOBE y C°A°	PORCENTAJE
CONCRETO	360	24%	360	31%
ADOBE	816	54%	816	69%
TSC-BALDIO ⁴	323	22%		
TOTAL DE PREDIOS	1499	100%	1176	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

⁴ TSC-Baldío: Terreno sin Construcción.



En la tabla 3-2, se puede ver que las edificaciones de adobe en la zona urbana del distrito de Chinchero, son 816, que representa el 69% de edificaciones existentes en la zona urbana.

3.4 SELECCIÓN Y REGISTRO DE LAS CARACTERÍSTICAS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES DE ESTUDIO

Para el presente estudio se estudiaron las edificaciones en las que los propietarios permitieron accesibilidad para tomar las medidas correspondientes y realizar el estudio de suelos.

3.4.1 SELECCIÓN DE LAS EDIFICACIONES DE ESTUDIO

Se evaluó un total de 20 viviendas, de las 816 viviendas de adobe existentes en la zona de estudio, distribuidas lo más posible en toda la zona urbana. La ubicación de las viviendas se presenta en el Anexo C: Plano N° 05: Plano de ubicación de las viviendas encuestadas. Donde se encuentran edificaciones de adobe en las vías principales y en vías secundarias.

La selección de las edificaciones no responde a un orden lógico, es más bien una muestra de las viviendas de las cuales sus dueños accedieron a que se realice el levantamiento. Es decir, viviendas accesibles, dado que muchos propietarios se negaron a que se ingrese a sus viviendas a realizar las mediciones respectivas.

Para facilitar la organización de los datos obtenidos, se dividió la zona urbana en cuatro zonas, que se dieron de acuerdo a la evolución urbana del distrito de Chinchero.

En la **zona A**, que abarca desde Calle Cahuide hasta Nuevo Triunfo; por la Av. Mateo Pumacahua, donde se evaluaron cinco **(5) viviendas**, En la **zona B**, que abarca desde Manantial hasta Calle Cahuide, donde se evaluaron seis **(6) viviendas**. En la **zona C**, que abarca desde Allpachaca, hasta Manantial, donde se evaluaron ocho **(8) viviendas**. y en la **zona D**, que abarca desde Calle Cahuide hasta Nuevo Triunfo; por la Av. Querapata, donde se evaluó una **(1) vivienda**. La distribución de las viviendas encuestadas en sus respectivas zonas se observa en la figura 3.5.

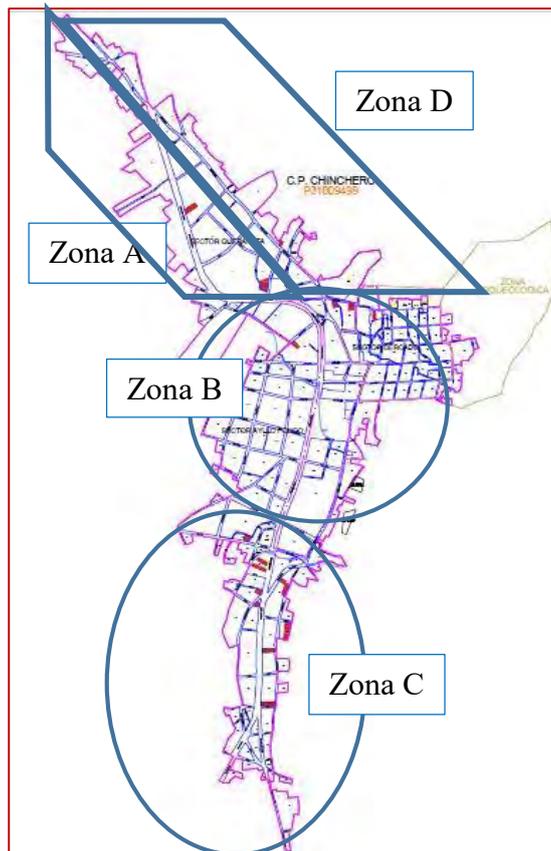


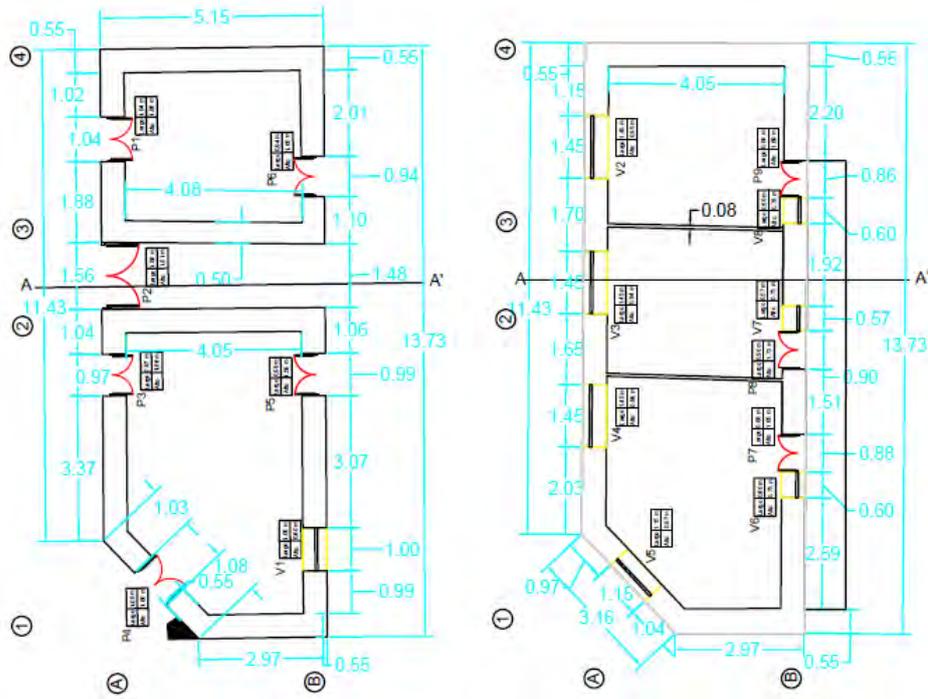
Figura 3.5. Zonas donde se evaluó las viviendas. Fuente: Elaboración Propia, 2019.

3.4.2 PLANOS Y CROQUIS DE LAS EDIFICACIONES

Para la obtención de los planos y croquis de las edificaciones de adobe estudiadas, se tuvo que ir a las viviendas y obtener el permiso⁵ de los dueños, para así poder realizar las mediciones necesarias, y luego se dibujó los planos en el programa AutoCAD.

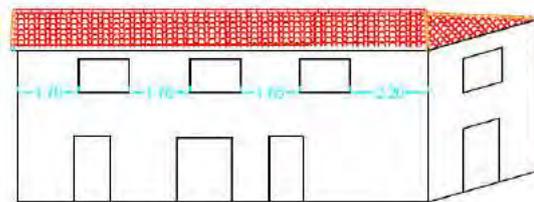
Los planos y croquis de las edificaciones se muestran en el anexo D, Fichas de encuesta y reporte; donde se incluyen los planos de cada edificación encuestada además de sus respectivas imágenes. Para dar una idea de cómo se hizo el levantamiento, en las figuras 3.6, 3.7 y 3.8 se muestran los obtenidos de algunas de las viviendas.

⁵ El permiso se dio de manera verbal.

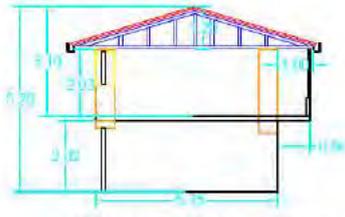


PRIMERA PLANTA

SEGUNDA PLANTA



FACHADA



CORTE LONGITUDINAL A A'

Figura 3.6. Plano en Planta y elevación de la vivienda N° 03, ubicada en la zona C. Fuente: Elaboración propia, 2019.

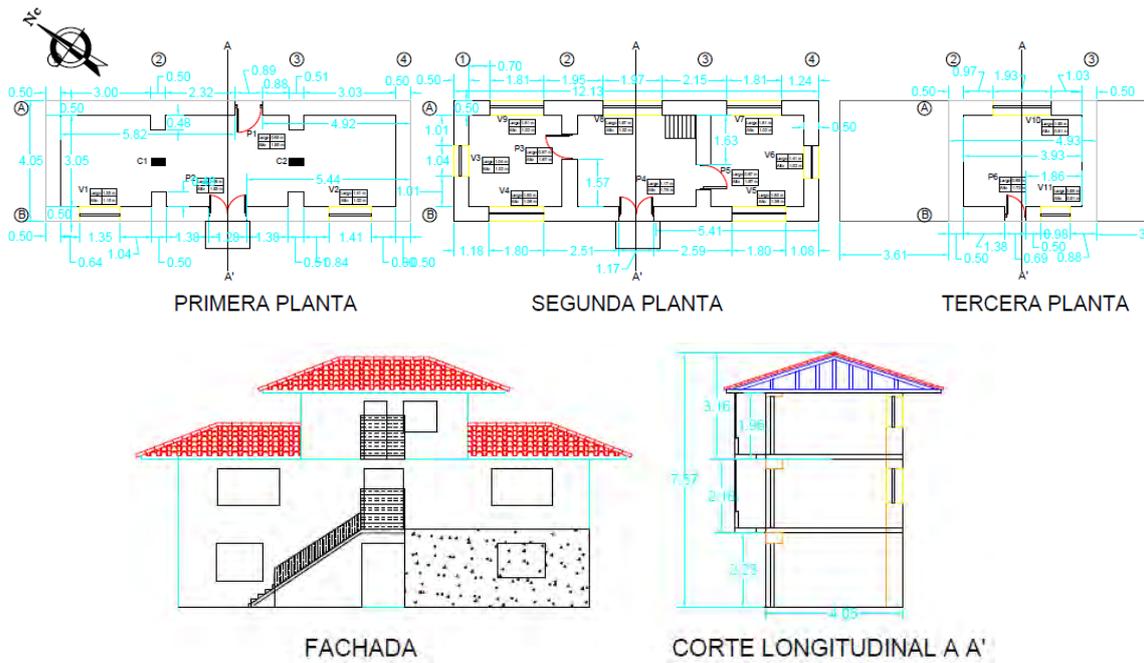


Figura 3.7. Plano en planta y elevación de la vivienda N° 05, ubicada en la zona A. Fuente: Elaboración propia, 2019.

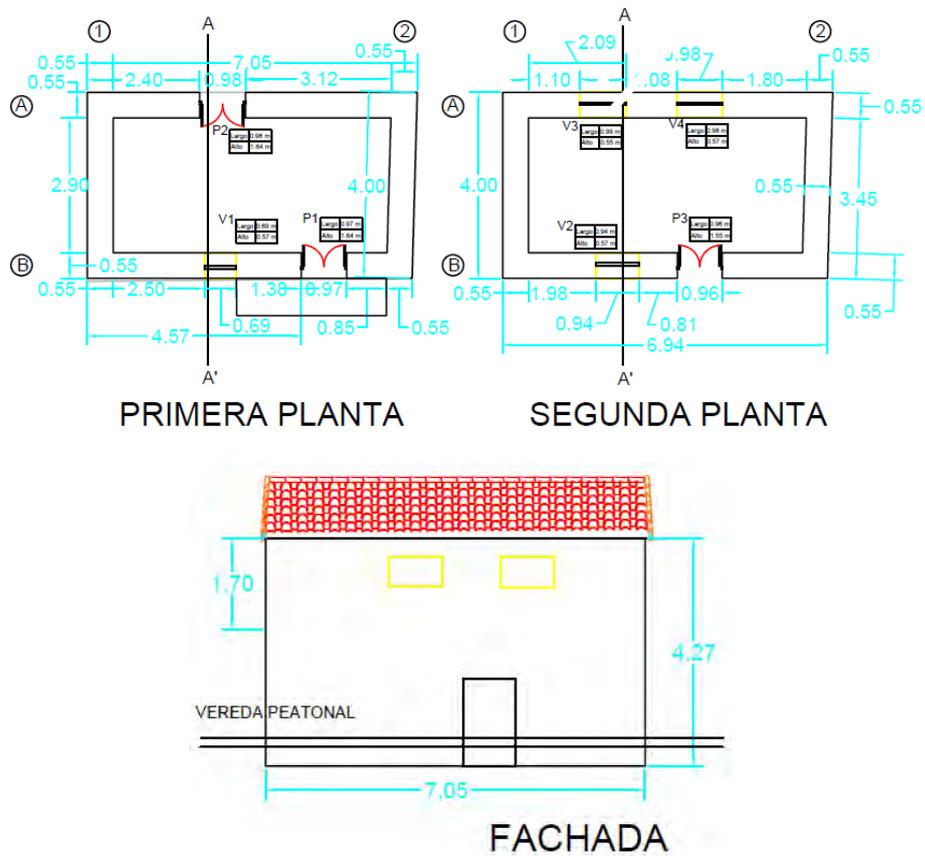


Figura 3.8. Plano en planta y elevación de la vivienda N° 15, ubicada en la zona B. Fuente: Elaboración propia, 2019.



3.4.3 FORMULARIO DE LEVANTAMIENTO PARA CÁLCULO DE ÍNDICE DE VULNERABILIDAD DE EDIFICACIONES ENCUESTADAS

El análisis del comportamiento de edificios, durante terremotos ocurridos desde el año 1976 en diferentes regiones de Italia, ha permitido a los investigadores de este país identificar algunos de los parámetros más importantes que controlan el daño en los edificios. Estos parámetros se han compilado en un formulario de levantamiento, el cual se viene utilizando desde el año 1982, con el propósito de determinar de una forma rápida y sencilla la vulnerabilidad sísmica de edificios existentes. (Rodríguez Zavaleta & Sardon Morveli, 2005)

Los 11 parámetros que se utilizan para el cálculo del índice de vulnerabilidad, tienen una clasificación de A, B, C y D en cada parámetro, de acuerdo a las características arquitectónicas y estructurales de la edificación en evaluación.

Los formularios de levantamiento, o fichas de registro y reporte se muestran en el Anexo D: Fichas de encuesta y reporte, en el cual se encuentran las fichas de encuesta y reporte de las 20 viviendas encuestadas.

3.4.4 DESCRIPCIÓN DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES

A través de una visualización de toda la ciudad, realizada durante la etapa de trabajo de campo, se pudo observar los siguientes sistemas estructurales: Sistema estructural de adobe entabado y Concreto armado, además del sistema de concreto aporticado. El sistema estructural de concreto armado es híbrida, entre la albañilería confinada y el sistema de concreto aporticado con tabiques de relleno. Esto se puede evidenciar en las figuras 3.9 y 3.10 y 3.11.



Figura 3.9. Viviendas de adobe, en la Av. Garcilaso. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 3.10 Sistema híbrido de construcción entre albañilería confinada y sistema aporticado. Fuente: propia, 2019.

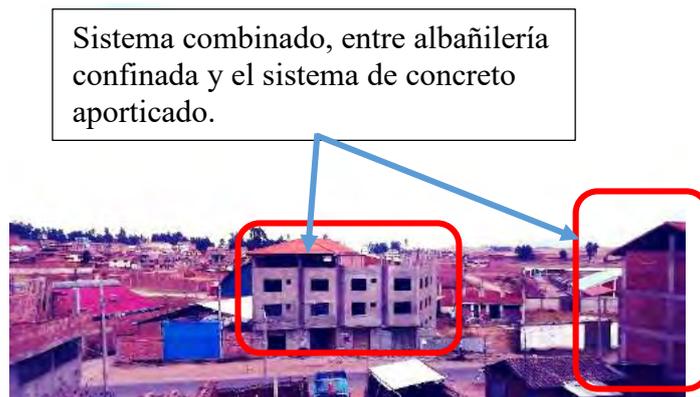


Figura 3.11. Viviendas de albañilería confinada y sistema aporticado. Fuente: Elaboración propia, 2019.

El sistema de concreto aporticado se presenta en las edificaciones de instituciones pertenecientes al estado, en su mayoría nuevas. Esto se observa en la figura 3.12.



Figura 3.12 Edificaciones institucionales de concreto armado, sistema aporticado

3.4.5 DISTRIBUCIÓN ESPACIAL DE LOS SISTEMAS ESTRUCTURALES ENCONTRADOS

Se hizo un recorrido por todo el centro urbano para tipificar y ubicar las viviendas por el sistema estructural encontrado. Entre los cuales se destacó la clasificación por tipo de material predominante y por el número de niveles de las edificaciones.

Todo ello se observa en Anexo C: Planos, Plano n° 06: Plano de Distribución espacial de los sistemas estructurales encontrados., donde se observa los tres tipos de sistema estructural encontrados en la zona urbana del distrito de Chinchero.

3.4.6 DESCRIPCIÓN DE CARACTERÍSTICAS ARQUITECTÓNICAS

Las características arquitectónicas se definieron mediante la zona y son:

- Viviendas con configuración en “L”
- Viviendas con configuración semi cuadrada.
- Viviendas con configuración rectangular.

En la tabla 3-3 se muestra el resumen de las configuraciones arquitectónicas:

Tabla 3-3 Tipos de configuración arquitectónicas encontradas.

Tipos de configuración	Cantidad	Porcentaje
Viviendas rectangulares	12	60%
Viviendas en " L "	5	25%
Viviendas semi cuadradas	3	15%
Total de viviendas encuestadas	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En las figuras 3.13, 3.14, y 3.15 se observa los planos en planta de las configuraciones encontradas en las viviendas encuestadas, donde se aprecia los tres tipos de configuraciones arquitectónicas.

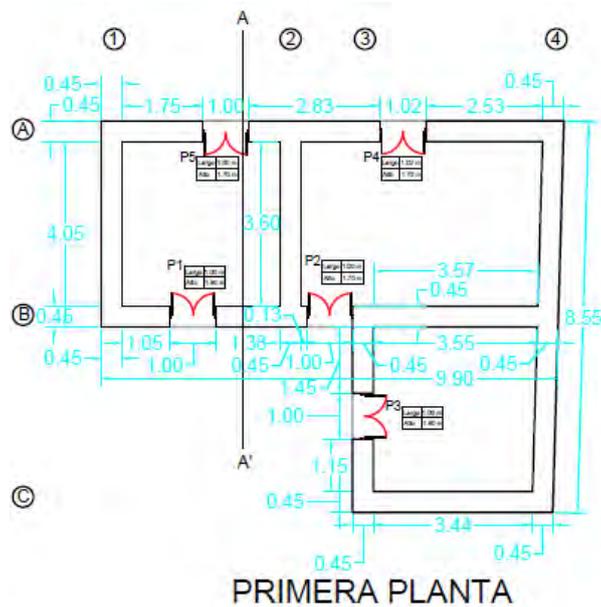


Figura 3.13 Configuración arquitectónica en "L", plano en planta de la vivienda encuestada n° 10. Fuente: Fuente: Elaboración propia, 2019.

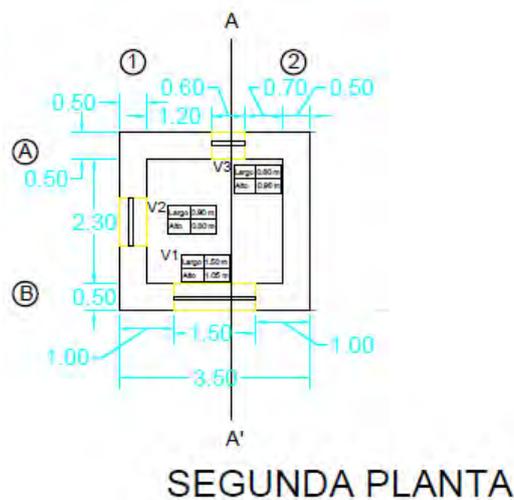
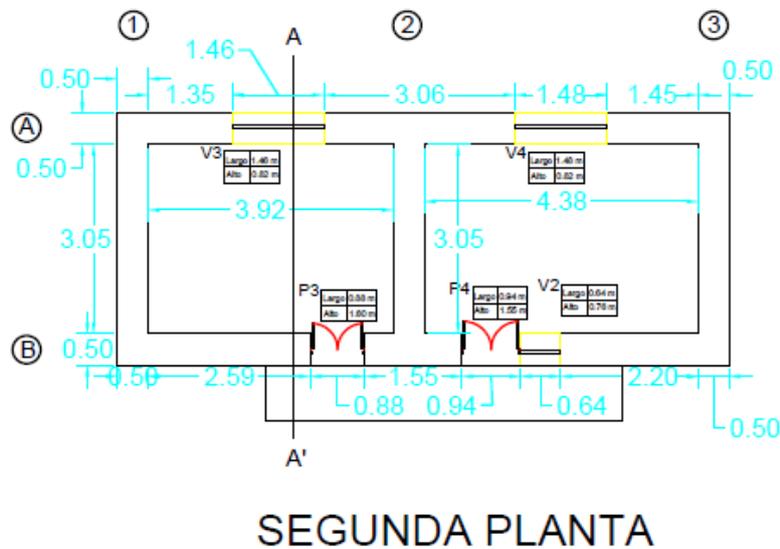


Figura 3.14 Configuración arquitectónica semi cuadrada, plano en planta de la vivienda encuestada n° 11. Fuente: Fuente: Elaboración propia, 2019.



SEGUNDA PLANTA

Figura 3.15 Configuración arquitectónica rectangular, plano en planta de la vivienda encuestada n° 08. Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.4.7 ESTADO ACTUAL DE LAS EDIFICACIONES

Existen viviendas en condición precaria, algunas veces se presentan deshabitadas y muchas otras como construcción paralizada y/o abandonada. Esta característica se da para edificaciones de adobe, y edificaciones de albañilería confinada con sistema de concreto aporticado.

Además, existen edificaciones de un nivel, dos niveles y tres o más niveles que se encuentra ya consolidadas; es decir, que se encuentran habitadas, son obras terminadas y/o están en proceso de ampliaciones. Esta característica se da tanto para edificaciones de adobe y edificaciones de albañilería confinada con sistema de concreto aporticado.

Existen edificaciones cuyo sistema estructural es CONCRETO APORTICADO, y que son de uno a más niveles; dentro de este rubro se encuentran el centro comercial, instituciones educativas, hospital, etc.

Existen viviendas de uno o más niveles en cuya construcción presentan una serie de COMBINACIÓN DE SISTEMAS ESTRUCTURALES y MATERIALES, tales como: Albañilería de Ladrillos de arcilla (sin confinamiento), Adobe-Elementos de Concreto Armado, Adobe-Albañilería Ladrillo de arcilla (sin confinamiento), Madera-Elementos de Concreto Armado, Adobes fabricados con diferentes tipos de suelo, etc.

El estado actual de las edificaciones de adobe; en lo que se refiere a conservación, es en general buena, más aún, durante el trabajo de campo, se pudo observar viviendas con grietas considerables, el estado de las viviendas se puede observar en la tabla 3-4.

Tabla 3-4. Estado actual de las edificaciones de acuerdo a las grietas registradas.

Estado de las viviendas	Cantidad	Porcentaje
Viviendas con rajaduras más de 3mm	5	25%
Viviendas con rajaduras menos de 3mm	5	25%
Viviendas en buen estado	10	50%
Total	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 3.16 se puede observar fotografías de las viviendas que presentan grietas considerables.



Figura 3.16. Fotografías de las grietas presentes en las viviendas encuestadas, a) Vivienda encuestada n° 01, donde se aprecian rajaduras en la fachada, b) Vivienda n° 04, donde se aprecian rajaduras en el alero principal, c) Vivienda encuestada n° 10, donde se aprecian rajaduras en gran parte de la fachada, d) Vivienda n° 13, donde se aprecian rajaduras en el interior de la vivienda, en el encuentro de muros.

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.4.8 NÚMERO DE NIVELES DE LAS EDIFICACIONES

Las edificaciones de adobe en la zona de estudio, varían de entre a un piso, dos pisos, y tres pisos. Siendo en su mayoría de dos pisos. En la figura 3.17, se muestra, edificaciones con diferente número de niveles

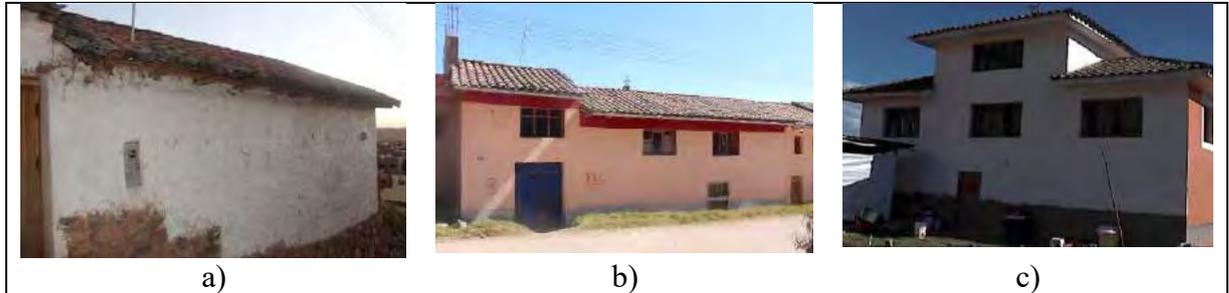


Figura 3.17. Viviendas con diferente número de niveles, a) vivienda de un piso, b) vivienda de dos pisos, y c) vivienda de tres pisos, respectivamente. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 3.18, se muestra, el cuadro de edificaciones con uno, dos y tres niveles, con la respectiva cantidad que existen entre las viviendas encuestadas.



Figura 3.18 Clasificación de viviendas encuestadas por número de pisos. Fuente Propia, 2019.

A su vez se observa en la tabla 3-5 las viviendas encuestadas y sus respectivos números de niveles.



Tabla 3-5. Edificaciones encuestadas y su respectivo número de niveles.

N° Edificación	N° Pisos
N° 01	2
N° 02	2
N° 03	2
N° 04	2
N° 05	3
N° 06	2
N° 07	2
N° 08	2
N° 09	2
N° 10	2
N° 11	2
N° 12	2
N° 13	1
N° 14	2
N° 15	2
N° 16	2
N° 17	2
N° 18	2
N° 19	1
N° 20	2

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.5 DISEÑO DE LOS ENSAYOS EXPERIMENTALES

Parte de la presente investigación fue realizar los ensayos experimentales que permitan obtener las características físico mecánicas del adobe y mortero como material utilizado en la construcción de edificaciones de adobe y de esta forma aplicar los valores obtenidos en la evaluación del parámetro tres que implica el método de índice de vulnerabilidad que se utilizó para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones antes mencionadas, y así, los resultados se aproximen más a la realidad.

Para determinar el tipo de suelo que conforman los adobes y morteros de edificaciones encuestadas; se realizaron ensayos de granulometría y límites de consistencia siguiendo las recomendaciones de las normas ASTM D422-63⁶ y ASTM D4318-10⁷, para esto se procedió a la extracción de adobes de tres viviendas representativas, elegidas por el año de construcción, así como de la zona de

⁶ ASTM D422-63, «Standard test method for particle-size analysis of soils, » ASTM International, 2007.

⁷ ASTM D4318-10, «Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils, » ASTM International, 2010.

ubicación, dicho procedimiento se realizó con el adecuado cuidado de tal forma que no se vea afectada la estabilidad de la estructura así también con los permisos previos de los dueños respectivos.

Los adobes se obtuvieron de la parte superior de los muros de las viviendas, como se observa en la figura 3.19. Estos adobes fueron adecuadamente acondicionados y enumerados para su traslado hasta el laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales.

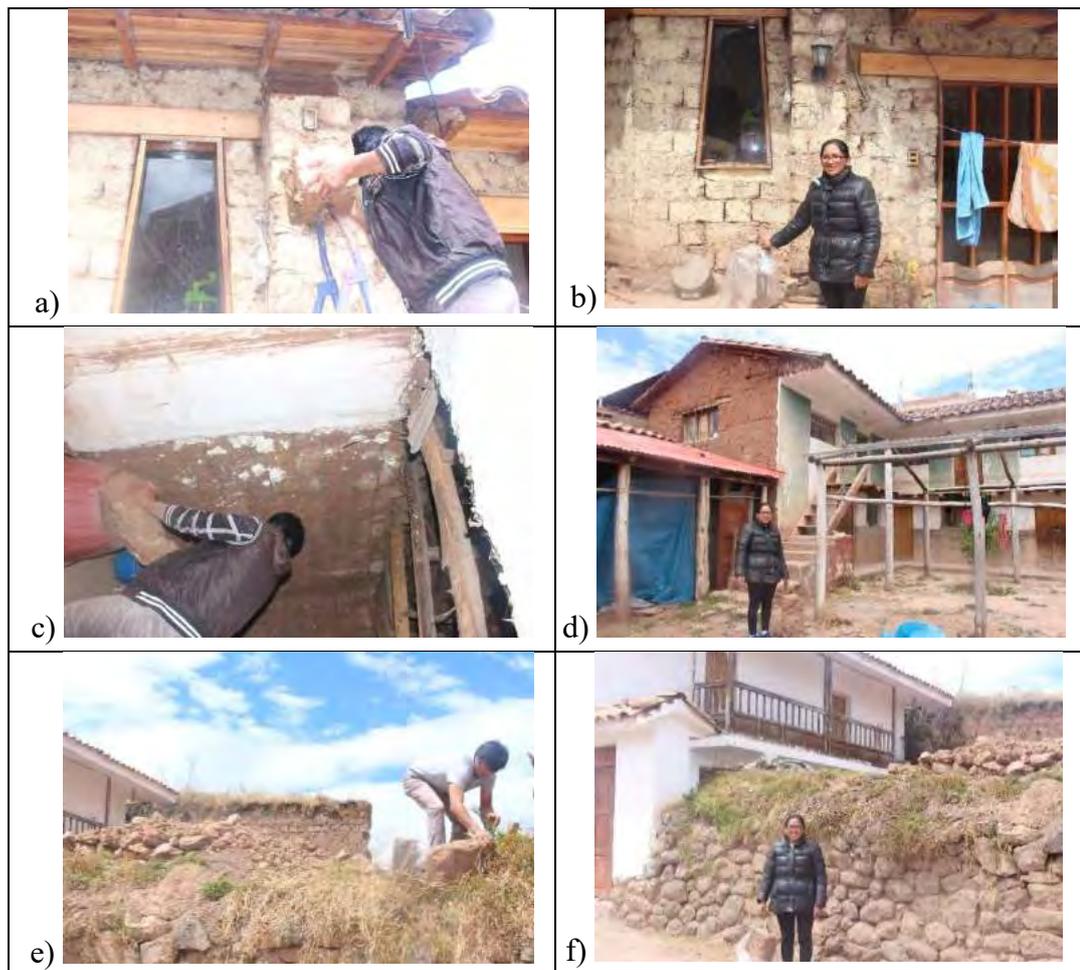


Figura 3.19. Muestras de adobe extraídas de las tres viviendas. a) Muestra de adobe 01, extraída de la vivienda encuestada N° 13, año de fabricación: 2002, b) Acondicionamiento de la muestra de adobe n° 01, c) Muestra de adobe 02, extraída de la vivienda encuestada N° 04, año de fabricación: 1992, d) Acondicionamiento de la muestra de adobe n° 02, e) Muestra de adobe 03, Extraída de la vivienda encuestada N° 18, año de fabricación: 1978, f) Acondicionamiento de la muestra de adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.



3.6 COMPOSICIÓN DEL MURO DE ADOBE

Los principales componentes del muro de adobe de las viviendas de adobe en Chinchero, son el adobe, mortero y paja, a continuación se describen sus características.

3.6.1 ADOBE

Los adobes extraídos de las viviendas en estudio, tienen características distintas, siendo además de diferentes tamaños así por ejemplo el primer adobe extraído es de 40x20x15 cm, el segundo de 45x22x15 cm, a diferencia del tercero de 50x25x15 cm. Por otro lado, presentan también una gran cantidad de fisuras por la contracción de sus partículas al momento de secarse, este fenómeno es característico de las arcillas, que según el mapa geológico del cuadrángulo Urubamba presentado por el INGEMMET el suelo de Chinchero es del tipo Kisma (compuesto por yeso, anhidritas con caliza, limoarcillitas y areniscas caóticas).

3.6.2 MORTERO

El mortero extraído de las viviendas en estudio, está compuesto por barro y paja, tienen características distintas, siendo además de diferentes composiciones, dado que en su composición presentan gravas, piedras, arenas, finos y limos.

3.6.3 PAJA

La paja utilizada para la construcción de las edificaciones de adobe no es la misma que se utilizaba años atrás, hoy en día en las construcciones convencionales de adobe se utiliza el Ichu o Stipa. Este tipo de paja crece en un hábitat de pajonal de puna en suelos secos poco húmedos, tiene fibras delgadas y poseen poca resistencia a tracción.

3.7 PROPIEDADES INDICE DEL ADOBE Y MORTERO

3.7.1 GRANULOMETRÍA DEL ADOBE

En la presente investigación se desarrolló mediante ensayo manual la distribución granulométrica de los adobes y morteros procedentes de viviendas representativas, con el objetivo de obtener la distribución granulométrica y con



este resultado elaborar adobes con características similares a la de los adobes extraídos de las viviendas para calcular las propiedades mecánicas de la albañilería de adobe.

El ensayo de granulometría se realizó por el método mecánico tomando como referencia el “Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil” de Joseph Bowles, y las respectivas normas como son; MTC E 107, Basado en la Norma ASTM D-422 y AASHTO T-88. Se siguió el procedimiento del ítem 2.12.1 Ensayo de Análisis Granulométrico.

Los procedimientos y gráficos realizados se presentan en el anexo A: 1.- Granulometría de muestras de adobe. Los resultados obtenidos en los tres casos, se muestran a continuación en la tabla 3-6.

Tabla 3-6. Resumen de las características principales de granulometría de las muestras de adobes.

Nº MUESTRA	Tamaño máx.	% de grava	% de arena	% de finos
Adobe nº 01	1 ”	10.12 %	25.05 %	64.83 %
Adobe nº 02	3/4”	7.81 %	26.91 %	65.29 %
Adobe nº 03	3/8”	3.46 %	22.45 %	74.09 %

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Las distribuciones granulométricas correspondientes y los porcentajes de cada material en los tres adobes extraídos de las edificaciones de adobe, no cumple con las recomendaciones establecidas por la norma E-080, 2006. Es necesario también mencionar; que el porcentaje de paja presente en los adobes extraídos es significativamente alto, siendo este valor, aproximadamente el 2 % de la muestra total, en todos los casos.

3.7.2 GRANULOMETRÍA DEL MORTERO

De manera similar al cálculo realizado para obtener la distribución granulométrica del adobe, se procedió con el mortero. Los procedimientos y gráficos realizados se presentan en el anexo A: 2.-Granulometría de muestras de mortero. Los resultados obtenidos después del procesamiento se muestran en la tabla 3-7.

Tabla 3-7. Resumen de granulometría de mortero.

N° MUESTRA	Tamaño máx.	% de grava	% de arena	% de finos
Mortero n° 01	N° 4	2.31 %	27.17 %	70.52 %
Mortero n° 02	N° 4	2.43 %	21.98 %	75.58 %
Mortero n° 03	3/8"	5.54 %	25.17 %	69.29 %

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para la construcción de las edificaciones, el adobe empleado registra una considerable cantidad de paja, se observó que el mortero carecía de la presencia de paja; además, se observó la presencia de partículas de hasta 1" y la presencia de un porcentaje significativo de partículas finas en promedio de aproximadamente 68.7%, en lo que respecta al adobe y de 71.8% en el mortero, corroborándose que esta distribución granulométrica tampoco cumple con lo establecido en la norma E 080 (2006).

3.7.3 LÍMITES DE ATTERBERG DEL ADOBE

Para determinar el límite líquido y plástico tanto para los adobes como para los morteros de asentado de unidades se hizo uso del procedimiento que recomienda Joseph Bowles en su Manual de Laboratorio de Suelos en Ingeniería Civil, y basado en las normas ya antes mencionadas; MTC E 110, MTC E 111. Se siguió el procedimiento del ítem 2.12.2 Ensayos de Límites de Consistencia.

Los procedimientos y gráficos realizados se presentan en el anexo A: 3.-Límites de Atterberg de muestras de adobe.

Por consiguiente, se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 3-8:

Tabla 3-8. Resumen de límites de Atterberg, de las muestras de adobe n° 01, 02, 03.

Muestra	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	SUCS
Adobe n° 01	24.93 %	13.78%	11.14 %	CL
Adobe n° 02	29.48 %	16.01%	13.47 %	CL
Adobe n° 03	32.69 %	18.43%	14.26 %	CL

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se observa, por los resultados obtenidos, se afirma que el tipo de material utilizado en el adobe es del tipo CL, es decir; una arcilla ligera de baja plasticidad con arena.

3.7.4 LÍMITES DE ATTERBERG DEL MORTERO

De manera similar al cálculo realizado para obtener el límite líquido y el límite plástico del adobe, se procedió con el mortero. Los procedimientos y gráficos realizados se presentan en el anexo A: 4.-Límites de Atterberg de muestras de mortero.

Los límites de Atterberg para el mortero se muestran en la tabla 3-9:

Tabla 3-9. Resumen de límites de Atterberg de mortero de los adobes.

Muestra	Límite Líquido	Índice de Plasticidad	SUCS
Mortero Adobe n° 01	23.64 %	9.57 %	CL
Mortero Adobe n° 02	32.83 %	11.44 %	CL
Mortero Adobe n° 03	34.70 %	12.51 %	CL

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Por consiguiente, de acuerdo a su índice de plasticidad se clasifica el suelo usado en el mortero; como tipo CL, es decir, arcilla ligera de baja plasticidad con arena.

3.7.5 RESULTADOS

Los resultados obtenidos en los ensayos tanto de granulometría como de límites de Atterberg en el adobe y mortero en el tipo de suelo utilizado en su elaboración, esto se muestra en la tabla 3-10.

Tabla 3-10. Resumen de los resultados obtenidos en los ensayos de granulometría y límites de consistencia.

Muestra	% de finos	Índice de plasticidad	SUCS
Adobe n° 01	64.83 %	11.14 %	CL
Adobe n° 02	65.29 %	13.47 %	CL
Adobe n° 03	74.09 %	14.26 %	CL
Mortero n° 01	70.52 %	9.57 %	CL
Mortero n° 02	75.58 %	11.44 %	CL
Mortero n° 03	69.29 %	12.51 %	CL

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Por lo tanto, por los resultados obtenidos, se afirma que el tipo de material utilizado en el adobe y en el mortero es del tipo CL, como se mencionó anteriormente, y que, al ser similares en los tres casos, se determina que los materiales utilizados en su elaboración, son similares.

Con los resultados obtenidos, de las propiedades físicas y la composición de los adobes y morteros extraídos de las tres viviendas encuestadas, y considerando la distribución granulométrica como un parámetro de mayor importancia, se procedió a elaborar adobes con dimensiones reducidas, es decir a escala, con la misma gradación de agregado fino y grueso. Se utilizó la paja del tipo Ichu o Stipa, de esta manera que los adobes elaborados fueron lo más similares posibles a los adobes extraídos de las edificaciones encuestadas y existentes en la zona urbana del distrito de Chinchero, así los resultados se aproximarán más a la realidad contextual.

3.8 PROPIEDADES MECÁNICAS DE LA MAMPOSTERÍA DE ADOBE

En este apartado se desarrolla los ensayos de compresión simple en adobes, ensayos de compresión simple en pilas de adobes, y también los ensayos de compresión diagonal en muretes de adobe. Es importante resaltar que para poder caracterizar una estructura de manera adecuada, se hace necesario realizar ensayos que representen el comportamiento de la unidad de adobe y mortero, y que a su vez, será necesario también realizar ensayos que representen de la mejor manera, el comportamiento en su conjunto (mampostería); así se aproxima más a la realidad contextual.

3.8.1 RESISTENCIA A COMPRESIÓN SIMPLE DEL ADOBE

De acuerdo a lo recomendado en la norma E.080 – 2017 vigente, en el artículo 8.- Esfuerzos de rotura mínimos. Ensayos de laboratorio, en el ítem 8.1; indica los ensayos de laboratorio de esfuerzos de rotura mínimos para medir la Resistencia del material tierra a la compresión (ensayo de compresión en cubos), y se realiza conforme al procedimiento siguiente:

El ensayo de resistencia a compresión simple en adobe, deberá realizarse en especímenes con forma de cubo que posean como dimensión de arista, 0.10 m.

Después de haber extraído los adobes de las tres edificaciones de adobe encuestadas, se elaboró los especímenes en forma de cubo, este procedimiento fue realizado con la ayuda de una amoladora y con sumo cuidado.

Luego, la resistencia última se calcula conforme a la expresión siguiente:

$$f_0 = 1.0MPa = 10.2 \text{ kgf/cm}^2$$

Primero se determina el peso unitario de los especímenes, en las tablas 3-11, 3-12, 3-13; se presenta el cálculo del peso unitario de los especímenes moldeados de los respectivos adobes.

Tabla 3-11. Determinación del peso unitario de los especímenes del adobe n° 01, de la vivienda n° 13, con 16 años de antigüedad.

ESPECIMEN	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	P.U. Adobe (gr/cm ³)	Promedio P.U. (kg/m ³)
E1-V13	10.10	10.60	10.40	107.06	1113.42	1950	1.751	1641.671
E2-V13	10.80	10.50	10.30	113.40	1168.02	1875	1.605	
E3-V13	10.30	10.10	10.20	104.03	1061.11	1890	1.781	
E4-V13	10.80	10.30	10.90	111.24	1212.52	1780	1.468	
E5-V13	10.50	10.80	10.40	113.40	1179.36	1870	1.586	
E6-V13	10.60	10.70	10.10	113.42	1145.54	1900	1.659	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 3-12. Determinación del peso unitario de los especímenes del adobe n° 02, de la vivienda n° 04, con 27 años de antigüedad.

ESPECIMEN	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	P.U. Adobe (gr/cm ³)	Promedio P.U. (kg/m ³)
E1-V04	10.30	10.50	10.20	108.15	1103.13	1630	1.478	1398.246
E2-V04	10.40	10.60	10.10	110.24	1113.42	1525	1.370	
E3-V04	10.40	10.70	10.20	111.28	1135.06	1580	1.392	
E4-V04	10.80	10.40	10.30	112.32	1156.90	1600	1.383	
E5-V04	10.90	10.20	10.20	111.18	1134.04	1560	1.376	
E6-V04	10.50	10.20	10.40	107.10	1113.84	1550	1.392	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 3-13. Determinación del peso unitario de los especímenes del adobe n° 03, de la vivienda n° 18, con 41 años de antigüedad.

ESPECIMEN	Ancho (cm)	Largo (cm)	Altura (cm)	Área (cm ²)	Volumen (cm ³)	Peso (gr)	P.U. Adobe (gr/cm ³)	Promedio P.U. (kg/m ³)
E1-V18	10.10	10.50	10.20	106.05	1081.71	1880	1.738	1688.240
E2-V18	10.20	10.10	10.30	103.02	1061.11	1700	1.602	
E3-V18	10.30	10.10	10.20	104.03	1061.11	1800	1.696	
E4-V18	10.40	10.30	10.10	107.12	1081.91	1750	1.618	
E5-V18	10.10	10.50	10.00	106.05	1060.50	1850	1.744	
E6-V18	10.20	10.30	10.20	105.06	1071.61	1855	1.731	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los ensayos de compresión simple se efectuaron en el laboratorio de mecánica de suelos y materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil UNSAAC, en la máquina de compresión simple. Controlando en la ejecución la deformación longitudinal vertical.

La lectura de la carga máxima que soporta el espécimen entre la sección del cubo proporciona el valor de la resistencia última a la compresión.

En la figura 3.20 y 3.21 se observa el ensayo de compresión simple en especímenes de adobe.



Figura 3.20. Esquema de ensayo de compresión simple, en la Prensa pequeña. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 3.21. Ensayo de compresión simple y posterior falla del espécimen en la máquina de compresión simple. Fuente: Elaboración propia, 2019.

DIAGRAMAS DE CARGA VS DEFORMACIÓN VERTICAL Y RESULTADOS

Los resultados de los ensayos de compresión simple en especímenes del adobe n°01 se muestran en las tablas 3-14, y su diagrama de esfuerzo deformación se observan en la figura 3.22.

Tabla 3-14. Valores obtenidos de resistencia a compresión, para el adobe n° 01.

	ESPECIMEN 1	ESPECIMEN 2	ESPECIMEN 3	ESPECIMEN 4	ESPECIMEN 5	ESPECIMEN 6
Def. (cm)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.0127	390.35	303.47	650.99	173.16	650.99	477.23
0.0254	650.99	564.11	1215.70	260.03	955.06	868.18
0.0381	824.74	694.43	1693.53	433.79	1215.70	1519.77
0.0508	1085.38	1215.70	2084.48	607.55	1302.57	1910.72
0.0635	1302.57	1346.01	2388.56	520.67	1432.89	2388.56
0.0762	1563.21	1346.01	2562.31	781.30	1519.77	2909.83
0.0889	1780.41	1389.45	2822.95	868.18	1693.53	3517.98
0.1016	1997.60	1302.57	2909.83	955.06	1736.97	3778.61
0.1143	2301.68	0.00	3040.14	1085.38	1780.41	3908.93
0.127	2605.75	0.00	3083.58	1128.82	1910.72	0.00
0.1397	2909.83	0.00	3083.58	1172.26	1997.60	0.00
0.1524	3083.58	0.00	0.00	1259.14	2171.36	0.00
0.1651	3127.02	0.00	0.00	1346.01	2388.56	0.00
0.1778	2692.63	0.00	0.00	1346.01	0.00	0.00

Fuente: Elaboración propia, 2019.

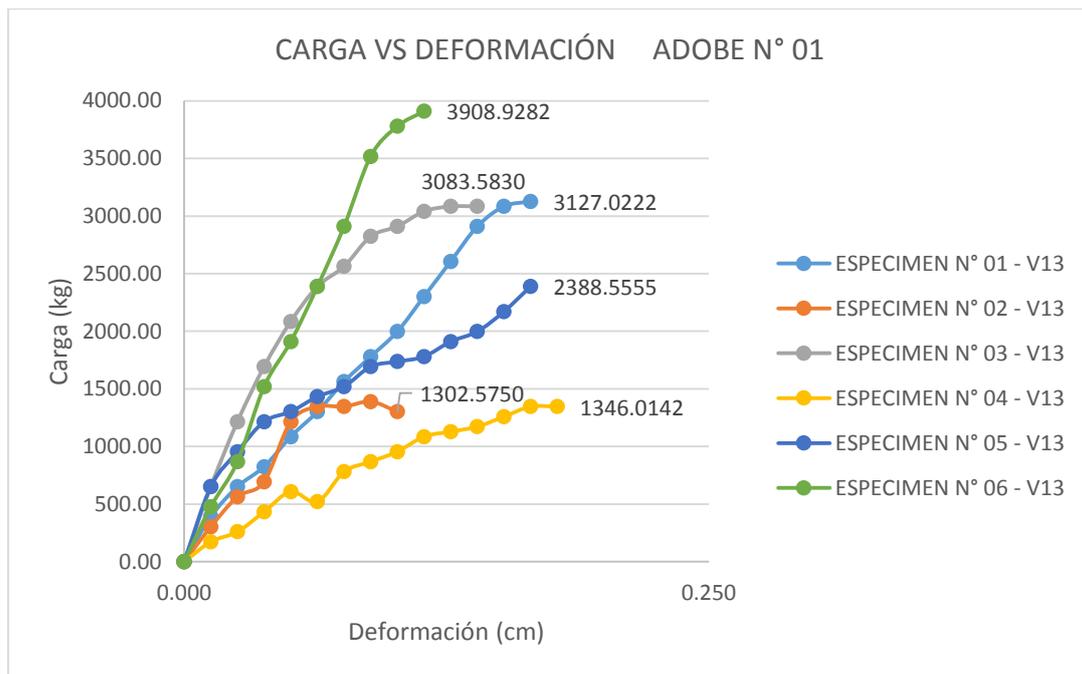


Figura 3.22. Diagrama esfuerzo vs deformación vertical para el adobe n° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Los resultados de los ensayos de compresión simple en especímenes del adobe n°02 se muestran en las tablas 3-15, y su diagrama de esfuerzo deformación se observan en la figura 3.23.

Tabla 3-15. Valores obtenidos de resistencia a compresión, para el adobe n° 02.

Def. (cm)	ESPECIMEN 1	ESPECIMEN 2	ESPECIMEN 3	ESPECIMEN 4	ESPECIMEN 5	ESPECIMEN 6
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.0127	129.72	173.16	86.28	433.79	129.72	390.35
0.0254	303.47	303.47	173.16	1128.82	216.59	433.79
0.0381	564.11	346.91	260.03	1693.53	390.35	781.30
0.0508	650.99	433.79	346.91	2431.99	650.99	1215.70
0.0635	824.74	520.67	433.79	2996.70	824.74	1606.65
0.0762	955.06	650.99	564.11	3517.98	1128.82	1736.97
0.0889	1085.38	781.30	694.43	3865.49	1432.89	1910.72
0.1016	1215.70	955.06	824.74	4169.56	1650.09	1997.60
0.1143	1346.01	1215.70	998.50	4560.52	1910.72	2084.48
0.127	1519.77	1346.01	1085.38	4734.27	2127.92	2171.36
0.1397	1519.77	1519.77	1215.70	4951.47	2345.12	2214.80
0.1524	1563.21	1736.97	1346.01	4994.91	2475.43	2258.24
0.1651	1650.09	1867.28	1519.77	4777.71	2605.75	2258.24
0.1778	1736.97	1954.16	1606.65	0.00	2779.51	2301.68
0.1905	1823.85	2041.04	1780.41	0.00	2822.95	2214.80
0.2032	1910.72	2127.92	2084.48	0.00	2953.27	2171.36
0.2159	1954.16	2171.36	2301.68	0.00	2996.70	0.00
0.2286	1954.16	2214.80	2388.56	0.00	2822.95	0.00

Fuente: Elaboración propia, 2019.

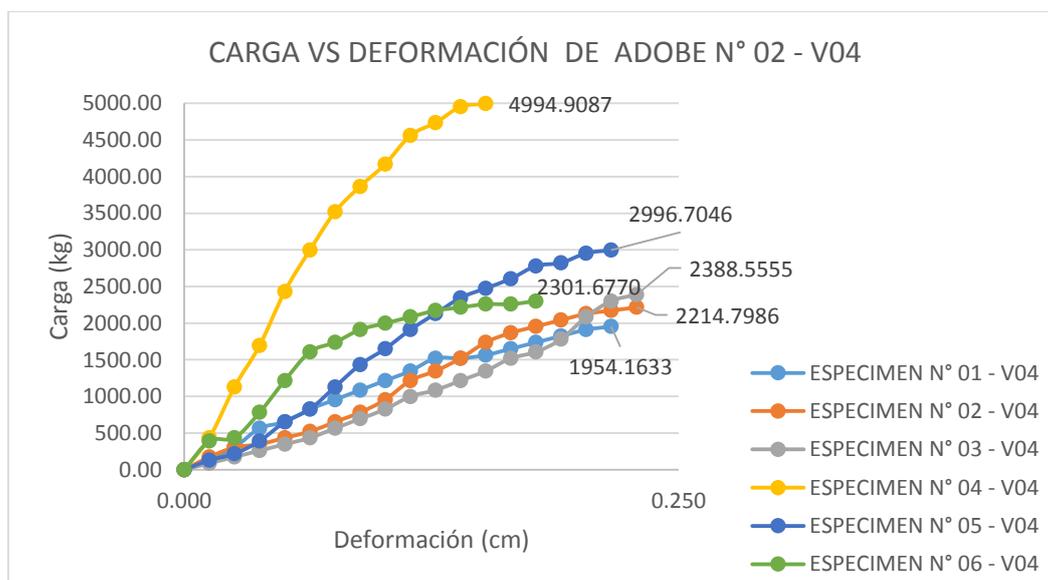


Figura 3.23. Diagrama esfuerzo vs deformación vertical para el adobe n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Los resultados de los ensayos de compresión simple en especímenes del adobe n°03 se muestran en las tablas 3-16, y su diagrama de esfuerzo deformación se observan en la figura 3.24.

Tabla 3-16. Valores obtenidos de resistencia a compresión, para el adobe n° 03.

	ESPECIMEN 1	ESPECIMEN 2	ESPECIMEN 3	ESPECIMEN 4	ESPECIMEN 5	ESPECIMEN 6
def (cm)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)	Fuerza(Kg)
0	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.0127	42.84	346.91	86.28	216.59	260.03	129.72
0.0254	86.28	607.55	260.03	433.79	520.67	433.79
0.0381	216.59	911.62	390.35	564.11	737.87	564.11
0.0508	346.91	1172.26	433.79	868.18	1650.09	1041.94
0.0635	607.55	1519.77	520.67	1128.82	1910.72	1302.57
0.0762	911.62	1736.97	781.30	1389.45	2127.92	1432.89
0.0889	1346.01	2084.48	955.06	1823.85	2258.24	1736.97
0.1016	2041.04	2345.12	1172.26	2171.36	2301.68	2127.92
0.1143	2388.56	2779.51	1302.57	2431.99	2345.12	2431.99
0.127	2475.43	2909.83	1519.77	2649.19	2605.75	2779.51
0.1397	2649.19	2953.27	1736.97	2953.27	2736.07	3040.14
0.1524	2779.51	2953.27	1867.28	3040.14	2822.95	3387.66
0.1651	2953.27	2996.70	1997.60	3083.58	2953.27	3474.54
0.1778	2953.27	3040.14	2084.48	3170.46	2996.70	3822.05
0.1905	2953.27	3083.58	2258.24	3170.46	3040.14	4082.69
0.2032	3127.02	3083.58	2388.56	0.00	3083.58	4256.44
0.2159	3213.90	3083.58	2518.87	0.00	3127.02	4256.44
0.2286	0.00	3083.58	2649.19	0.00	0.00	0.00
0.2413			2692.63			

Fuente: Elaboración propia, 2019.

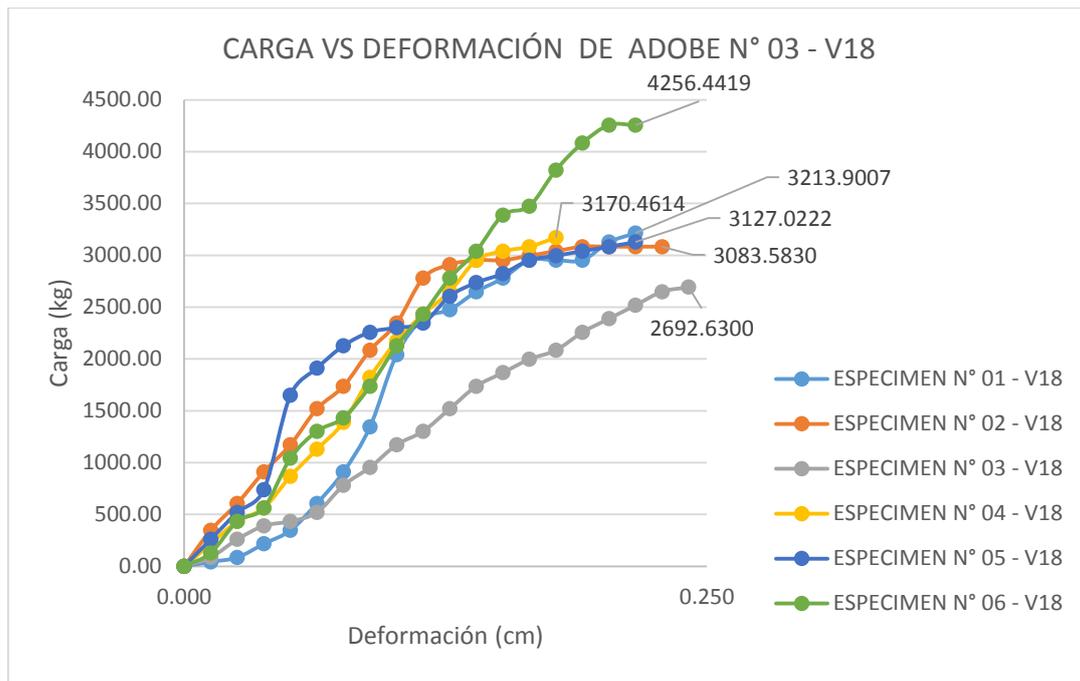


Figura 3.24. Diagrama esfuerzo vs deformación vertical para el adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los valores de resistencia a compresión simple del adobe se presentan en las tablas 3-17, 3-18 y 3-19.

Tabla 3-17. Resultados del ensayo de compresión simple para los adobes de la vivienda n° 13, con 16 años de antigüedad.

ESPECIMEN	Longitud	Ancho	Altura	Área	Carga en el punto máximo de Carga	Esfuerzo Ultimo	Promedio Esfuerzo Ultimo
	DIMENSIONES (cm)			(cm ²)	(kg)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
MUESTRA N °1	10.60	10.10	10.40	107.060	3127.022	29.21	23.12
MUESTRA N °2	10.50	10.80	10.30	113.400	1389.453	12.25	
MUESTRA N °3	10.10	10.30	10.20	104.030	3083.583	29.64	
MUESTRA N °4	10.30	10.80	10.90	111.240	1346.014	12.10	
MUESTRA N °5	10.80	10.50	10.40	113.400	2388.555	21.06	
MUESTRA N °6	10.70	10.60	10.10	113.420	3908.928	34.46	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 3-18. Resultados del ensayo de compresión simple para los adobes de la vivienda n° 04, con 27 años de antigüedad.

ESPECIMEN	Longitud	Ancho	Altura	Área	Carga en el punto máximo de Carga	Esfuerzo Ultimo	Promedio Esfuerzo Ultimo
	DIMENSIONES (cm)			(cm ²)	(kg)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
MUESTRA N °1	10.50	10.30	10.20	108.150	1954.163	18.07	25.42
MUESTRA N °2	10.60	10.40	10.10	110.240	2214.799	20.09	
MUESTRA N °3	10.70	10.40	10.20	111.280	2388.555	21.46	
MUESTRA N °4	10.40	10.80	10.30	112.320	4994.909	44.47	
MUESTRA N °5	10.20	10.90	10.20	111.180	2996.705	26.95	
MUESTRA N °6	10.20	10.50	10.40	107.100	2301.677	21.49	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 3-19. Resultados del ensayo de compresión simple para los adobes de la vivienda n° 18, con 41 años de antigüedad.

ESPECIMEN	Longitud	Ancho	Altura	Área	Carga en el punto máximo de Carga	Esfuerzo Ultimo	Promedio Esfuerzo Ultimo
	DIMENSIONES (cm)			(cm ²)	(kg)	[kg/cm ²]	[kg/cm ²]
MUESTRA N °1	10.50	10.10	10.20	106.050	3213.901	30.31	30.88
MUESTRA N °2	10.10	10.20	10.30	103.020	3083.583	29.93	
MUESTRA N °3	10.10	10.30	10.20	104.030	2649.191	25.47	
MUESTRA N °4	10.30	10.40	10.10	107.120	3170.461	29.60	
MUESTRA N °5	10.50	10.10	10.00	106.050	3127.022	29.49	
MUESTRA N °6	10.30	10.20	10.20	105.060	4256.442	40.51	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los valores obtenidos en los ensayos de compresión simple, superan ampliamente el valor mínimo que se recomienda por la norma E.080 (2017), la cual recomienda una resistencia mínima de $f_0 = 12 \text{ kg/cm}^2$. Además se afirma que los adobes aún se mantienen en estado óptimo, considerando la antigüedad de las edificaciones en estudio.

3.8.2 RESISTENCIA A COMPRESIÓN EN PILAS DE ADOBE

La norma E.080 (2017) en su artículo 8, ítem 8.4 indica lo siguiente: el ensayo de compresión en muretes de adobe o tapial de altura igual a tres veces la menor dimensión de la base (aproximadamente). El número mínimo de adobes será de cuatro, el tiempo de secado de las pilas será de 28 días. El esquema del ensayo se muestra en la figura 3.25.

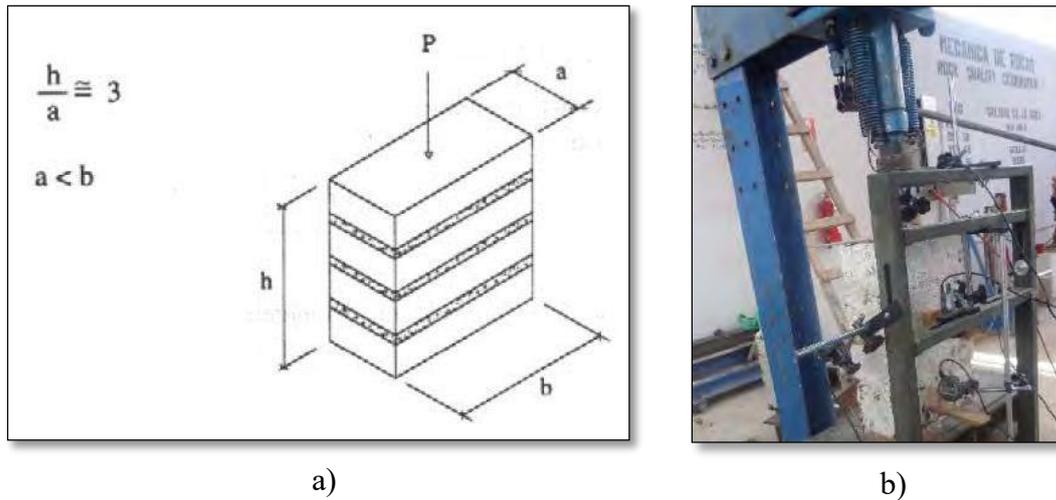


Figura 3.25 Esquema del ensayo de compresión simple en pilas de adobe, a) Esquema mostrado en la norma E.080 b) Disposición para el ensayo de compresión simple en pilas de adobe, en el laboratorio de Mecánica de suelos y materiales de la UNSAAC. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para la presente investigación, los ensayos de compresión simple en pilas de adobe, se realizó de acuerdo a lo establecido por la norma, se elaboró cuatro pilas de adobe, con las especificaciones correspondientes; debido a los problemas de transporte se desechó una, y luego se ensayaron las restantes en la máquina de deflexión del Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil – UNSAAC. En las figuras 3.26, 3.27 y 3.28 se aprecian las pilas de adobe ensayadas.



Figura 3.26 Ensayo de compresión simple y la posterior falla de la pila N° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 3.27 Ensayo de compresión simple y la posterior falla de la pila N° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 3.28 Ensayo de compresión simple y la posterior falla de la pila N° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.

DIAGRAMAS DE CARGA VS DEFORMACIÓN Y RESULTADOS

Después de realizar los ensayos, se obtuvo los diagramas presentados en la figura 3.29. y los resultados obtenidos se muestran en la tabla 3-20.

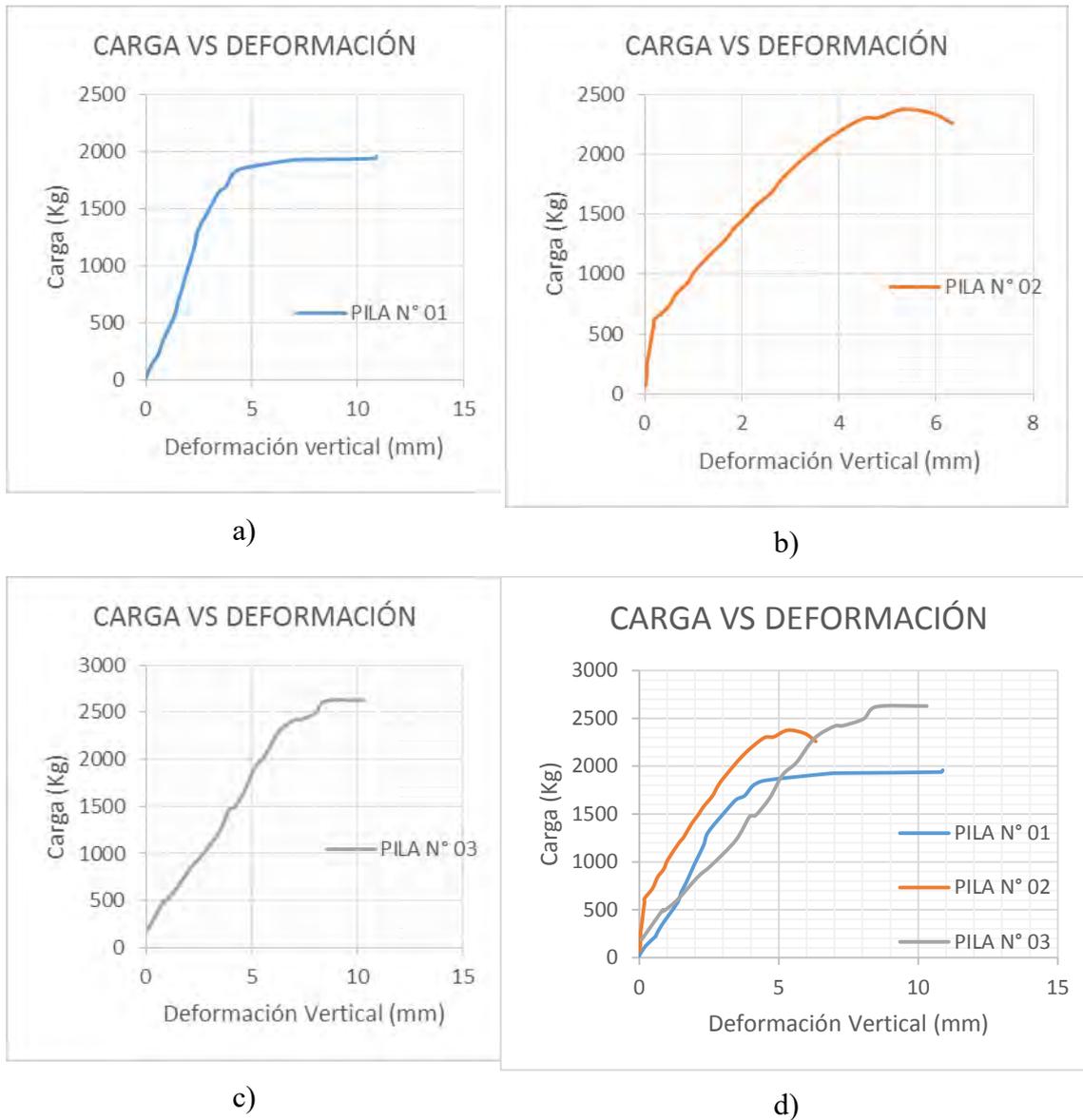


Figura 3.29 Ensayo de compresión simple en pilas de adobe, diagramas de carga vs deformación vertical. a) Diagrama de la pila de adobe n° 01, b) Diagrama de la pila de adobe n° 02, c) Diagrama de la pila de adobe n° 03, d) Diagramas de las tres pilas de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla 3-20. Resultados del ensayo de compresión simple en pilas de adobe.

ESPECIMEN	Longitud	Ancho	Altura	Área	Resistencia Última	Esfuerzo Último	Promedio Esfuerzo Último
	DIMENSIONES (cm)			(cm ²)	[kg] Pu	[kg/cm ²]	[kg/cm ²] f'm
PILA N° 1	29	13.5	45	391.5	1958	5.00	
PILA N° 2	29	14	44.5	406	2375	5.85	5.79
PILA N° 3	29.2	13.8	45.5	402.96	2628	6.52	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

El esfuerzo último obtenido para el ensayo de compresión en pilas de adobe, no logra alcanzar a lo recomendado por la norma E.080, la cual en el artículo 8,

ítem 8.4 recomienda como resistencia última $0.6 \text{ MPa} = 6.12 \text{ kgf/cm}^2$; cabe mencionar que este parámetro corresponde a las pilas construidas por los adobes que se elaboraron con materiales de semejantes características, con la distribución granulométrica respectiva y en condiciones similares; y con la adición en porcentaje de icchu, y éstos fueron elaborados en el mismo Distrito de Chinchero.

3.8.3 RESISTENCIA DE MURETES A COMPRESIÓN DIAGONAL

Se realizó el ensayo de compresión o tracción diagonal teniendo en consideración las recomendaciones de la norma vigente E.080-2017, en el artículo 8, ítem 8.5, donde indica que el ensayo de compresión diagonal o tracción indirecta de muretes de adobe o tapial de aproximadamente $0,65 \text{ m.} \times 0.65 \text{ m.} \times \text{em.}$; se debe cumplir con que el promedio de las cuatro mejores muestras sea igual o mayor a la resistencia última indicada, después de 28 días de secado.

Para realizar los ensayos en los muretes de adobe, estos fueron elaborados cerca al Laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil-UNSAAC. Se utilizó para este fin los adobes elaborados en el distrito de Chinchero con las mismas características y propiedades de los adobes extraídos de las edificaciones encuestadas. Se elaboró los muretes cerca al laboratorio, para que el transporte no sea dificultoso hasta la máquina de deflexión, como se aprecia en la figura 3.30.



Figura 3.30 Construcción de los muretes de adobe para los ensayos de compresión diagonal. Fuente: Elaboración propia, 2019.

El esquema de ensayo se muestra en la figura 3.31.

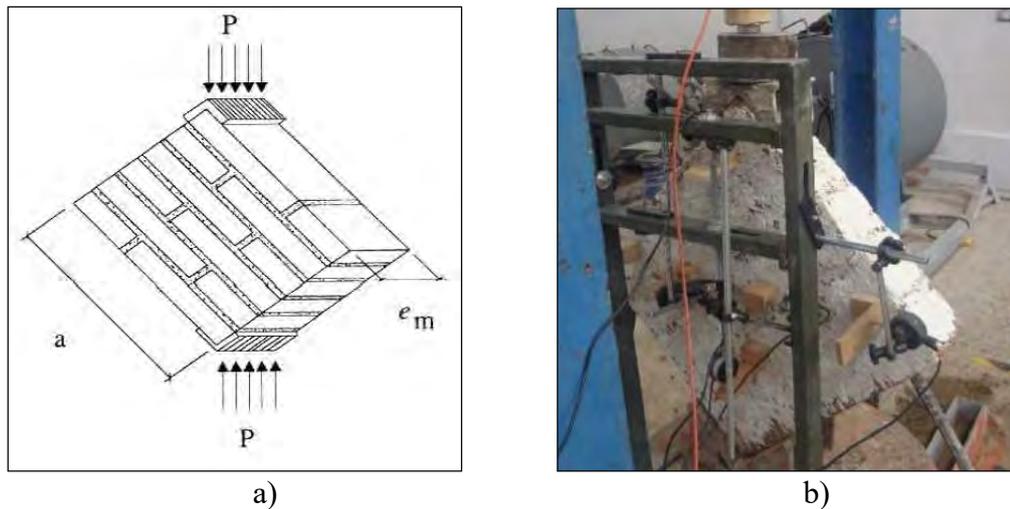


Figura 3.31 Esquema del ensayo, a) Esquema como se muestra en la norma E.080, b) Disposición de diales de deformación para el ensayo de compresión diagonal en muretes de adobe. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Para el ensayo se trasladó los muretes a las instalaciones del laboratorio, descartándose uno de ellos por sufrir daño en el transporte. Con este ensayo se determinó los valores de resistencia a compresión diagonal o ensayos de corte de la mampostería de adobe tradicional, existente en el distrito de Chinchero, los muretes ensayados se muestran en la figura 3.32



Figura 3.32 Falla de los muretes sometidos a compresión diagonal en la máquina de deflexión, a) Falla del murete n° 01, b) falla del murete n° 02, c) falla del murete n° 03, d) Extracción del murete n° 02.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los muretes de adobe de igual manera que las pilas de adobe del ensayo anterior, fueron elaborados con los adobes hechos a escala; similares a los obtenidos de las edificaciones encuestadas, este tipo de adobe, son tradicionales en Chinchero, dado que los pobladores usan el material de la zona para elaborarlos y también usan las mismas técnicas para su composición física. Como se ve, en la figura 3.32, el sistema de falla en los muretes ensayados a tracción indirecta o compresión diagonal, fue el agrietamiento a través de las juntas (falla por corte), esto indica que la adherencia entre la unidad de albañilería y el mortero no fue

óptima, esto debido a que el adobe y el mortero fueron trabajados en tiempos diferentes.

DIAGRAMAS DE CARGA VS DEFORMACIÓN Y RESULTADOS

Después de realizar los ensayos, se obtuvo los diagramas presentados en la figura 3.33 y 3.34.

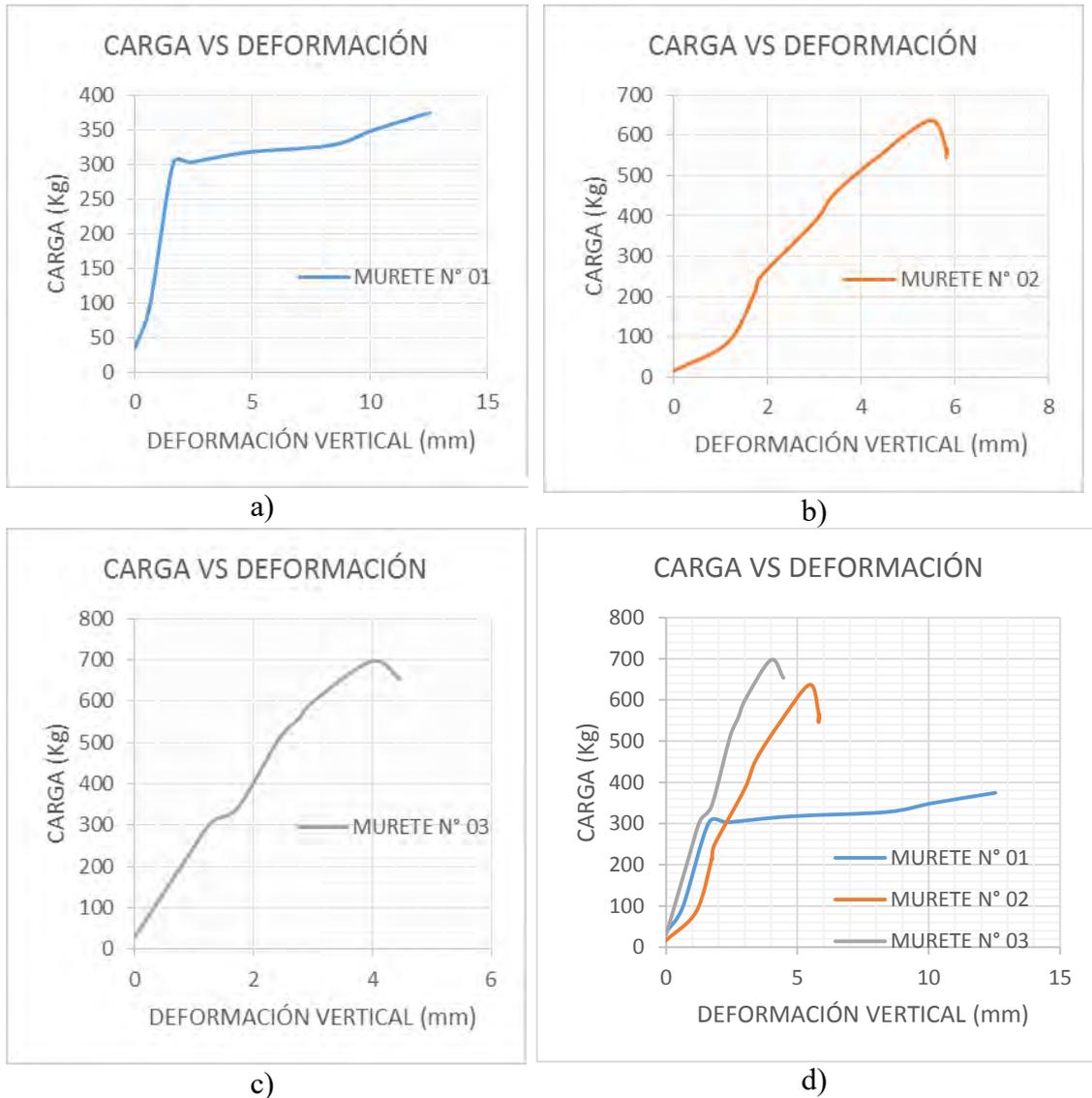


Figura 3.33 Diagramas de deformación vertical, resultado del ensayo de compresión diagonal en los muretes de adobe, a) Diagrama del murete n° 01, b) Diagrama del murete n° 02, c) Diagrama del murete n° 03, d) Diagramas de los tres muretes. Fuente: Elaboración propia, 2019.

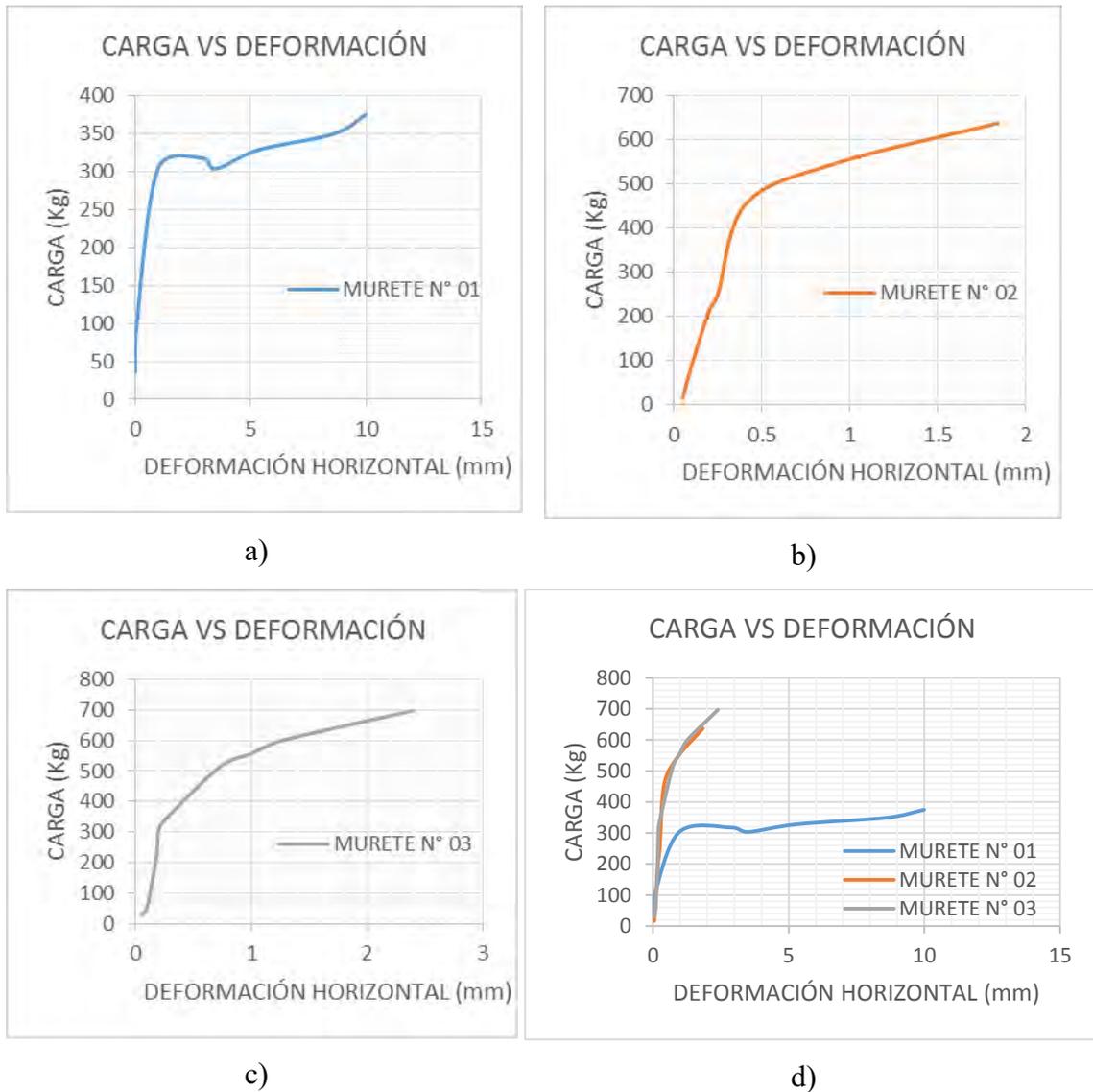


Figura 3.34 Diagramas de deformación horizontal, resultado del ensayo de compresión diagonal en los muretes de adobe, a) Diagrama del murete n° 01, b) Diagrama del murete n° 02, c) Diagrama del murete n° 03, d) Diagramas de los tres muretes. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los resultados del ensayo de compresión diagonal se muestran en la tabla 3-21.

Tabla 3-21. Resultados del esfuerzo último de corte, en los muretes de adobe.

ESPECIMEN	DIMENSIONES (cm)				AREA DIAGONAL (cm ²)	CARGA (kg)	CORTE (kg/cm ²)	PROMEDIO (kg/cm ²)
	ANCHO	ALTURA	ESPELOR	DIAGONAL				
M-01	61.5	60.5	14	86.270	1207.78	374	0.310	0.4856
M-02	61	58	14	84.172	1178.41	636	0.540	
M-03	61	59	13.5	84.865	1145.67	696	0.608	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Debido a que en el presente trabajo de investigación se verificó el comportamiento de las edificaciones frente a un eventual sismo, se tomaron en cuenta los valores últimos que se encontraron, más no los valores de diseño por tratarse de edificaciones existentes.

3.9 VERIFICACIÓN DE LAS CONDICIONES DE APOYO DE LAS EDIFICACIONES CON EL TERRENO DE FUNDACIÓN

Se realizó un estudio de suelos, cerca de las edificaciones estudiadas, en un total de ocho calicatas, en las cuales se realizó los estudios indicados en la tabla 3-22, llegándose a describir los suelos encontrados:

Tabla 3-22. Ensayo de calicata, para describir tipo de suelo hallado en Chinchero.

DESCRIPCIÓN DEL ENSAYO	NORMA ASTM ⁸	NORMA AASHTO ⁹
1) Contenido de humedad	D 2216	T – 76
2) Análisis Granulométrico	D E-11-70	T - 77
3) Límite Líquido	D 4318	T- 89/90
4) Límite Plástico	D 4318	T- 89/90
5) Clasificación ASSHTO y SUCS	D 2487	T – 66
6) Densidad Natural	D 4253	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

La ubicación de las calicatas fue definida, de acuerdo a la accesibilidad que se tuvo a las edificaciones encuestadas; al momento de realizar las calicatas, dado que no todas las familias de las edificaciones en cuestión estuvieron de acuerdo en que se hicieran las calicatas en sus propiedades.

El objetivo del estudio de mecánica de suelos es determinar las características físico-mecánicas de las muestras extraídas de los puntos en evaluación que constituyen el terreno de fundación desde el nivel del terreno y su capacidad portante, terrenos sobre el cual se emplazan las estructuras.

Para los objetivos y fines antes mencionados se realizó el trabajo de campo bajo la exploración para determinar las características físicas y mecánicas del suelo, lo cual

⁸ ASTM: American Society for Testing and Materials ó Sociedad Americana para Ensayos y Materiales

⁹ AASHTO: American Association of State Highway and Transportation Officials o Asociación Americana de Autoridades Estatales de Carreteras y Transporte

permitió estimar las condiciones de resistencia para la cimentación, se programó la realización de ensayos PDL y densidad de campo (cono de arena).

Se realizaron ocho calicatas a una profundidad de 2.80 m, una descripción visual en campo de los estratos y condiciones naturales, así como se realizó la obtención de las muestras representativas para ser ensayadas en laboratorio. Finalmente se realizó los ensayos in situ como el PDL y la densidad de campo con el cono de arena, para determinar la densidad natural del suelo.

En la figura 3.35, se observa las ocho calicatas realizadas para el estudio de suelos.



Figura 3.35. Ubicación de las calicatas realizadas para el estudio de suelos. Fuente: Elaboración propia, 2019.



La ubicación de los trabajos realizados in situ se muestran en la figura 3.35, donde se pueden ver los puntos evaluados; cuyas características fueron.

Calicata 01.- se realizó una excavación de 2.80m. A partir del terreno natural de sección rectangular.

Calicata 02.- se realizó una excavación de 2.80m. A partir del terreno natural de sección rectangular.

Calicata 03.- se realizó una excavación de 2.80m. A partir del terreno natural de sección rectangular.

Calicata 04.- se realizó una excavación de 2.80m. A partir del terreno natural de sección rectangular.

Calicata 05.- se realizó una excavación de 2.80m. A partir del terreno natural de sección rectangular.

Calicata 06.- se realizó una excavación de 2.80m. A partir del terreno natural de sección rectangular.

Calicata 07.- se realizó una excavación de 2.80m. A partir del terreno natural de sección rectangular.

Calicata 08.- se realizó una excavación de 2.80m. A partir del terreno natural de sección rectangular.

3.9.1 ENSAYOS REALIZADOS “IN SITU”

a) Descripción e identificación de suelos (Procedimiento visual – manual)

De acuerdo a la Norma NTP 339.150 (basado en la ASTM D 2488: “Standard Practice for Description and Identification (Visual-Manual Procedure). ”)

En los ocho puntos de exploración se realizó una auscultación minuciosa, la cual incluyó el registro cuidadoso de las características de los suelos que conforman cada estrato del perfil del suelo, la clasificación visual de los materiales encontrados de acuerdo con los procedimientos del Sistema Unificado de Clasificación de Suelos.

b) Extracción de Muestras Representativas

De acuerdo a la Norma NTP 339.159(DIN 4094)

Se consideraron los cuatro tipos de muestras que se indican en la tabla 3-23, en función de las exigencias que deben atenderse en cada caso, respecto del terreno que representan.

Tabla 3-23. Tipos de muestra a obtener para estudio de suelos.

TIPO DE MUESTRA	NORMA APLICABLE	FORMAS DE OBTENER Y TRANSPORTAR	ESTADO DE LA MUESTRA	CARACTERÍSTICAS
Muestra inalterada en bloque (Mib)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	Bloques	Inalterada	Debe mantener inalteradas las propiedades físicas y mecánicas del suelo en su estado natural al momento del muestreo (Aplicable solamente a suelos cohesivos, rocas blandas o suelos granulares finos suficientemente cementados para permitir su obtención).
Muestra inalterada en tubo de pared delgada (Mit)	NTP 339.169 SUELOS. Muestreo geotécnico de suelos con tubo de pared delgada	Tubos de pared delgada		
Muestra alterada en bolsa de plástico (Mab)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	Con bolsas de plástico	Alterada	Debe mantener inalterada la granulometría del suelo en su estado natural al momento del muestreo.
Muestra alterada para humedad en lata sellada (Mah)	NTP 339.151 SUELOS. Prácticas normalizadas para la preservación y transporte de suelos	En lata sellada	Alterada	Debe mantener inalterado el contenido de agua.

Fuente: RNE. 0.50

3.9.2 ENSAYOS EN LABORATORIO

El Estudio de Mecánica de Suelos se ha desarrollado siguiendo los lineamientos y recomendaciones que están contenidos en el “MANUAL DE ENSAYOS DE MATERIALES PARA CARRETERAS (EM-2016)”, que incluyen las normas de la ASTM (American Society for Testing Materials), la AASHTO (American Association of State Highway and Transportation Officials)

Los ensayos realizados en el laboratorio y las Normas empleadas fueron las siguientes:

a) Ensayo de Contenido De Humedad

De acuerdo a la Norma NTP 339.127, basado en la ASTM D- 2216: “Standard Test Method of Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock.”

Se siguió el procedimiento del ítem 2.12.3 Ensayo de contenido de humedad.

En la figura 3.36 se aprecia el secado de muestras en el horno.



Figura 3.36 Horno utilizado en el ensayo de contenido de humedad. Fuente: Laboratorio, 2019.

b) Ensayo de Análisis Granulométrico

De acuerdo al manual MTC E 107 - 2016, Basado en la Norma ASTM D-422: “Standard Test Method for Particle-size Analysis of Soils. ” y AASHTO T-88. Se siguió el procedimiento del ítem 2.12.1 Ensayo de Análisis Granulométrico. En la figura 3.37 se muestran los tamices utilizados en el análisis granulométrico.



Figura 3.37 Tamices utilizados en el ensayo de análisis granulométrico. Fuente: Laboratorio, 2019.

c) Ensayo de Limite Líquido

De acuerdo al manual MTC E 110 - 2016, basado en la Norma ASTM D-4318: “Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ” Y AASHTO T-89

Se siguió el procedimiento del ítem 2.12.2 Límites de Consistencia; para el ensayo de límite líquido.

d) Ensayo de Limite Plástico

De acuerdo al manual MTC E 111 - 2016, basado en la norma ASTM D-4318: “Standard Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils. ” y AASHTO T-90

Se siguió el procedimiento del ítem 2.12.2 Límites de Consistencia; para el ensayo de límite plástico.

e) Ensayo de Corte Directo

De acuerdo al manual MTC E 123 - 2016, basado en la norma ASTM D-3080: “Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. ” y AASHTO T-236.

Se siguió el procedimiento del ítem 2.12.4 Ensayo de Corte Directo.

En la figura 3.38 se muestra en el equipo utilizado en el ensayo mencionado.



Figura 3.38 Equipo utilizado en el ensayo de corte directo, para determinar la capacidad portante del suelo. Fuente: Laboratorio, 2019.

3.9.3 DETERMINACIÓN DE LA CAPACIDAD DE CARGA

a) Capacidad de carga

La capacidad de carga, comprendida como el máximo esfuerzo que es capaz de soportar el suelo antes de fallar por corte, ha sido calculada en base a las **teorías de Terzagui, Meyerhof y Vesic**, de acuerdo a lo indicado en el ítem 2.13.1 Capacidad de Carga.

b) Asentamientos

Los asentamientos se calcularon de acuerdo a lo indicado en el ítem 2.13.2 Asentamientos.



En la tabla 3-24 se describen las calicatas evaluadas; a partir del nivel del terreno natural.

Tabla 3-24. Puntos evaluados en el estudio de mecánica de suelos.

CALICATA	PROFUNDIDAD (m)	ESTRATO	POTENCIA (m)	TIPO DE SUELO
01	2.80	E-1	4.30	CL
02	2.80	E-1	4.60	CL
03	2.80	E-1	4.40	CL
04	2.80	E-1	4.70	CL
05	2.80	E-1	5.00	CL
06	2.80	E-1	4.70	CL
07	2.50	E-1	4.80	CL
08	2.80	E-1	3.80	SC-SM

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Los estratos a partir del fondo de cada calicata mostrada en la tabla anterior, son a partir del estudio realizado que corresponden a suelos finos de baja plasticidad poco deformables debido a la humedad alta.

Las características del material del terreno de fundación que corresponden al estrato como apoyo de las cimentaciones se aprecian en la tabla 3-25.

Tabla 3-25. Resultados de estudio de suelos en las calicatas realizadas.

Punto	Humedad Natural	Límite Líquido	Límite Plástico	Índice de Plasticidad	SUCS	Ø y C
P-01	24.25%	28.00%	16.00%	12.00%	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	0 0.70 kg/cm ²
P-02	46.85%	30.00%	16.00%	14.00%	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	11 ^a 46' 23" 0.33 kg/cm ²
P-03	28.11%	32.00%	15.00%	17.00%	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	0 0.45 kg/cm ²
P-04	26.30%	30.00%	17.00%	13.00%	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	0 0.51 kg/cm ²
P-05	25.80%	20.00%	13.00%	7.00%	“Arcilla ligera de baja plasticidad con arena (CL)”	17 ^a 06' 34" 0.25 kg/cm ²
P-06	23.66%	32.00%	14.00%	18.00%	“Arcilla ligera de baja plasticidad con arena (CL)”	0 1.55 kg/cm ²
P-07	40.67%	32.00%	13.00%	19.00%	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	0 0.52 kg/cm ²
P-08	22.20%	21.00%	15.00%	6.00%	“Arena limosa arcillosa (SC-SM)”	28 ^a 37' 42" 0.16 kg/cm ²

Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.9.4 RESULTADOS

Para la interpretación de los resultados obtenidos en laboratorio e in-situ, y verificar si los materiales cumplen con los requerimientos mínimos establecidos por la norma se utilizaron las referencias de la Norma E 050 Suelos y Cimentaciones, del Reglamento Nacional de Edificaciones.

Por lo tanto; la capacidad portante de cimentación, para las calicatas estudiadas; a partir del terreno natural, se muestra en la tabla 3-26.

Tabla 3-26. Resumen de capacidad portante de calicatas estudiadas.

Calicata	Qadm (kg/cm ²)	Df (m)
P-01	1.14	2.10
P-02	1.27	2.70
P-03	0.77	2.50
P-04	0.87	2.50
P-05	1.20	2.40
P-06	1.14	2.10
P-07	0.89	2.50
P-08	1.21	2.10

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se observa, mientras más profundo los estratos la resistencia del suelo incrementa debido a la consistencia o compacidad del suelo, ya que a mayores profundidades el suelo es más resistente.

En la figura 3.39 se aprecia que tres calicatas estudiadas no sobrepasan 1 kg/cm² que es el indicativo de un buen suelo, las cinco calicatas restantes tienen una capacidad portante superior a 1 kg/cm².

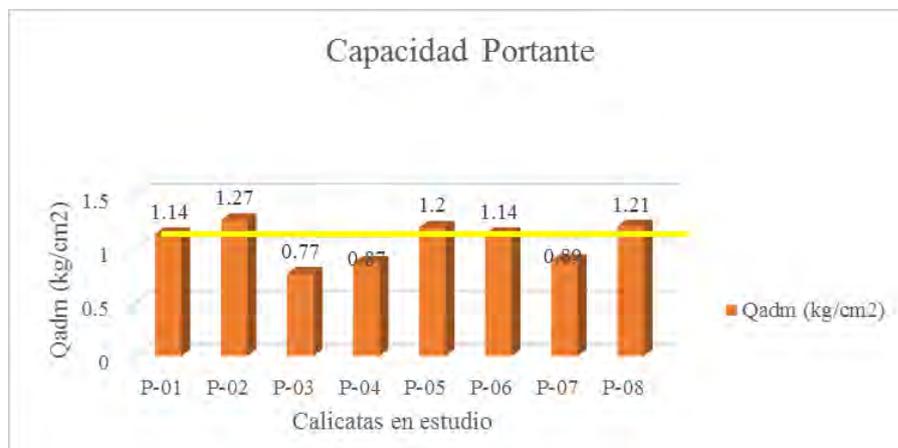


Figura 3.39 Gráfico de las calicatas estudiadas según su capacidad portante. Fuente: Elaboración propia, 2019.

PERFILES ESTRATIGRÁFICOS

El perfil estratigráfico de algunos de los puntos estudiados se muestra en la figura 3.40 para la calicata dos, en la figura 3.41 para la calicata cinco y en la figura 3.42 para la calicata ocho.

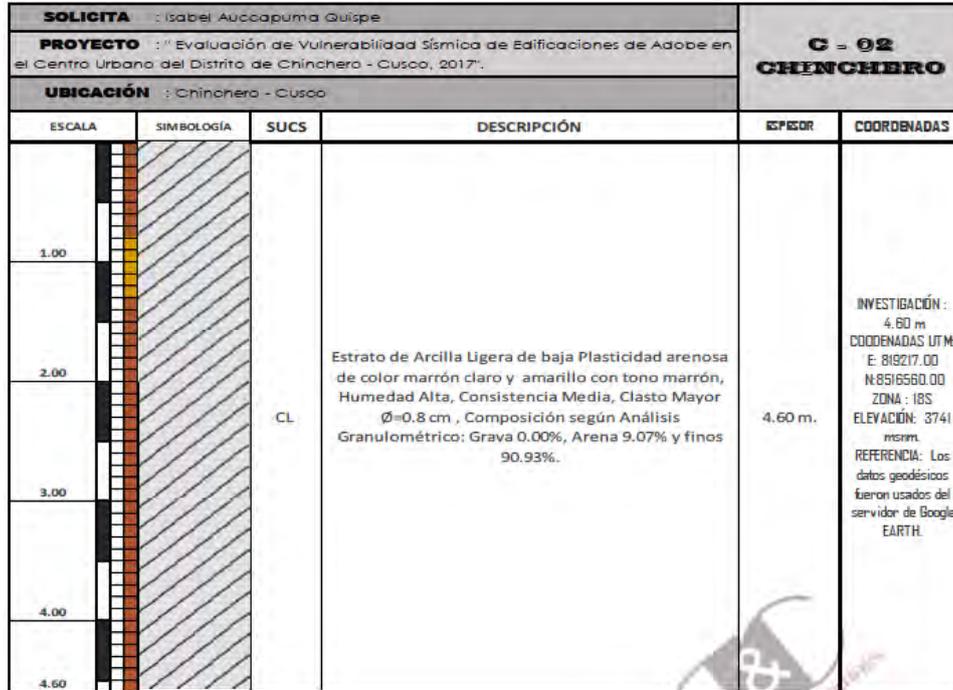


Figura 3.40 Perfil estratigráfico de la calicata n° 02, donde se puede ver que el tipo de suelo es CL. Fuente: Elaboración propia, 2019.

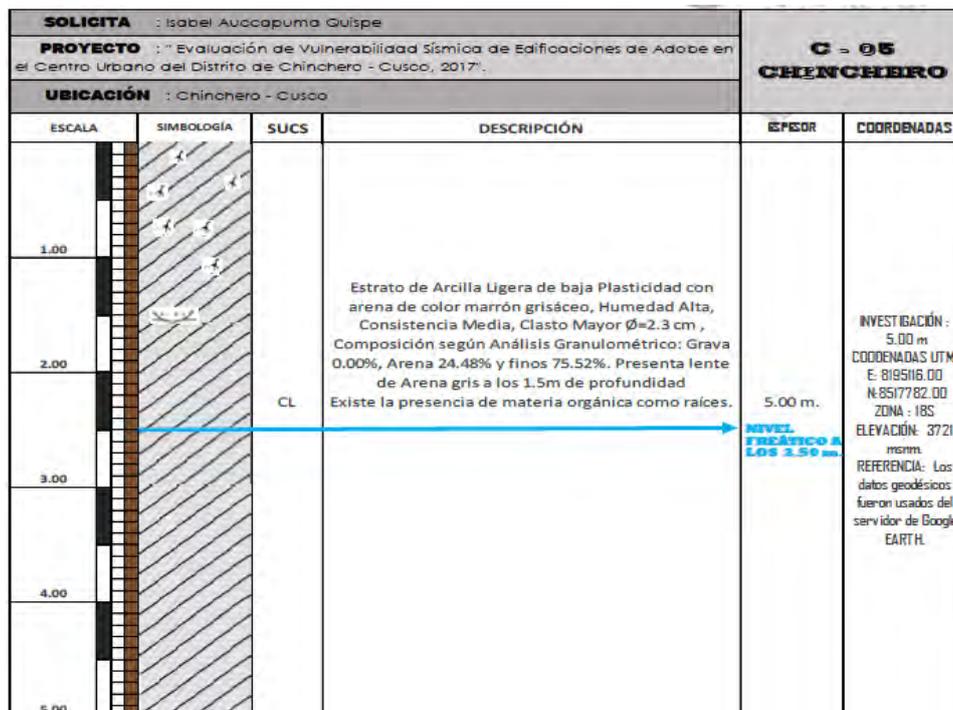


Figura 3.41 Perfil estratigráfico de la calicata n° 05, donde se puede ver que el tipo de suelo es CL. Fuente: Elaboración propia, 2019.

SOLICITA : Isabel Auccapuma Quispe				C - 08 CHINCHERO	
PROYECTO : " Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica de Edificaciones de Adobe en el Centro Urbano del Distrito de Chinchero - Cusco, 2017".					
UBICACIÓN : Chinchero - Cusco					
ESCALA	SIMBOLOGÍA	SUCS	DESCRIPCIÓN	ESESOR	COORDENADAS
1.00		SC-SM	Estrato de Arena Limosa arcillosa de color marrón grisáceo, Humedad Media a Alta, Consistencia Media, Clasto Mayor $\varnothing=2.2$ cm , Composición según Análisis Granulométrico: Grava 0.00%, Arena 57.84% y finos 42.16%. Presenta lente de Gravilla a los 2.30m de profundidad	3.80 m.	INVESTIGACIÓN : 3.80 m COORDENADAS UTM: E: 818503.00 N: 8518525.00 ZONA : 18S ELEVACIÓN: 3715 msnm. REFERENCIA: Los datos geodésicos fueron usados del servidor de Google EARTH.
2.00					
3.00					
3.80					

Figura 3.42 Perfil estratigráfico de la calicata n° 08, donde se puede ver que el tipo de suelo es SC-SM.
Fuente: Elaboración propia, 2019.

3.10 TIPO DE COBERTURA DE LAS EDIFICACIONES EN CHINCHERO

Existen dos tipos de cobertura en las viviendas estudiadas, los techos de dos caídas y los techos de una caída.

El sistema de cobertura es de techo par con tirante, y se espacian cada 80 cm, a lo largo de todo el techo y aleros. Asimismo el sistema de cobertura de una sola caída, consta de umbrales. Esto se observa en las figs. 3.43, 3.44, y fig. 3.45.



Figura 3.43. A la derecha tipo de techo de dos caídas, a la izquierda tipo de techo de una caída. Fuente: Elaboración propia, 2019.

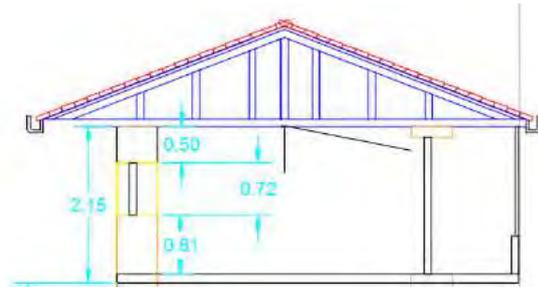


Figura 3.44. Foto y plano de vivienda encuestada N°01, donde se aprecia el tipo de techo de dos caídas. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 3.45. Foto y plano de vivienda encuestada N°11, donde se aprecia el tipo de techo de una caída. Fuente: Elaboración propia, 2019.



CAPITULO 4. DESARROLLO DE CÁLCULOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 EVALUACIÓN DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LAS EDIFICACIONES DE ADOBE

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de adobe en centros urbanos, se hizo uso del método del índice de vulnerabilidad, desarrollado por investigadores italianos a partir del año 1982. Es un método que permite calcular la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de mampostería de una forma rápida y sencilla, la credibilidad de este método radica en su amplia aplicación a nivel internacional y a sus resultados satisfactorios. Este método fue desarrollado para el estudio de estructuras de mampostería, como para estructuras de hormigón armado. Sin embargo, para su utilización en estructuras de adobe se tomó en cuenta la adaptación hecha por parte de Chío Y Maldonado en el libro titulado “Vulnerabilidad sísmica en centros urbanos”, donde hace referencia a la evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería, es decir adobe.

Además, se hizo una adaptación en conformidad con las normas peruanas, por parte de Rodríguez y Sardón en la tesis “Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de Tipo Colonial del Centro Histórico del Cusco” para edificaciones de adobe en la ciudad del Cusco.

4.1.1 APLICACIÓN AL CENTRO URBANO DEL DISTRITO DE CHINCHERO

Con los parámetros mencionados en el ítem 2.6.2 Parámetros en el formulario de levantamiento, se procedió a evaluar las 20 viviendas encuestadas.

1. ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE

En este parámetro, para definir la clase A, B, C o D, se recurrió a la época de construcción de la vivienda, dando en cuenta que la organización del sistema resistente no presenta arriostres horizontales ni contrafuertes, pero están conformados por muros ortogonales bien trabados en los encuentros; a

excepción de una vivienda que sí presenta contrafuertes, es así que, para este parámetro, en el resto de viviendas la asignación recae en la clase “C”.

En la tabla 4-1 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.1 su representación gráfica.

Tabla 4-1. Resultados de la clasificación del parámetro 01.

CLASIFICACIÓN.	Nº EDIFICACIONES	%
A	0	0%
B	2	10%
C	18	90%
D	0	0%

Fuente: Elaboración Propia, 2019.

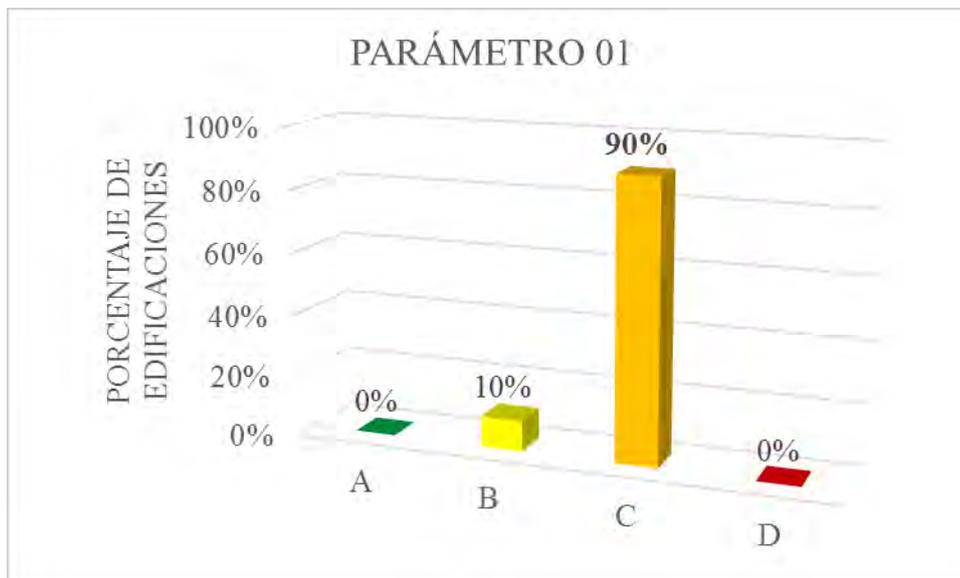


Figura 4.1. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figuras 4.2 y 4.3 se muestran evidencias fotográficas.



Figura 4.2. Edificación con contrafuertes en las esquinas. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 4.3. Edificación sin arriostre horizontal y vertical, ni contrafuertes, cuenta con muros ortogonales bien trabados. Fuente: Elaboración propia, 2019.

2. CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE

Durante las encuestas, se pudo constatar la calidad del adobe que se utilizó para la construcción de las viviendas, dando cuenta que son piezas homogéneas en toda la extensión del muro que estaba constituida con paja, gravilla, arcilla y limo, siendo estas de buena calidad, con juntas de mortero entre 1.0 cm a 2 cm de espesor, el aparejo de las unidades de adobe es del tipo diatónico, entonces la clase asignada para este parámetro para las edificaciones es la clase “B”, y en algunos casos donde las piezas no son homogéneas en toda la extensión del muro, por lo cual se asignó la clase “C”.

En la tabla 4-2 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.4 su representación gráfica.

Tabla 4-2 Resultados de la clasificación del parámetro 02.

CLASIFICACIÓN.	N° EDIFICACIONES	%
A	0	0%
B	10	50%
C	9	45%
D	1	5%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

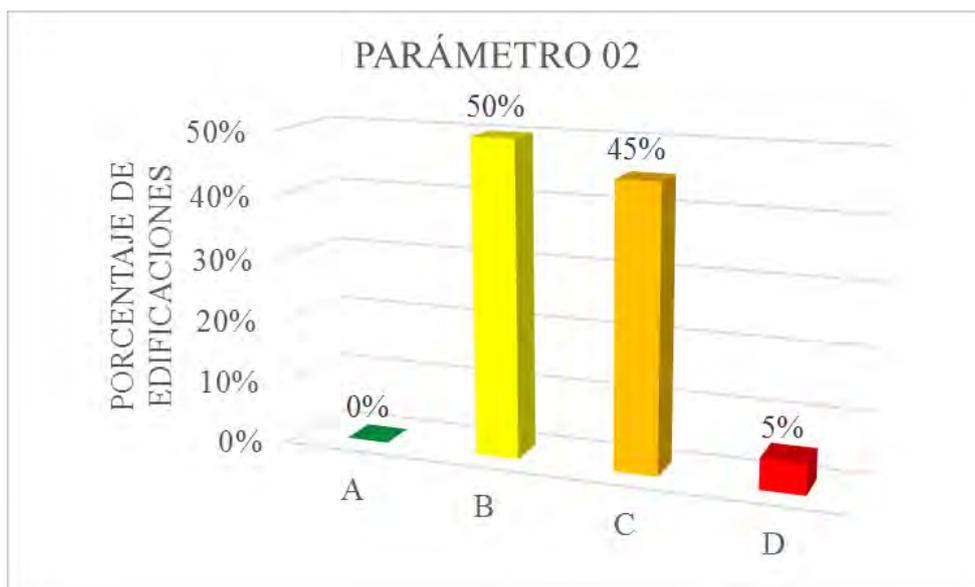


Figura 4.4 Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figuras 4.5 y 4.6 se muestran evidencias fotográficas.



Figura 4.5. Homogeneidad de las piezas y presencia de trabazón entre las unidades de adobe en la vivienda encuestada n° 06. Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura 4.6. Ancho de mortero de la vivienda encuestada n° 06. Fuente: Elaboración propia, 2019.

3. RESISTENCIA CONVENCIONAL

En este parámetro, la existencia de lotes de terreno demasiado irregulares y a consecuencia de ello la diversidad de en las dimensiones en planta de las edificaciones, hizo necesario que se determinen tres modelos estructurales, que representan una relación de longitudes de muros en la dirección X e Y, y la relación de áreas; estableciéndose así, el modelo rectangular, el modelo semi cuadrado, y el modelos en “L”.

En la figura 4.7 se muestra plano de vivienda como evidencia fotográfica.

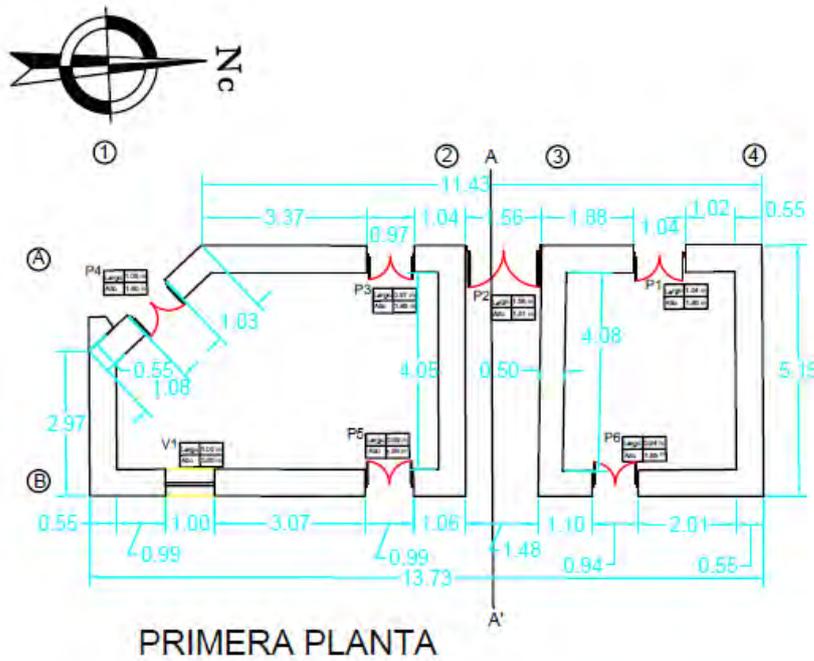


Figura 4.7. Distribución arquitectónica del primer piso de una casa modelo rectangular, del centro urbano del distrito de Chinchero. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Estas distribuciones arquitectónicas se detallaron en el apartado de descripción de características arquitectónicas.

Con los planos de catastro de la zona urbana del distrito, y con los levantamientos que se hizo durante la encuesta y trabajo de campo, se obtuvo las áreas construidas de cada una de las edificaciones estudiadas. Así como el número de pisos de cada construcción.

Tabla 4-3. Resumen de los valores de capacidad portante de los suelos estudiados.

Punto	SUCS	Ø	C (kg/cm ²)	Q _{admisible} (kg/cm ²)
P-01	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	0°	0.70 kg/cm ²	1.14
P-02	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	11° 46' 23"	0.33 kg/cm ²	1.27
P-03	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	0°	0.45 kg/cm ²	0.77
P-04	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	0°	0.51 kg/cm ²	0.87
P-05	“Arcilla ligera de baja plasticidad con arena (CL)”	17° 06' 34"	0.25 kg/cm ²	1.20
P-06	“Arcilla ligera de baja plasticidad con arena (CL)”	0°	1.55 kg/cm ²	1.14
P-07	“Arcilla ligera de baja plasticidad (CL)”	0°	0.52 kg/cm ²	0.89
P-08	“Arena limosa arcillosa (SC-SM)”	28° 37' 42"	0.16 kg/cm ²	1.21

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Como se puede ver en la tabla 4-3, la capacidad portante oscila entre valores de 0.77 kg/cm² a 1.21 kg/cm²; por esta razón el factor suelo se consideró como suelo intermedio.



Para calcular el peso de la edificación, P, se procedió a hacer un cálculo de cada uno de los modelos; el peso de la cubierta, el peso de los muros y el peso del entrepiso cuando éste existía en la edificación.

Para obtener la resistencia última de corte se realizaron ensayos en laboratorio, para determinar las propiedades mecánicas de la albañilería de adobe. Con los ensayos antes mencionados se obtuvo el valor de $t_k = 4.85 \text{ ton/m}^2$.

Con todos los datos anteriores se procedió a seguir los pasos que plantea el método del Índice de Vulnerabilidad con la respectiva adaptación que hicieron Rodríguez y Sardón (2005).

Los resultados se muestran en la tabla n° 4-4, donde las clasificación de las edificaciones oscila entre la clase A, B y C.

Tabla 4-4. Resumen del parámetro 3, con la calificación para cada edificación encuestada, donde resaltan las calificaciones de A, B y C.

N° Edificación	N° Pisos N	Peso promedio de la planta w(ton/m ²)	Area total cubierta Ap (m ²)	Peso (ton)	Area muros X-X Amx (m ²)	Area muros Y-Y Amy (m ²)	Area menor Am (m ²)	Resist. Cortante tk (ton/m ²)	S*U*C		tk*Am		Clase
									β	α	γ	A,B,C,D	
N° 01	2	2.220	66.960	297.331	25.025	16.220	16.220	4.850	0.210	0.265	1.260	A	
N° 02	2	2.232	63.925	285.400	14.090	22.215	14.090	4.850	0.210	0.239	1.140	A	
N° 03	2	2.343	68.200	319.566	20.735	11.678	11.678	4.850	0.210	0.177	0.844	B	
N° 04	2	2.200	79.620	350.328	25.550	16.835	16.835	4.850	0.210	0.233	1.110	A	
N° 05	3	3.240	39.400	382.968	19.760	11.065	11.065	4.850	0.210	0.140	0.667	C	
N° 06	2	2.475	44.700	221.265	12.024	8.310	8.310	4.850	0.210	0.182	0.867	B	
N° 07	2	2.200	36.600	161.040	12.460	6.960	6.960	4.850	0.210	0.210	0.998	B	
N° 08	2	1.980	39.700	157.212	15.670	9.150	9.150	4.850	0.210	0.282	1.344	A	
N° 09	2	2.200	57.960	255.024	14.432	21.186	14.432	4.850	0.210	0.274	1.307	A	
N° 10	2	2.250	55.773	250.980	16.898	14.940	14.940	4.850	0.210	0.289	1.375	A	
N° 11	2	2.329	28.375	132.194	8.550	5.300	5.300	4.850	0.210	0.194	0.926	B	
N° 12	2	2.152	62.795	270.292	15.495	8.000	8.000	4.850	0.210	0.144	0.684	C	
N° 13	1	2.025	41.740	84.524	4.916	4.368	4.368	4.850	0.210	0.251	1.194	A	
N° 14	2	2.152	45.960	197.828	10.535	14.128	10.535	4.850	0.210	0.258	1.230	A	
N° 15	2	2.063	28.180	116.243	11.809	6.380	6.380	4.850	0.210	0.266	1.268	A	
N° 16	2	2.020	56.820	229.599	15.588	10.786	10.786	4.850	0.210	0.228	1.085	A	
N° 17	2	2.000	39.800	159.200	12.312	6.417	6.417	4.850	0.210	0.195	0.931	B	
N° 18	2	3.075	45.990	282.839	21.741	7.200	7.200	4.850	0.210	0.123	0.588	C	
N° 19	1	2.830	28.030	79.330	3.830	5.485	3.830	4.850	0.210	0.234	1.115	A	
N° 20	2	1.980	16.590	65.696	5.999	4.743	4.743	4.850	0.210	0.350	1.667	A	

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-5 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.8 su representación gráfica.

Tabla 4-5. Resultados de la clasificación del parámetro 03.

CLASIFICACIÓN.	N° EDIFICACIONES	%
A	12	60%
B	5	25%
C	3	15%
D	0	0%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

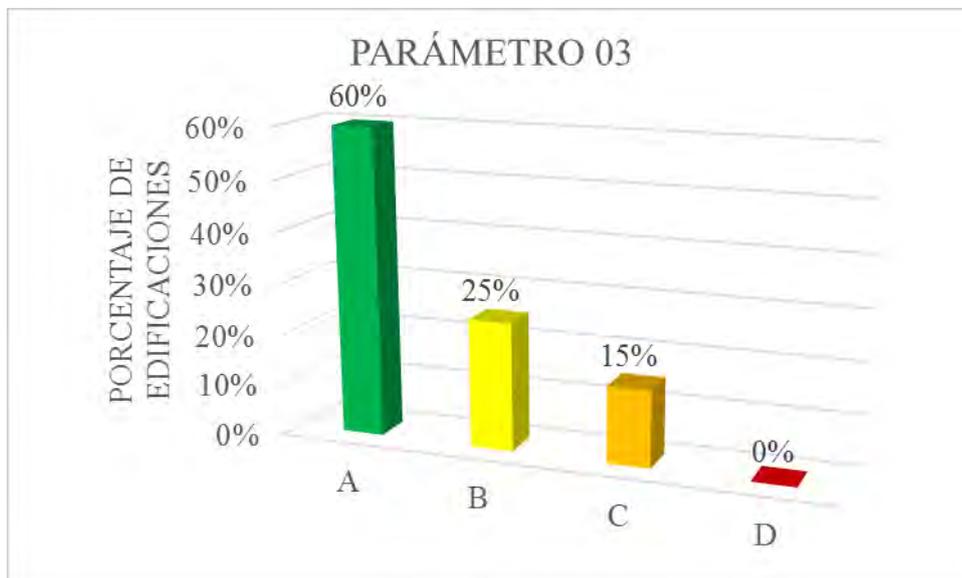


Figura 4.8. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.

4. POSICIÓN DEL EDIFICIO Y LA CIMENTACIÓN

Según los planos geotécnicos y topográficos que se tienen, se puede observar que la zona urbana del Distrito, presenta una pendiente que varía entre el 0% al 25%, como se muestra en el plano de pendientes obtenido del plano catastral del municipio distrital, este plano se muestra en el anexo C: PLANO N° 07: Plano de Pendientes de terreno en el distrito de Chinchero.

Por esta razón la clasificación de la mayoría de las edificaciones en este parámetro es A.

En la tabla 4-6 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.9 su representación gráfica.

Tabla 4-6. . Resultados de la clasificación del parámetro 04.

CLASIFICACIÓN.	Nº EDIFICACIONES	%
A	11	55%
B	5	25%
C	1	5%
D	3	15%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

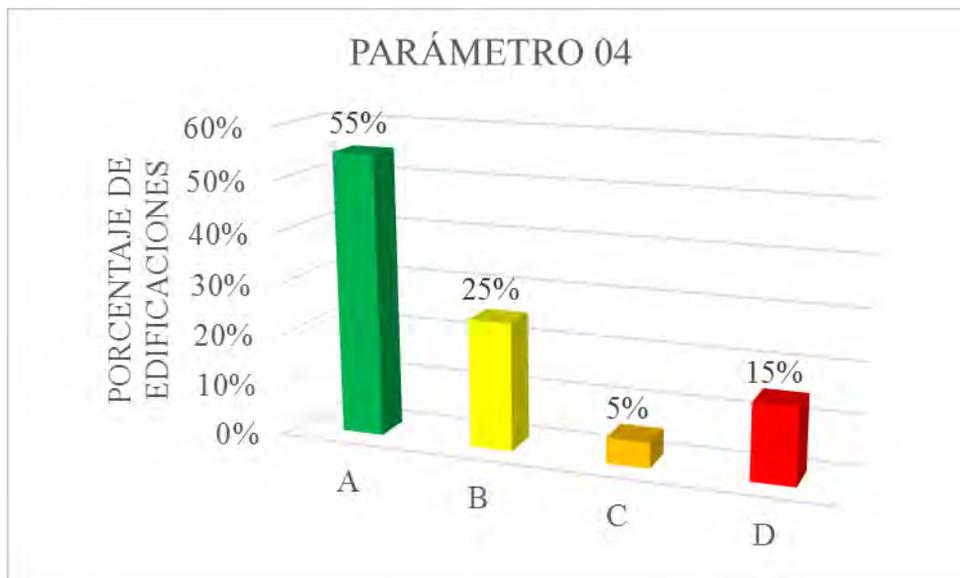


Figura 4.9. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 04. Fuente: Elaboración propia, 2019.

5. DIAFRAGMAS HORIZONTALES

Se hace notar que las construcciones de la zona urbana del distrito de Chinchero en cuanto al entrepiso carecen de rigidez y no presentan un adecuado anclaje a los muros. Entonces estos no se comportan como diafragma.

En caso de edificaciones de un solo piso, se asignó la clase B. de igual manera para las edificaciones de dos o más pisos, dado que todas las edificaciones no presentan viga solera, en ninguno de los casos.

En la figura 4.10 se muestra evidencia fotográfica.



Figura 4.10 Edificación de dos pisos con diafragma irregular y falta de rigidez, no presenta viga solera. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-7 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.11 su representación gráfica.

Tabla 4-7. Resultados de la clasificación del parámetro 05.

CLASIFICACIÓN.	N° EDIFICACIONES	%
A	0	0%
B	1	5%
C	17	85%
D	2	10%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

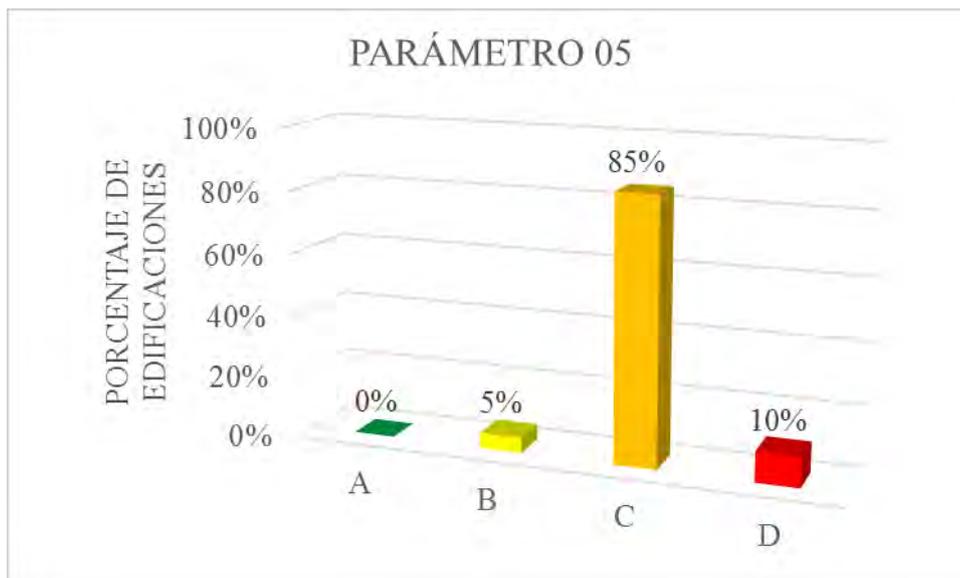


Figura 4.11. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 05. Fuente: Elaboración propia, 2019.

6. CONFIGURACIÓN EN PLANTA

Para los valores de β_1 , β_2 y de las irregularidades que se presentan, se utilizó la información de los planos de levantamiento que se hizo de las edificaciones; durante el trabajo de campo. Esta información presentó los perímetros de las viviendas y sus áreas.

Como se aprecia en los planos que se presentan en el anexo D: Fichas de encuesta y reporte de las edificaciones, las cuales incluyen en cada reporte el plano correspondiente a cada edificación evaluada; por ello, en la zona urbana del Distrito se encuentran las cuatro categorías posibles: A, B, C y D.

En la figura 4.12 se muestra configuraciones en planta de algunas viviendas encuestadas.

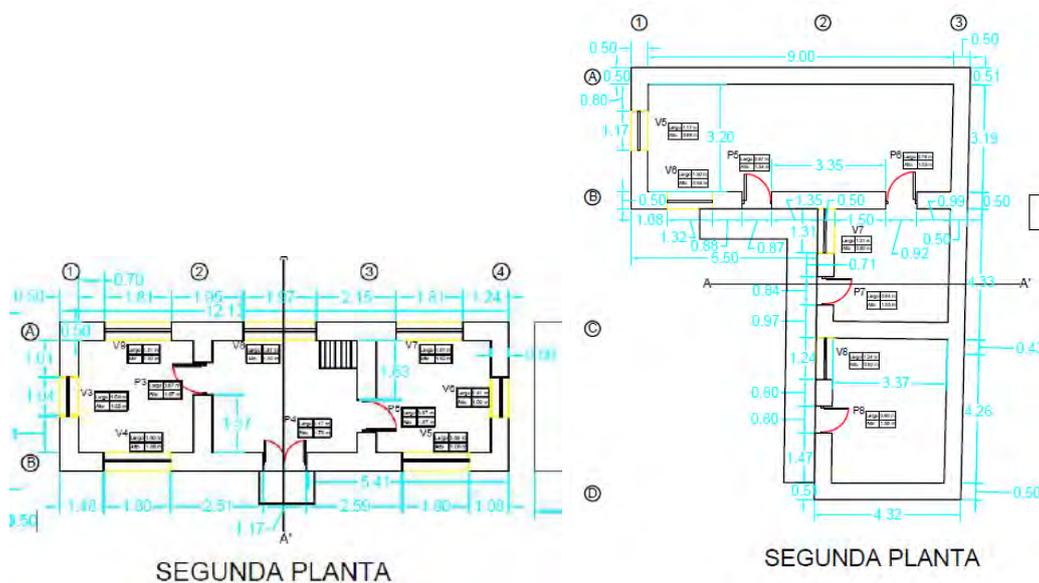


Figura 4.12 Configuración de las edificaciones encuestadas n° 05 y 04, se observa la diversidad de configuración en planta. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-8 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.11 su representación gráfica.

Tabla 4-8. Resultados de la clasificación del parámetro 06.

CLASIFICACIÓN.	N° EDIFICACIONES	%
A	1	5%
B	0	0%
C	9	45%
D	10	50%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

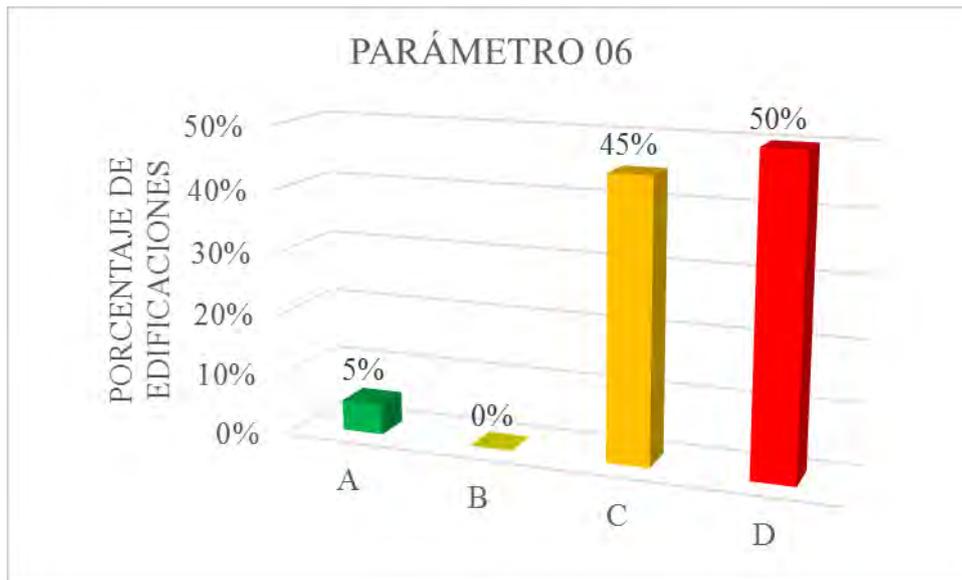


Figura 4.13. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 06. Fuente: Elaboración propia, 2019.

7. CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN

Se asignó la clase A, para aquellas edificaciones de un solo piso que no presenten ninguna irregularidad en elevación, la clase B a las de dos pisos que no presentan demasiada irregularidad en elevación y la clase C a aquellas edificaciones que presentan demasiada irregularidad en altura. Dado que las edificaciones de un piso no presentan ningún tipo de irregularidad estructural en altura; salvo algunas que tienen chimeneas altas, en las edificaciones de dos pisos puede considerarse una irregularidad geométrica vertical, dado que algunas de ellas son variables en cuanto a su continuidad en altura, y en las de tres pisos, se ve una mayor variación de masa, como consecuencia de ello se le asignó la clase C.

En la figura 4.14 se muestran evidencias fotográficas.



Figura 4.14 Edificaciones de dos y tres pisos que presentan irregularidad en elevación. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-9 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.15 su representación gráfica.

Tabla 4-9. Resultados de la clasificación del parámetro 07.

CLASIFICACIÓN.	N° EDIFICACIONES	%
A	0	0%
B	0	0%
C	20	100%
D	0	0%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

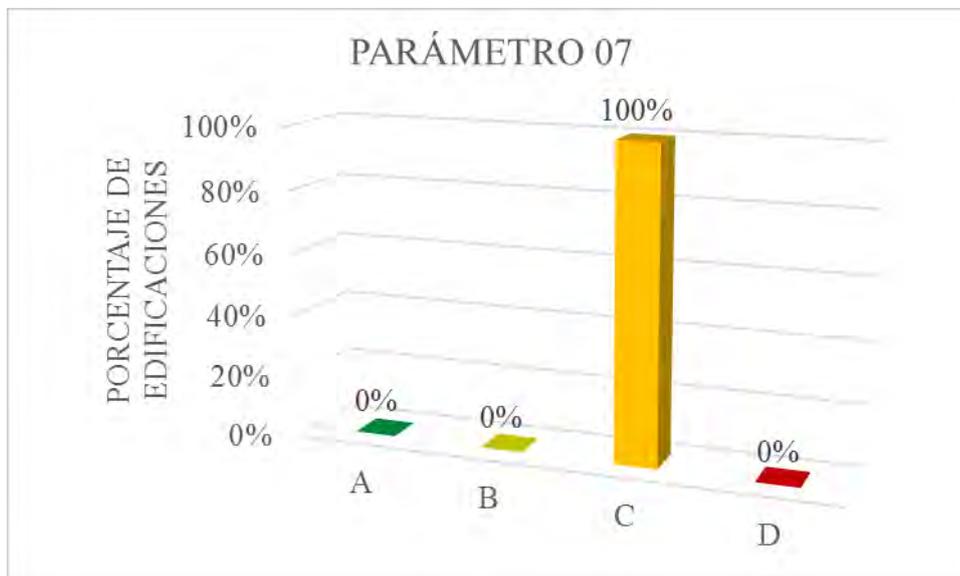


Figura 4.15. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 07. Fuente: Elaboración propia, 2019.

8. SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE MUROS

Partiendo de los planos elaborados para cada vivienda encuestada, se tiene que el espesor de muro varía de 0.40 m a 0.60 m, y la distancia máxima de muros se muestra en los planos, de acuerdo a estos resultados se tiene los valores obtenidos en algunas edificaciones y sus respectivas clasificaciones en la tabla 4-10.

Tabla 4-10. Cálculo de valor L/S, para las edificaciones encuestadas n° 05, 10 y 13 respectivamente.

Edificación	L	S	L/S	Clasificación
Edificación n° 05	11.13	0.50	22.26	C
Edificación n° 10	9.13	0.45	20.3	C
Edificación n° 13	8.57	0.40	21.4	C

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-11 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.16 su representación gráfica.

Tabla 4-11. Resultados de la clasificación del parámetro 08.

CLASIFICACIÓN.	N° EDIFICACIONES	%
A	5	25%
B	4	20%
C	9	45%
D	2	10%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

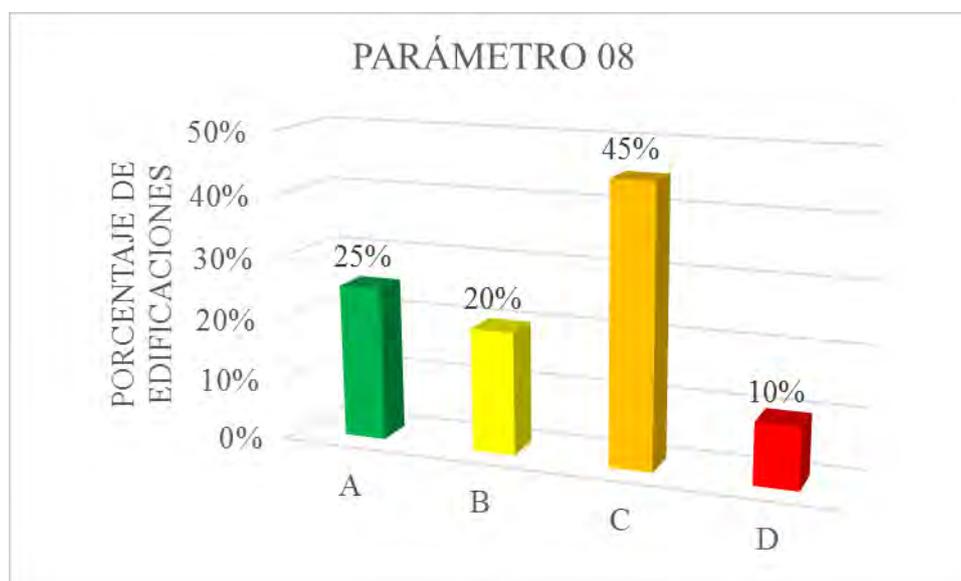


Figura 4.16. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 08. Fuente: Elaboración propia, 2019.

9. TIPO DE CUBIERTA

Según las observaciones de campo, las cubiertas de las edificaciones tanto de un piso, como de dos y tres pisos es de tipo par con viga cumbreira, que para este

parámetro recae en la clase A, y en los casos que la edificación no presenta viga cumbreira, recae en la clase B.

En la figura 4.17 se muestran evidencias fotográficas.



Figura 4.17 Se observa la configuración de par con viga cumbreira. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-12 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.18 su representación gráfica.

Tabla 4-12. Resultados de la clasificación del parámetro 09.

CLASIFICACIÓN.	Nº EDIFICACIONES	%
A	16	80%
B	2	10%
C	1	5%
D	1	5%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

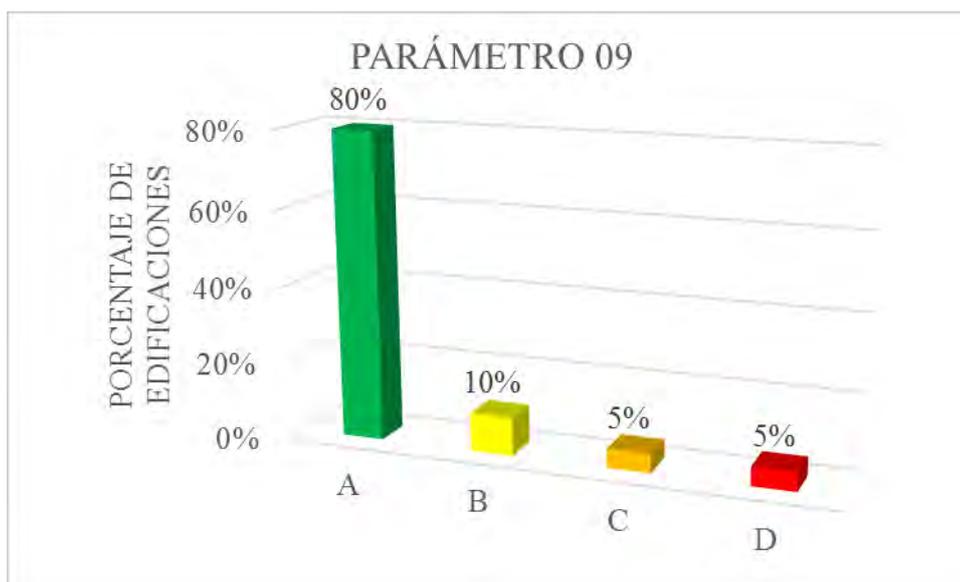


Figura 4.18. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 09. Fuente: Elaboración propia, 2019.

10. ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

La clase asignada para este parámetro es A, para las edificaciones de un solo piso, dado que no cuentan con entrepiso y/o balcón. Para las edificaciones de dos y tres pisos que cuentan con entrepiso y balcón, se les asignó la clase B.

En la figura 4.19 se muestra evidencia fotográfica.



Figura 4.19 Elemento no estructural anclado al entrepiso. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-13 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.20 su representación gráfica.

Tabla 4-13. Resultados de la clasificación del parámetro 10.

CLASIFICACIÓN.	N° EDIFICACIONES	%
A	0	0%
B	7	35%
C	13	65%
D	0	0%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

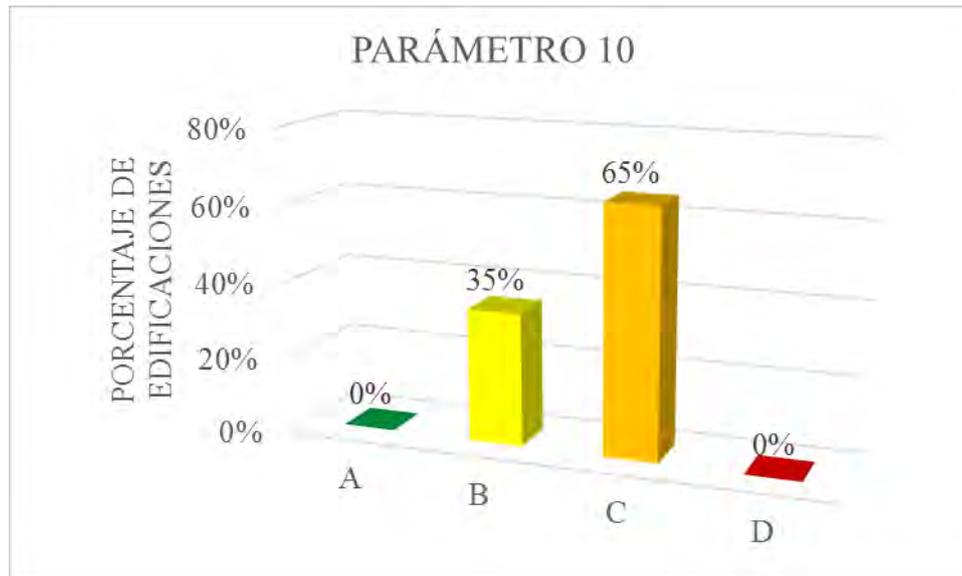


Figura 4.20. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 10. Fuente: Elaboración propia, 2019.

11. ESTADO DE CONSERVACIÓN

Para este parámetro, se observó las edificaciones durante el recorrido del trabajo de campo, para determinar el estado en el que se encontrarían las edificaciones de la zona urbana del Distrito. En la mayoría de los casos, se clasificó en la clase B, C y D.

En la figura 4.21 se muestra evidencia fotográfica.



Figura 4.21 Se observa el mal estado de conservación de la edificación. Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-14 se muestra el resumen de la clasificación de este parámetro, y en la figura 4.22 su representación gráfica.

Tabla 4-14. Resultados de la clasificación del parámetro 11.

CLASIFICACIÓN.	N° EDIFICACIONES	%
A	0	0%
B	5	25%
C	12	60%
D	3	15%
TOTAL	20	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

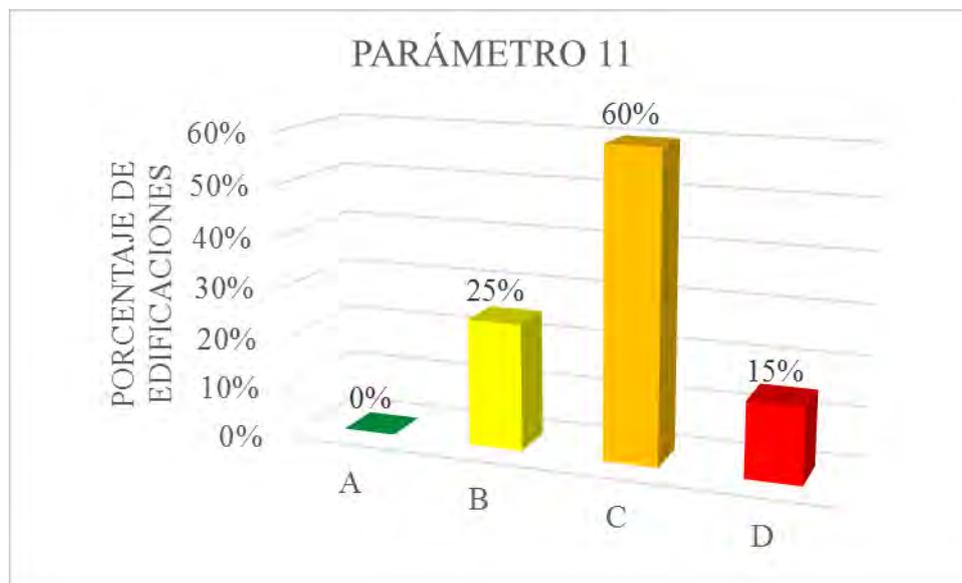


Figura 4.22. Resumen en gráfico de barras de la clasificación en el parámetro 11. Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.2 RESULTADOS DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

Una vez obtenidas todas las calificaciones (A, B, C o D) de cada uno de los once parámetros analizados de la edificación, de acuerdo con la tabla N° 2-1 se la asignó un valor numérico según la escala propuesta por D. Benedetti, G. Benzoni y M. Parisi. (1988). Luego de aplicar la ecuación 2-12. Y de normalizar el nivel de vulnerabilidad en tres niveles, se obtuvo los resultados mostrados en la tabla 4-15.



Tabla 4-15. Resultado final de la aplicación del método de Índice de Vulnerabilidad.

EDIFICACIÓN	Nº de pisos	Iv	Iv Normalizado (%)	DESCRIPCIÓN
Vivienda N° 01	2	166.25	43%	Vulnerabilidad Alta
Vivienda N° 02	2	160	42%	Vulnerabilidad Alta
Vivienda N° 03	2	127.5	33%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 04	2	165	43%	Vulnerabilidad Alta
Vivienda N° 05	3	157.5	41%	Vulnerabilidad Alta
Vivienda N° 06	2	112.5	29%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 07	2	152.5	40%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 08	2	133.75	35%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 09	2	90	24%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 10	2	141.25	37%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 11	2	131.25	34%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 12	2	158.75	42%	Vulnerabilidad Alta
Vivienda N° 13	1	115	30%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 14	2	60	16%	Vulnerabilidad Baja
Vivienda N° 15	2	108.75	28%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 16	2	156.25	41%	Vulnerabilidad Alta
Vivienda N° 17	2	123.75	32%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 18	2	162.5	42%	Vulnerabilidad Alta
Vivienda N° 19	1	112.5	29%	Vulnerabilidad Media
Vivienda N° 20	2	116.25	30%	Vulnerabilidad Media

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la tabla 4-16 se puede observar que el 5 % de las edificaciones presenta vulnerabilidad baja, el 60% de las edificaciones encuestadas presentan vulnerabilidad media y el 35% presenta vulnerabilidad alta, por ello se puede decir las edificaciones presentan un nivel de vulnerabilidad predominantemente media.

Tabla 4-16. Cuadro resumen del nivel de vulnerabilidad de las edificaciones evaluadas.

NIVEL DE VULNERABILIDAD	Nº DE EDIFICACIONES	%
Vulnerabilidad Baja	1.00	5%
Vulnerabilidad Media	12.00	60%
Vulnerabilidad Alta	7.00	35%
TOTAL	20.00	100%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

En la figura 4.23 se muestra el gráfico de barras, con el resultado de los niveles de vulnerabilidad hallados en la evaluación de las edificaciones de adobe en la zona urbana del distrito de Chinchero.

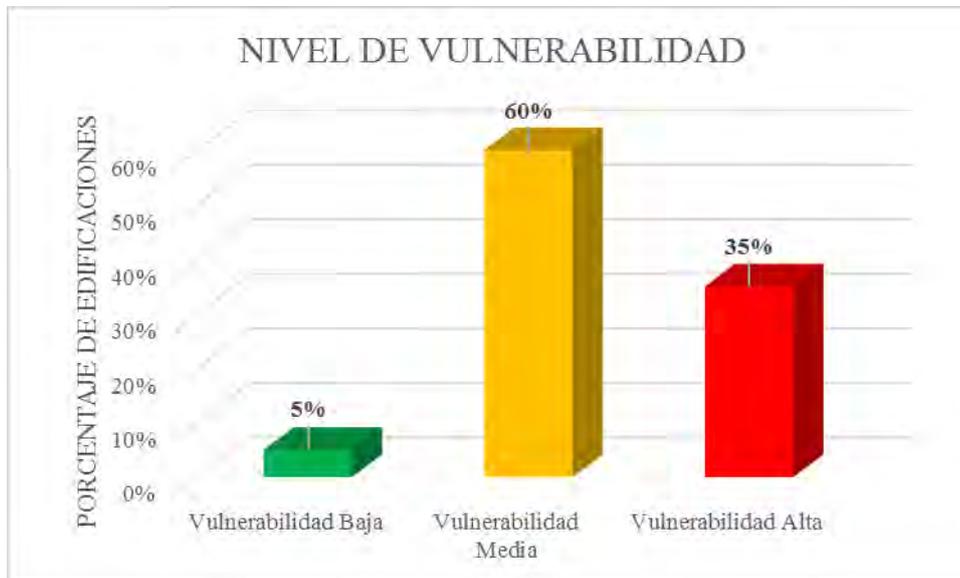


Figura 4.23. Nivel de Vulnerabilidad de edificaciones de adobe evaluadas. Fuente: Elaboración propia, 2019.

4.3 DISCUSIÓN

4.3.1 DISCUSIÓN REFERENTE A LA METODOLOGÍA UTILIZADA PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

El método del índice de vulnerabilidad es el indicado para ser implementado en ciudades grandes y centros urbanos, debido a su facilidad de uso y confiabilidad. Los 11 parámetros del método de índice de vulnerabilidad guardan gran similitud con las exigencias más relevantes que el Reglamento Nacional de Edificaciones E.080 contempla para el diseño y construcción de edificaciones de adobe.

Para las edificaciones de adobe, los parámetros con mayor incidencia en el cálculo del índice de vulnerabilidad son el parámetro 3: resistencia convencional y el parámetro 1: tipo y organización del sistema resistente.



4.3.2 DISCUSIÓN REFERENTE A LOS RESULTADOS DE LAS SISTEMAS ESTRUCTURALES DE LAS EDIFICACIONES

En la zona urbana del distrito de Chinchero, se identificaron 1176 lotes ocupados por edificaciones, de los cuales 816 son edificaciones con sistema estructural de adobe entabado, 3 son edificaciones con sistema estructural de concreto aporticado y 357 son edificaciones con sistema combinado entre albañilería confinada y concreto armado aporticado.

Entre las edificaciones de adobe se encuentran dos centros educativos, Antiguo Municipio Distrital de Chinchero que ahora funciona como una cuna guardería estatal, comisaría PNP, Parroquia “Virgen Natividad de Chinchero”, infraestructura de telecomunicaciones; denominado Telecentro, que en la actualidad se encuentra en desuso.

4.3.3 DISCUSIÓN REFERENTE A LOS RESULTADOS DE LAS TIPOLOGÍAS SEGÚN MATERIAL PREDOMINANTE

Dentro de la tipología adobe, se tuvieron en cuenta todas las edificaciones de adobe. Estas edificaciones fueron fácilmente identificables por su material y su mayor antigüedad. Entre las que se encuentran viviendas de un piso, de dos pisos y de tres pisos, esto contrario a las recomendaciones del Reglamento Nacional de Edificaciones E.080, donde indica que en la zona sísmica 2, que es donde se encuentra el distrito de Chinchero; sólo está permitido construir edificaciones de adobe de uno y dos pisos.

Dentro de la tipología combinada entre albañilería confinada y sistema aporticado, se consideraron las edificaciones de concreto armado, el comportamiento de ellas es totalmente diferente. Cabe mencionar que una importante cantidad de las edificaciones de baja y mediana altura, han sido construidas empleando un sistema estructural de albañilería en la dirección longitudinal y un sistema estructural de pórticos de concreto armado en la dirección transversal.



4.3.4 DISCUSIÓN REFERENTE A LOS RESULTADOS DE LOS 11 PARÁMETROS DEL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD

PARÁMETRO 1: TIPO Y ORGANIZACIÓN DEL SISTEMA RESISTENTE

Las edificaciones de adobe, debido a la ausencia de elementos de confinamiento como arriostres horizontales y verticales, carecen de la capacidad de comportamiento tipo “cajón”, por ello las categorías resultantes fueron únicamente “B” (10.0%) y “C” (90.0%).

Comparando estos resultados con el reglamento RNE E.080, que en el artículo 6, ítem 6.2; indica que los muros deben tener arriostres horizontales (entrepisos y techos) así como arriostres verticales (contrafuerte o muros transversales), se tiene que las edificaciones de adobe de la zona urbana del distrito de Chinchero, no cumplen con este requisito.

PARÁMETRO 2: CALIDAD DEL SISTEMA RESISTENTE

Las edificaciones de adobe son, en su mayoría, las más antiguas, de épocas donde no había especificaciones mínimas de construcción, por lo que la calidad actual de éstos es mala. Por eso las categorías fueron principalmente “B” (50.0%), “C” (45.0%) y “D” (5.0%).

El RNE E.080 en el artículo 7, ítem 7.3 indica que los muros son los componentes más importantes en la resistencia, estabilidad y comportamiento sísmico de la estructura de una edificación de adobe, y que el diseño de los muros debe ejecutarse usando criterios basados en la resistencia, estabilidad y desempeño, complementariamente. Es por ello que los muros de las edificaciones de adobe en la zona urbana en Chinchero, son bien entabados y con un mortero entre 10 cm y 20 cm, que cumple con lo indicado en el RNE E.080, que en el artículo 19, ítem 19.5 especifica que el espesor de los morteros pueden variar de 5 mm a 20 mm.

PARÁMETRO 3: RESISTENCIA CONVENCIONAL

La mayoría de edificaciones de adobe fueron categorizadas como “A” (60.0%) y “B” (25.0%). El cortante unitario resistente del adobe es considerablemente



menor al que la albañilería ofrece, sin embargo, al ser el adobe un bloque de mayores dimensiones, su densidad de muros no es tan baja. Y como indica la norma sismorresistente RNE E.030, las condiciones de zona de estudio son favorables, dado que los valores de caracterización sísmica para la zona sísmica 2; son valores menores que para las zonas sísmicas 3y 4.

PARÁMETRO 4: POSICIÓN DEL EDIFICIO Y LA CIMENTACIÓN

El suelo sobre el cual están apoyadas las cimentaciones de la zona de estudio, se puede catalogar, según la RNE E.080, como un perfil tipo S2 (suelo intermedio). Por otro lado, la mayoría de las edificaciones están ubicadas en un terreno con pendiente menor al 10%, con excepción de las edificaciones de adobe ubicadas en la zona arqueológica, que están ubicadas en zona con pendiente mayor al 25%, esto constituye un factor clave en la evaluación de este parámetro.

Por ello, a las edificaciones de adobe, no se ven muy afectadas, así, la categorización o clasificación resultó heterogénea; y se les asignó la categoría “A” (55.0%), “B” (25.0%), “C” (5.0%), y las que adicionalmente presentan una pendiente elevada en el terreno de fundación se les asignó la categoría “D” (15.0%).

PARÁMETRO 5: DIAFRAGMAS HORIZONTALES

La mayoría de edificaciones de adobe fueron ubicadas en la categoría “C” (85.0%). Esto se justifica debido a que los techos de torta de barro y entramado de vigas de madera son techos flexibles y no garantizan el comportamiento de un diafragma rígido. La situación es aún más desfavorable cuando solamente existen coberturas livianas (calamina o eternit) sobre los muros, éstos actuarían como muros en voladizo, y su probabilidad de volteo sería mucho mayor; además se observó que en algunos casos la conexión del entrepiso y techo con los muros no es buena, en estos casos se le asignó la clase o categoría “D” (10.0%). En algunos casos se encontró entrepisos y techos con vigas collar, bien anclados a los muros, por esta razón en estos casos se asignó la categoría “B” (5.0%).

En el RNE E.080 en el artículo 7, ítem 7.4 indica respecto a los entrepisos y techos que: los techos deben ser livianos, repartiendo su carga en el mayor



número posible de muros, evitando concentraciones de esfuerzos en los muros y deben estar convenientemente fijados a los muros a través de la viga solera. Además, se debe conseguir que un techo plano actúe como un diafragma rígido añadiéndole elementos diagonales en el plano. De acuerdo con lo anteriormente indicado las edificaciones de adobe de la zona urbana del distrito de Chinchero, no cumplen con las condiciones requeridas por la norma, y es por ello que su clasificación fue desfavorable.

PARÁMETRO 6: CONFIGURACIÓN EN PLANTA

Las edificaciones en su mayoría no guardan simetría en planta, presentan grandes protuberancias adicionales o esquinas entrantes; caso de las viviendas rectangulares, que pueden provocar problemas de torsión. Por esta razón las edificaciones de adobe se asignó las categorías “A” (5.0%), “C” (45.0%) y “D” (50.0%).

En el RNE E.080 en su artículo 6, ítem 6.3 indica que la densidad de muros en la dirección de los ejes principales debe tener el valor mínimo indicado y de ser posible, todos los muros deben ser portantes y arriostrados. Y en su ítem 6.4 indica que debe tener una planta simétrica respecto a los ejes principales. Es por esta razón que las edificaciones de adobe de la zona urbana del distrito de Chinchero, no cumplen con lo indicado en la norma y tampoco con lo exigido por el método utilizado para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones mencionadas.

PARÁMETRO 7: CONFIGURACIÓN EN ELEVACIÓN

La totalidad de edificaciones de adobe (100.0%), no guardan regularidad en elevación y fueron ubicadas en la categoría “C”.

Las irregularidades más comunes en las tipologías de adobe fueron la variación de áreas techadas en los diferentes niveles de edificación (y en consecuencia variación de masas), así como cambios en el espesor de los muros a lo largo de su altura.

En el RNE E.080 en su artículo 6, ítem 6.5 indica que el grosor o espesor (e), densidad y altura libre de muros (H), la separación entre arriostres verticales (L), el ancho de los vanos (a), así como la técnica constructiva y los materiales para



la construcción de una edificación de adobe, deben ser aplicados de manera continua y homogénea. Esto destacando la homogeneidad en elevación, y luego de observar las edificaciones de adobe en la zona urbana del distrito de Chinchero, se concluye que muchas de ellas tienen variación de masa en elevación, dado que varía la configuración en elevación. Y por ello fueron clasificados en la categoría C.

PARÁMETRO 8: SEPARACIÓN MÁXIMA ENTRE MUROS

Las separación entre muros de adobe es variable para cada tipo de edificación; dado que las configuraciones en planta varían de una vivienda a otra, y son en su mayoría valores elevados a los cuatro metros, por ello resultan altas relaciones de esbeltez para los muros de las edificaciones de adobe; en consecuencia las categorías resultantes fueron “A” (25.0%), “B” (20.0%), “C” (45.0%) y “D” (10.0%).

En el RNE E.080 en su artículo 6, ítem 6.5 indica que el grosor o espesor (e), densidad y altura libre de muros (H), la separación entre arriostres verticales (L), el ancho de los vanos (a), así como las materias primas y la técnica constructiva para la construcción de una edificación de adobe, deben ser aplicados de manera homogénea y continua. Así la norma indica que la separación máxima entre muros debe ser iguales en ambas direcciones y el ancho ‘a’ no debe exceder a un tercio de la distancia entre arriostres verticales ‘L’, es decir: $a \leq L/3$. Las edificaciones de adobe en la zona urbana en Chinchero no cumplen con lo exigido por la norma y es por esta misma razón que tienen una clasificación desfavorable en las categorías del método utilizado para evaluar la vulnerabilidad sísmica de las mismas.

PARÁMETRO 9: TIPO DE CUBIERTA

Se pudo observar que el tipo de cubierta más empleada es la teja con torta de barro. Se suelen apoyar directamente sobre los muros con un entramado de vigas de madera, algunas veces bien ancladas al muro con vigas collar. En consecuencia, un importante porcentaje de edificaciones de adobe (80.0%) se ubican en la categoría “A”.



En pocos casos no están bien conectadas al muro, por ello no aseguran su estabilidad. Además se les proporciona cierta pendiente para evacuar las aguas de lluvia, y se forma el tímpano en la parte superior de los muros. Esto sugiere que ante movimientos sísmicos, estas coberturas podrían fácilmente desprenderse de los muros y caer. En consecuencia, un porcentaje menor de edificaciones de adobe (10.0%) se ubican en la categoría “B”. y en las categorías “C” (5.0%) y “D” (5.0%).

El RNE E.080 en su artículo 7, inciso 7.4 donde especifica que los techos han de ser livianos, repartiendo su carga en la mayor cantidad posible de muros, impidiendo concentraciones de esfuerzos en los muros. Además, deben estar apropiadamente fijados a los muros a través de la viga solera y deben ser proyectados para resistir las cargas verticales y para transferir las cargas horizontales (sísmicas) a todos los muros, a través de las vigas collares superiores. Se debe conseguir que un techo plano actúe como un diafragma rígido y pueden ser inclinados (una o varias aguas).

Las edificaciones de adobe en la zona urbana en Chinchero tienen en su mayoría techos de madera con tijerales y bien anclados a los muros, a excepción de algunos casos, y así cumplen con lo exigido por la norma.

PARÁMETRO 10: ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES

Las edificaciones de adobe suelen presentar elementos no estructurales, asegurando posibles daños asociados a ellos; así las categorías “B” (35.0%) y “C” (65.0%) son las más comunes. Se observaron casos de balcones deteriorados y pequeños elementos deficientemente conectados al sistema estructural resistente.

El RNE E.080 no hace especificaciones respecto a los elementos no estructurales que si son anclados a la vivienda en la mayoría de edificaciones de adobe en la zona urbana en Chinchero.

PARÁMETRO 11: ESTADO DE CONSERVACIÓN

Las edificaciones de adobe son en su mayoría antiguas, presentando grave deterioro en sus componentes estructurales, lo que a su vez afecta las



propiedades mecánicas de sus materiales. La totalidad de edificaciones fueron ubicadas en las categorías “B” (25.0%), “C” (60.0%) y “D” (15.0%).

4.3.5 DISCUSIÓN REFERENTE A LOS RESULTADOS DE LOS NIVELES DE VULNERABILIDAD SÍSMICA

El 35.0% de edificaciones de adobe presenta vulnerabilidad alta, el 60.0% vulnerabilidad media y el 5.0% vulnerabilidad baja. Esta situación se justifica, principalmente por el comportamiento frágil del material ante movimientos horizontales, y a la antigüedad de las construcciones, lo que repercute en el deterioro de sus propiedades mecánicas. Se resalta que la mayoría de edificaciones presenta vulnerabilidad media (60%) debido a que la zona de estudio no presenta mayores amenazas de peligro sísmico, dado que está ubicado en la zona sísmica 2; según el RNE E.030.



CAPITULO 5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1 CONCLUSIONES

- El nivel de la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero se encuentra en su mayoría entre media y alta, dado que en el resultado obtenido se puede observar que el 5 % de las edificaciones presenta vulnerabilidad baja, el 60% de las edificaciones evaluadas presentan vulnerabilidad media y el 35% presenta vulnerabilidad alta.
- El estado actual de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero, en general es buena, para el 50% de las edificaciones encuestadas, dado que están ubicadas en zonas de pendiente baja.
- Las características arquitectónicas actuales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero, es como sigue: el 60% de las viviendas encuestadas son rectangulares, el 25% son en “L”, y el 15% son viviendas cuadradas.
- El estado actual de los elementos estructurales de las edificaciones de adobe del centro urbano del distrito de Chinchero, es en general buena, puesto que el 50% de viviendas se encuentra en buen estado y se encontró rajaduras de menos de 2mm en el 30%; por último, se encontró rajaduras de más de 2mm en el 20% de viviendas encuestadas.

5.2 RECOMENDACIONES

- Se considera importante y necesaria la viabilidad de que investigaciones similares se realicen para todos los tipos de construcciones en nuestra región, a fin de conservar y reforzar cada una de ellas, evitando grandes daños y pérdidas, con estudios más amplios de vulnerabilidad sísmica.
- Se recomienda a las nuevas investigaciones similares que surjan a partir de ésta, realizar el análisis sísmico más profundo, con cálculo de funciones de vulnerabilidad; para ampliar y mejorar el nivel de seguridad de las futuras viviendas a construirse.
- Se recomienda realizar eventos de información, para indicar el peligro que corren los ciudadanos al habitar este tipo de viviendas y cómo pueden



reforzarlas. Esto se puede realizar mediante el municipio distrital, y organizaciones que defienden los intereses del pueblo. Estas instituciones pueden realizar charlas informativas, basándose en el presente estudio.



REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alva, J., & Castillo, J. (1993). Peligro Sísmico en el Perú. *VII Congreso Nacional de Mecánica de Suelos e Ingeniería de Cimentaciones*. Lima.
- Amézquita Jimenez, J., Jalixto Cuyo, R., & Pampas Quiroga, J. (s.f.). Teorías de Capacidad de Carga y sus Limitaciones en Suelos Compresibles. *Escuela Profesional de Ingeniería Civil - Universidad Particular Alas Peruanas*, 1-6.
- Barbat, A. H., & Pujades, L. (2004). *Metodología de estimación de la vulnerabilidad sísmica de las construcciones clasificadas de "importancia especial" en la NCSE-02*. Barcelona: Centro Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería.
- Bazán Arbildo, J. E. (2007). Vulnerabilidad sísmica de las viviendas de albañilería confinada en la ciudad de Cajamarca. Lima, Perú: PUCP.
- Benavente Escóbar, C., Delgado Madera, F., Taipe Maquerhua, E., Audin, L., & Pari Pinto, W. (2013). *Neotectónica y Peligro Sísmico en la Región Cusco*. Lima: INGEMMET.
- Benedetti, D., & Petrini, V. (1984). *Sulla Vulnerabilità Sísmica di Edifici in Muratura: Prioste di un Método di Valutazione*. Roma: Lindustria delle Costruzioni.
- Bernal, I., & Tavera, H. (2002). *Geodinámica, Sismicidad y Energía Sísmica en Perú* Instituto Geofísico del Perú. (editor, Ed.) Lima.
- Blondet, M., Villa Garcia M., G., & Brzev, S. (2003). *Construcciones de Adobe Resistentes a los Terremotos: Tutor*. Oakland: EERI.
- Bolaños, A., & Monroy, O. (2004). *Espectros de Peligro Sísmico Uniforme*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Cabrera, J. (1988). *Néotectonique et Sismotectonique su niveau de la Subduction Perou*. Paris: Universidad Paris.XI-Orsay-Francia.
- Cabrera, J., & Sébrier, M. (1998). Surface rupture associated with a 5.3 mb earthquake: the 5 April 1986 Cuzco earthquake and kinematics of the Chincheros-Quoricocha faults of the High Andes, Peru. *Bulletin of the Seismological Society of America*, 242-255.
- Caicedo, C., Canas, J. A., Barbat, A. H., & Yépez, F. (1996). *Vulnerabilidad sísmica de edificios en entornos urbanos para estudios de riesgo*. Granada: Universidad de Granada.
- Caicedo, C., Canas, J. A., Barbat, A. H., Yépez, F., Goula, X., Roca, A., & Maña, F. (1994). Seismic vulnerability assessment of buildings in Barcelona. *Proceedings of Tenth European Conference on Earthquake Engineering*. Viena.
- Cardona, O. D. (1986). Enfoque metodológico para la evaluación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico. *Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS)*(33).



- Cardona, O. D. (1999). Environmental Management and Disaster Prevention: Holistic risk assessment and management. *Natural Disaster Management*.
- Carlotto, V. (1992). *Relation entre sedimentation, paleogeographic et tectonique dans la région de Cusco (Sud de Pérou) entre le Jurassique superior et le Paleocene*. Francia: DEA Univ. Grenoble.
- Carlotto, V., Gil, W., Cárdenas, J., & Chávez, R. (1996). *Geología de los Cuadrángulos de Urubamba y Calca*. Lima: INGEMMET.
- Carrasco, A., & Reyles, J. (2012). *Vulnerabilidad Sísmica en el Distrito de Chiclayo - Este aplicando Índices de Vulnerabilidad (Benedetti-Petrini)*. Facultad de Ingeniería Civil, Sistemas y Arquitectura. Lambayeque: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- Centro Guaman Poma de Ayala. (2011). *Plan de Desarrollo Urbano del Distrito de Chinchero - Diagnostico*. Plan de Desarrollo Urbano, Chinchero.
- Climate Data. (21 de Julio de 2019). *Climate Data*. Obtenido de <http://www.es.climate-data.org>
- Delgado, E. F. (2006). *Comportamiento Sísmico de un Módulo de Adobe de Dos Pisos con Refuerzo Horizontal y Confinamientos de Concreto Armado*. Lima: Pontificia Universidad Católica del Perú.
- Equipo Técnico PDU Chinchero. (2015). *Plan de Desarrollo Urbano*. Plan de Desarrollo Urbano, Municipalidad Distrital de Chinchero, Chinchero.
- Fernández Cruz, Ó. (26 de Junio de 2017). *Evaluación de la Vulnerabilidad Estructural en Edificaciones*. Obtenido de Ciepsat: <http://www.ciepsat.com>
- Flores Cárdenas, F. M., & Paucar Choque, L. Á. (2018). *Análisis de Vulnerabilidad Sísmica del Templo Colonial del Distrito de Chinchero, Provincia de Urubamba, 2017*. Cusco: Tesis UNSAAC.
- Herráiz, M. (1997). *Conceptos Básicos de Sismología para Ingenieros CISMID*. Lima: editor.
- Instituto Nacional de Defensa Civil . (2012). *Educación Comunitaria Para la Gestión del Riesgo de Desastres: Módulos para Capacitadores Regionales*. Lima: Primera Ed.
- López Aguilar, M. G. (2017). El proyecto del Aeropuerto Internacional y el "boom" de la construcción en Chinchero. *Revista Argumentos*, 20-25.
- Maldonado Rondón, E., Chio Cho, G., & Gómez Araujo, I. (2007). *Índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería basado en la opinión de expertos*. Colombia: Universidad de Bogotá .
- Mesta Cornetero, C. A. (2014). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones comunes en la ciudad de Pimentel* . Chiclayo: Repositorio Académico de la USMP.



- Morán Proaño, M., & Álvarez Rodríguez, O. (2012). Investigación de las vibraciones por tráfico en las construcciones patrimoniales de adobe. *Revista de la Construcción*, 39-53.
- Moreno-González, R., & Bairán, J. M. (2011). Análisis del comportamiento sísmico de los edificios de obra de fábrica, típicos del distrito Eixample de Barcelona. *Informes de la Construcción*, 21-32.
- Mosqueira Moreno, M. Á., & Tarque Ruíz, S. N. (2005). *Recomendaciones Técnicas para Mejorar la Seguridad Sísmica de Viviendas de Albañilería Confinada de la Costa Peruana*. Lima: Tesis PUCP.
- Pimentel, E. (13 de febrero de 2017). *Sobre la construcción del Aeropuerto Chinchero, Cusco Perú. Opinión*. Obtenido de gestiopolis: <https://www.gestiopolis.com/la-construccion-del-aeropuerto-chinchero-cusco-peru-opinion>
- Preciado, A., Rodríguez, O., Caro-Becerra, J. L., & Lujan-Godinez, R. (2015). *Vulnerabilidad sísmica de viviendas de mampostería no reforzada en el pueblo de Tlajomulco, Jalisco*. Acapulco: XX Congreso Nacional de Ingeniería Sísmica.
- PUCP. (2004). *Estudio de la Vulnerabilidad de viviendas informales - Region Huaraz*. Lima.
- Quispe Acosta, J. A., & Rondón Durand, S. M. (2012). *PROPUESTA INTEGRAL DE REFORZAMIENTO PARA EDIFICACIONES DE ADOBE. APLICACIÓN AL CASO DE UN LOCAL ESCOLAR DE ADOBE EN LA PROVINCIA DE YAUYOS*. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima: Repositorio PUCP.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2016). *E .030 Diseño Sismorresistente*. Lima: El Peruano.
- Reglamento Nacional de Edificaciones. (2016). *E.080 Adobe*. Lima: Megabyte.
- Rodriguez Zavaleta, G., & Sardon Morveli, P. (2005). *Vulnerabilidad Sísmica en Viviendas de Tipo Colonial del Centro Histórico del Cusco*. Cusco: Tesis UNSAAC.
- Ruiz Sibaja, A., Vidal Sánchez, F., & Aranda Caballero, C. (s.f.). *ESTUDIO DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DEL CENTRO HISTÓRICO DE TAPACHULA, CHIAPAS, CON EL MÉTODO DEL ÍNDICE DE VULNERABILIDAD*. Chiapas: Rev. Int. de Desastres Naturales, Accidentes e Infraestructura Civil.
- Sandi, H. (1983). Earthquake risk and earthquake preparedness: some qualitative aspects and quantification possibilities. *Proceedings of the Seminar on Earthquake Preparedness*, 79-93.
- Velarde Abugattas, G. K. (2014). *ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA DE VIVIENDAS DE DOS PISOS DE ADOBE EXISTENTE EN LIMA*. Lima: Tesis PUCP.



- Whitman, R. V. (1988). *Earthquake loss estimation methodology*. Wiesbaden: F. Vieweg & Sohn.
- Zobin, V. M., & Ventura-Ramírez, J. F. (1999). VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICIOS RESIDENCIALES Y PRONÓSTICO DE DAÑOS EN CASO DE SISMOS FUERTES EN LA CIUDAD DE COLIMA. *GEOS*, 152-158.



ANEXOS

ANEXO A: PROCESAMIENTO DE DATOS DE ENSAYOS EN LABORATORIO

- 1.-GRANULOMETRÍA DE MUESTRAS DE ADOBE
- 2.-GRANULOMETRÍA DE MUESTRAS DE MORTERO
- 3.-LÍMITES DE ATTERBERG DE MUESTRAS DE ADOBE
- 4.-LÍMITES DE ATTERBERG DE MUESTRAS DE MORTERO
- 5.-DIAGRAMAS DE ENSAYO DE COMPRESIÓN SIMPLE EN MUESTRAS DE ADOBE



GRANULOMETRÍA DEL ADOBE N° 01:

MATERIAL NO LAVADO

Peso total de la muestra = 5,175.00 gr
 Peso de la fracción no lavada = 0.00 gr
 Peso de la fracción para lavado = 5175.00 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO

Peso de la fracción antes del lavado = 5,175.00 gr
 Peso de la fracción después de lavar = 1842.75 gr
 % de la fracción lavada = 100 %

Tabla A-1. Determinación de la granulometría del adobe provenientes de la vivienda encuestada N° 13, siendo la muestra de adobe A-01.

Tamiz		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Ø	(mm)							
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	106.7	5.79%	0.00%	5.79%	2.06%	2.06%	97.94%
¾"	19	39.42	2.14%	0.00%	2.14%	0.76%	2.82%	97.18%
¾"	9.5	155.02	8.41%	0.00%	8.41%	2.99%	5.82%	94.18%
N° 4	4.75	222.72	12.09%	0.00%	12.08%	4.30%	10.12%	89.88%
N° 10	2	324.07	17.59%	0.00%	17.58%	6.26%	16.38%	83.62%
N° 20	0.85	225.55	12.24%	0.00%	12.24%	4.36%	20.74%	79.26%
N° 40	0.425	179.28	9.73%	0.00%	9.73%	3.46%	24.20%	75.80%
N° 60	0.25	139.2	7.55%	0.00%	7.55%	2.69%	26.89%	73.11%
N° 140	0.106	359.55	19.51%	-0.01%	19.51%	6.95%	33.84%	66.16%
N° 200	0.075	69.25	3.76%	0.00%	3.76%	1.34%	35.17%	64.83%
Cazuela		22.48	1.22%	0.00%	1.22%	0.43%	35.61%	-
Lavado		3332.25	-	-	-	64.39%	100.00%	-
Fracción Retenida en Lavado		1843.24	100.03%	-0.03%	100.00%	35.61%		
Total		5175.49	%Error = -0.03% Ok!		-	100.00%		

Fuente: Elaboración propia, 2019

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra:

- % de grava (Retiene Tamiz N° 4) = 10.12%
- % de arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200) = 25.05%
- % de finos (Pasa Tamiz N° 200) = 64.83% Total: 100.00%

Fracción Gruesa:

- % de grava = 28.77%
- % de arena = 71.23% Total = 100.00%

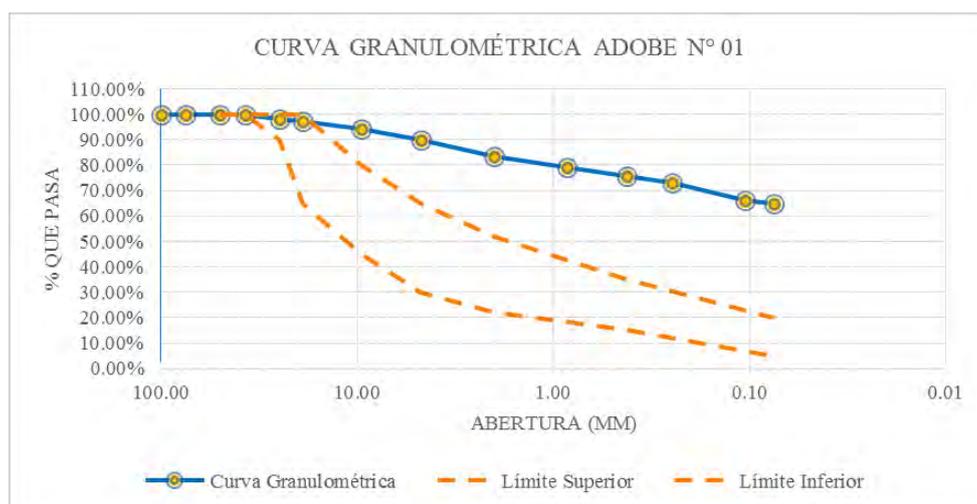


Figura A.1 Gráfico de la curva granulométrica del adobe N° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.

GRANULOMETRÍA DEL ADOBE N° 02

MATERIAL NO LAVADO

Peso total de la muestra = 1,510.00 gr

Peso de la fracción no lavada = 0.00 gr

Peso de la fracción para lavado = 1510.00 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO

Peso de la fracción antes del lavado = 1510.00 gr

Peso de la fracción después de lavar = 536.38 gr

% de la fracción lavada = 100%

Tabla A-2. Determinación de la granulometría del adobe provenientes de la vivienda encuestada N° 04, siendo la muestra de adobe A-02.

TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Ø	(mm)							
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	17.96	3.35%	0.00%	3.35%	1.19%	1.19%	98.81%
⅜"	9.5	54.88	10.23%	0.00%	10.23%	3.63%	4.82%	95.18%
N° 4	4.75	45.08	8.40%	0.00%	8.40%	2.98%	7.81%	92.19%
N° 10	2	65.7	12.25%	-0.01%	12.24%	4.35%	12.15%	87.85%
N° 20	0.85	70.68	13.18%	-0.01%	13.17%	4.68%	16.83%	83.17%
N° 40	0.425	81.29	15.16%	-0.01%	15.15%	5.38%	22.21%	77.79%
N° 60	0.25	57.78	10.77%	-0.01%	10.77%	3.82%	26.04%	73.96%
N° 140	0.106	96.08	17.91%	-0.01%	17.90%	6.36%	32.40%	67.60%
N° 200	0.075	34.94	6.51%	0.00%	6.51%	2.31%	34.71%	65.29%
Cazuela		12.24	2.28%	0.00%	2.28%	0.81%	35.52%	-
Lavado		973.62	-	-	-	64.48%	100.00%	-
Fracción Retenida en Lavado		536.63	100.05%	-0.05%	100.00%	35.52%		
Total		1510.25	%Error = -0.05% Ok!		-	100.00%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

- % de grava (Retiene Tamiz N° 4) = 7.81%
- % de arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200) = 26.91%
- % de finos (Pasa Tamiz N° 200) = 65.29% Total: 100.00%

Fracción Gruesa

- % de grava = 22.49%
- % de arena = 77.51% Total = 100.00%

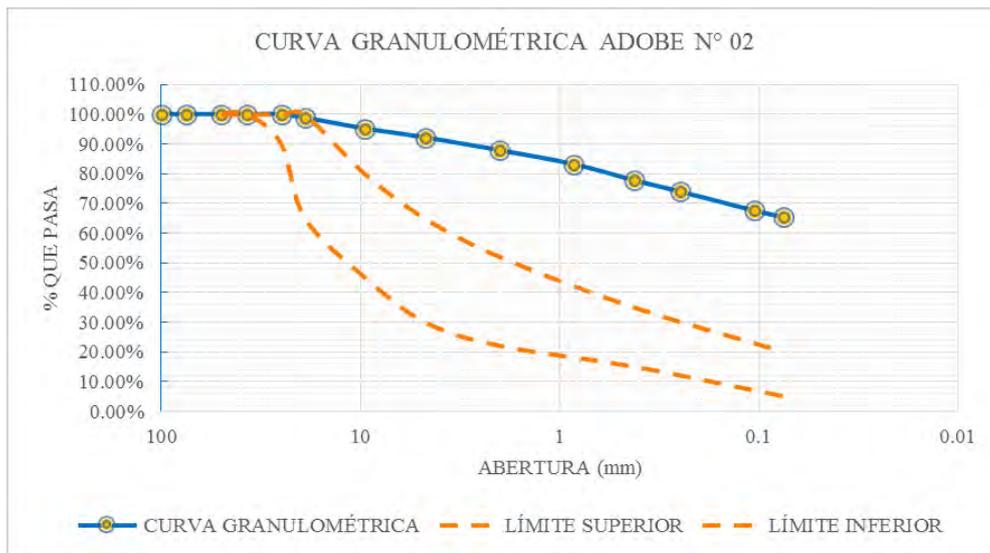


Figura A.2 Gráfico de la curva granulométrica del adobe N° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.

GRANULOMETRÍA DEL ADOBE N° 03

MATERIAL NO LAVADO

Peso total de la muestra = 1840.00 gr
 Peso de la fracción no lavada = 0.00 gr
 Peso de la fracción para lavado = 1840.00 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO

Peso de la fracción antes del lavado = 1840.00 gr
 Peso de la fracción después de lavar = 567.02 gr
 % de la fracción lavada = 100%



Tabla A-3. Determinación de la granulometría del adobe provenientes de la vivienda encuestada N° 18, siendo la muestra de adobe A-03.

TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Ø	(mm)							
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	23.69	4.18%	0.03%	4.21%	1.30%	1.30%	98.70%
Nº 4	4.75	39.47	6.96%	0.05%	7.01%	2.16%	3.46%	96.54%
Nº 10	2	74.17	13.08%	0.09%	13.17%	4.06%	7.51%	92.49%
Nº 20	0.85	63.93	11.27%	0.07%	11.35%	3.50%	11.01%	88.99%
Nº 40	0.425	56.62	9.99%	0.07%	10.05%	3.10%	14.11%	85.89%
Nº 60	0.25	42.47	7.49%	0.05%	7.54%	2.32%	16.43%	83.57%
Nº 140	0.106	110.97	19.57%	0.13%	19.70%	6.07%	22.50%	77.50%
Nº 200	0.075	62.3	10.99%	0.07%	11.06%	3.41%	25.91%	74.09%
Cazuela		89.69	15.82%	0.10%	15.92%	4.91%	30.82%	-
Lavado		1272.98	-	-	-	69.18%	100.00%	-
Fracción Retenida en Lavado		563.31	99.35%	0.65%	100.00%	30.82%		
Total		1836.29	%Error = 0.65% Ok!		-	100.00%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

- % de grava (Retiene Tamiz N° 4) = 3.46%
- % de arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200) = 22.45%
- % de finos (Pasa Tamiz N° 200) = 74.09% Total: 100.00%

Fracción Gruesa

- % de grava = 13.34%
- % de arena = 86.66% Total = 100.00%

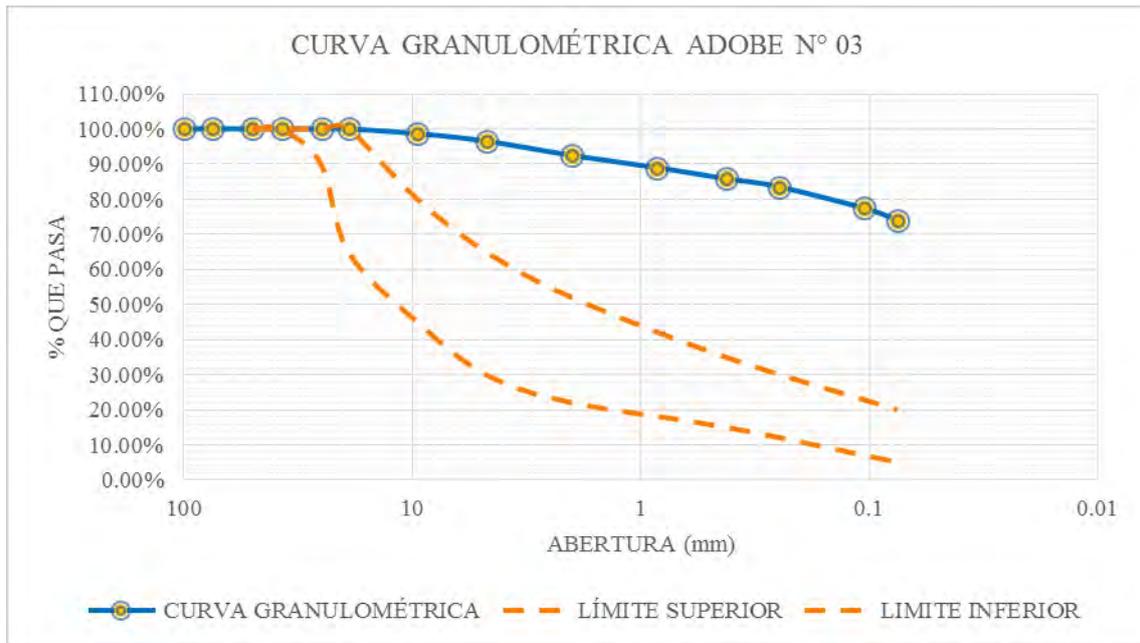


Figura A.3 Gráfico de la curva granulométrica del adobe N° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.

GRANULOMETRÍA DE MORTERO DE ADOBE N° 01

MATERIAL NO LAVADO

Peso total de la muestra =	307.67
Peso de la fracción no lavada =	0.00 gr
Peso de la fracción para lavado =	307.67

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO

Peso de la fracción antes del lavado =	307.67 gr
Peso de la fracción después de lavar =	91.78 gr
% de la fracción lavada =	100.00%



Tabla A-4. Granulometría del mortero de adobe N° 03.

TAMIZ		PESO RETENIDO (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Ø	(mm)							
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	7.09	7.72%	0.03%	7.75%	2.31%	2.31%	97.69%
N° 10	2	9.59	10.45%	0.04%	10.49%	3.13%	5.44%	94.56%
N° 20	0.85	11.94	13.01%	0.05%	13.06%	3.89%	9.34%	90.66%
N° 40	0.425	19.55	21.30%	0.08%	21.38%	6.38%	15.71%	84.29%
N° 60	0.25	12.08	13.16%	0.05%	13.21%	3.94%	19.65%	80.35%
N° 140	0.106	19.93	21.71%	0.08%	21.79%	6.50%	26.15%	73.85%
N° 200	0.075	10.19	11.10%	0.04%	11.14%	3.32%	29.48%	70.52%
Cazuela	-	1.08	1.18%	0.00%	1.18%	0.35%	29.83%	-
Lavado	-	215.89	-	-	-	70.17%	100.00%	-
Fracción Retenida en Lavado		91.45	99.64%	0.36%	100.00%	29.83%		
Total		307.34	%Error = 0.36% Ok!		-	100.00%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

- % de grava (Retiene Tamiz N° 4) = 2.31%
- % de arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200) = 27.17%
- % de finos (Pasa Tamiz N° 200) = 70.52% Total: 100.00%

Fracción Gruesa

- % de grava = 7.85%
- % de arena = 92.15% Total = 100.00%

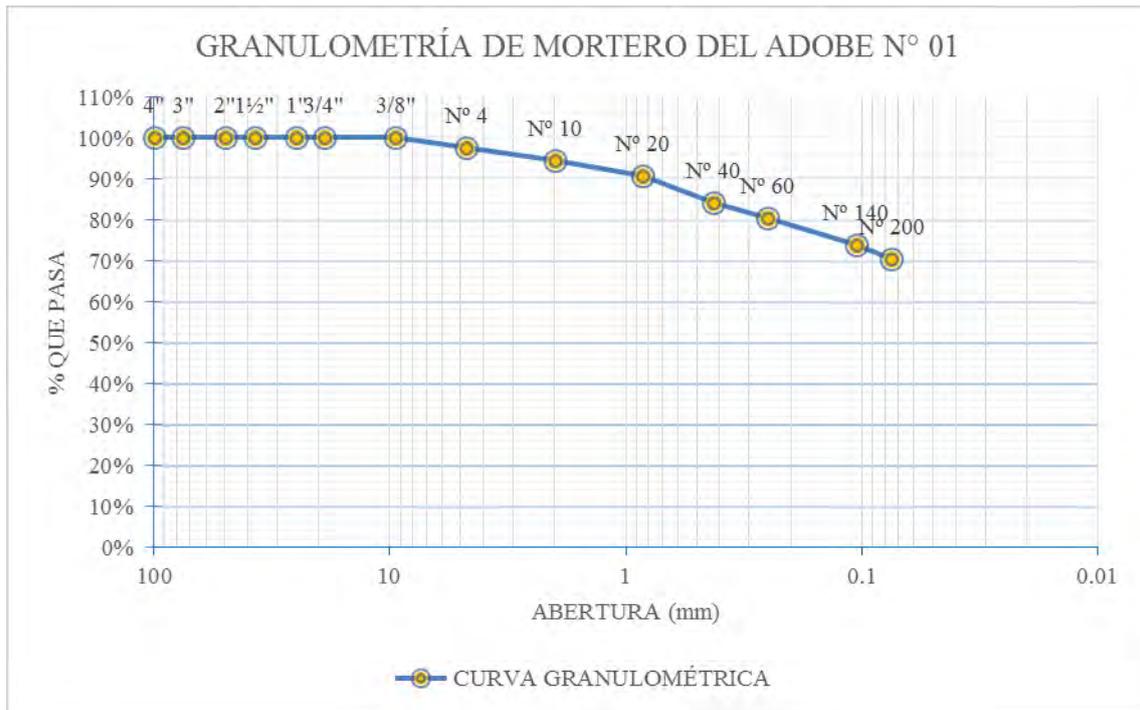




Tabla A-5. Granulometría del mortero de adobe N° 02.

TAMIZ		PESO RETENIDO O (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Ø	(mm)							
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
⅜"	9.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
N° 4	4.75	12.16	9.84%	0.02%	9.86%	2.43%	2.43%	97.57%
N° 10	2	23	18.61%	0.05%	18.65%	4.60%	7.04%	92.96%
N° 20	0.85	25.81	20.88%	0.05%	20.93%	5.16%	12.20%	87.80%
N° 40	0.425	24.11	19.50%	0.05%	19.55%	4.82%	17.02%	82.98%
N° 60	0.25	11.66	9.43%	0.02%	9.46%	2.33%	19.36%	80.64%
N° 140	0.106	17.71	14.33%	0.04%	14.36%	3.54%	22.90%	77.10%
N° 200	0.075	7.57	6.12%	0.02%	6.14%	1.51%	24.42%	75.58%
Cazuela	-	1.28	1.04%	0.00%	1.04%	0.26%	24.67%	-
Lavado	-	377.41	-	-	-	75.33%	100.00%	-
Fracción Retenida en Lavado		123.3	99.75%	0.25%	100.00%	24.67%		
Total		500.71	%Error = 0.25% OK!		-	100.00%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

- % de grava (Retiene Tamiz N° 4) = 2.43%
- % de arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200) = 21.98%
- % de finos (Pasa Tamiz N° 200) = 75.58% Total: 100.00%

Fracción Gruesa

- % de grava = 9.97%
- % de arena = 90.03% Total = 100.00%

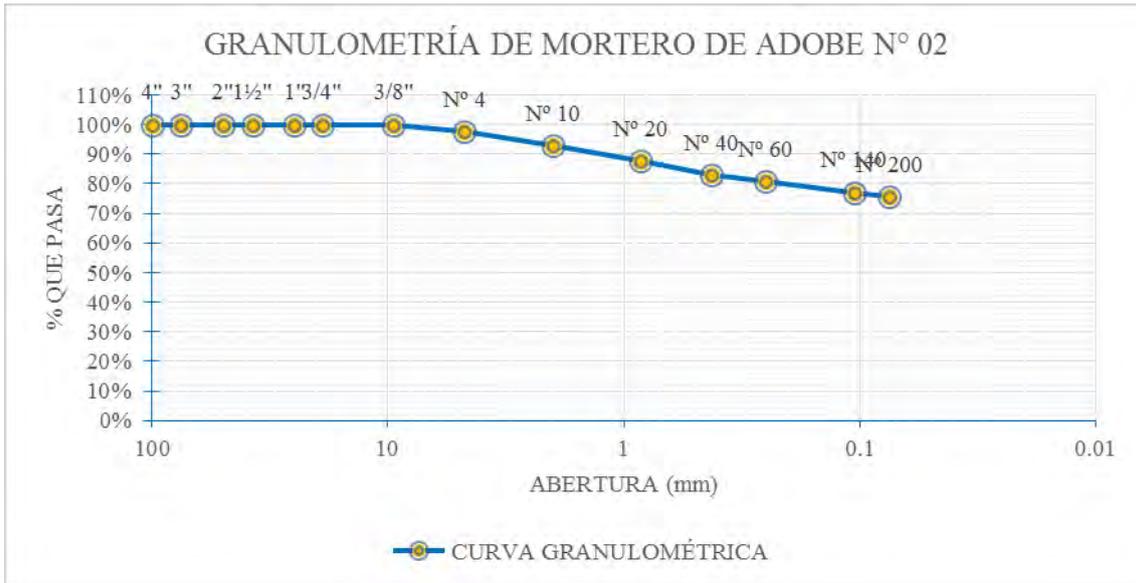


Figura A.5 Curva granulométrica de mortero de adobe N° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.

GRANULOMETRÍA DE MORTERO DE ADOBE N° 03.

MATERIAL NO LAVADO

Peso total de la muestra = 1,015.89 gr

Peso de la fracción no lavada = 0.00 gr

Peso de la fracción para lavado = 1015.89 gr

FRACCIÓN DE MATERIAL LAVADO

Peso de la fracción antes del lavado = 1015.89 gr

Peso de la fracción después de lavar = 327.07 gr

% de la fracción lavada = 100.00%

Tabla A-6. Granulometría de mortero de adobe N° 03.

TAMIZ		PESO RETENIDO O (gr)	% RETENIDO EN FRACCIÓN LAVADA	CORRECCIÓN EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO EN FRACCIÓN LAVADA	% RETENIDO CORREGIDO	% RETENIDO ACUMULADO	% QUE PASA
Ø	(mm)							
4"	100	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3"	75	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
2"	50	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1½"	37.5	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
1"	25	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
¾"	19	0	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%	100.00%
3/8"	9.5	23.78	7.27%	0.00%	7.27%	2.34%	2.34%	97.66%
N° 4	4.75	32.49	9.93%	0.00%	9.93%	3.20%	5.54%	94.46%
N° 10	2	39.48	12.07%	-0.01%	12.06%	3.88%	9.42%	90.58%
N° 20	0.85	39.13	11.96%	-0.01%	11.96%	3.85%	13.27%	86.73%
N° 40	0.425	46.61	14.25%	-0.01%	14.24%	4.59%	17.86%	82.14%
N° 60	0.25	32.19	9.84%	0.00%	9.84%	3.17%	21.02%	78.98%
N° 140	0.106	65.55	20.04%	-0.01%	20.03%	6.45%	27.47%	72.53%
N° 200	0.075	32.89	10.06%	0.00%	10.05%	3.24%	30.71%	69.29%
Cazuela	-	15.11	4.62%	0.00%	4.62%	1.49%	32.20%	-
Lavado	-	688.82	-	-	-	67.80%	100.00%	-
Fracción Retenida en Lavado		327.23	100.05%	-0.05%	100.00%	32.20%		
Total		1016.05	%Error = -0.05% Ok!			100.00%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

Fracciones de Grava, Arena y Finos de la Muestra

- % de grava (Retiene Tamiz N° 4) = 5.54%

- % de arena (Pasa N° 4 y Ret. N° 200) = 25.17%
- % de finos (Pasa Tamiz N° 200) = 69.29% Total: 100.00%

Fracción Gruesa

- % de grava = 18.03%
- % de arena = 81.97% Total = 100.00%

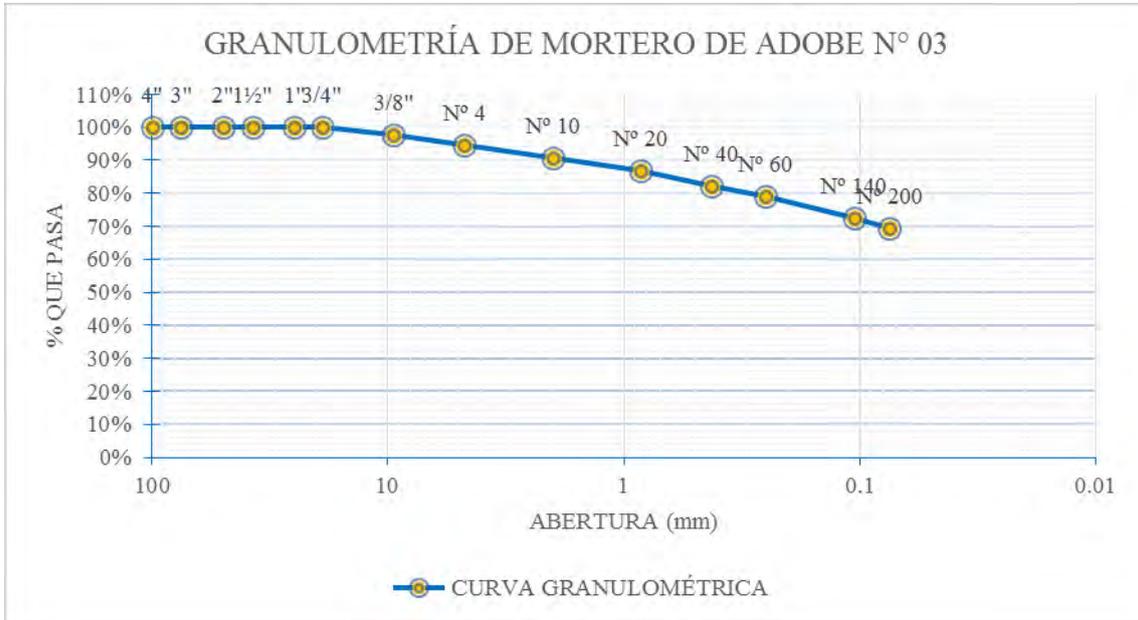


Figura A.6 Gráfica de la curva granulométrica de mortero de adobe N° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE LÍQUIDO DE ADOBE N° 01

Tabla A-7. Determinación de límite líquido del adobe n° 01.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	38	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	9.36	8.23	9.28	9.77
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	36.96	35.25	37.56	35.56
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	31.61	29.95	31.92	30.21
Peso del Agua (gr)	5.35	5.3	5.64	5.35
Peso de la Muestra Seca (gr)	22.25	21.72	22.64	20.44
Contenido de Humedad	24.04%	24.40%	24.91%	26.17%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

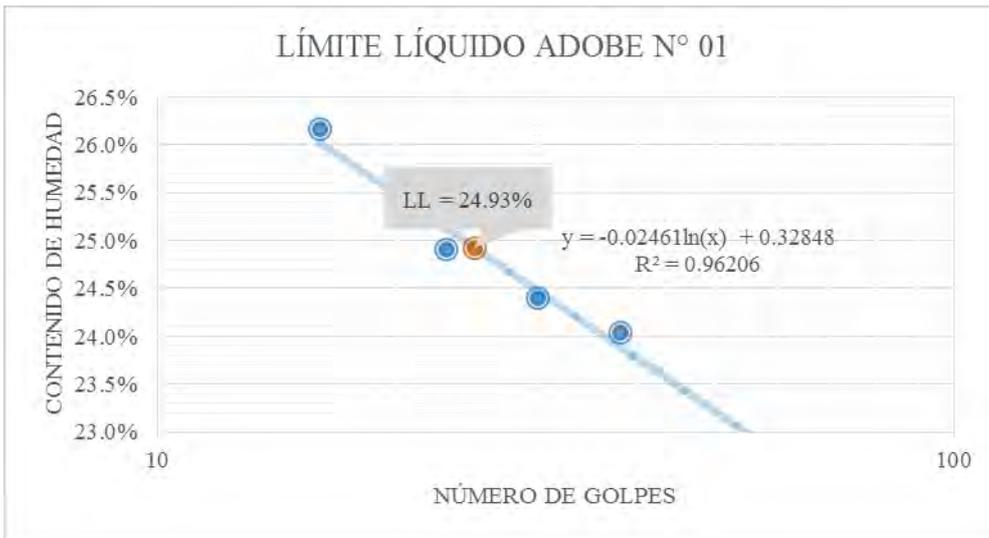


Figura A.7 Gráfica de determinación de limite líquido de adobe n° 01. Donde el resultado para 25 golpes es 24.93%. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE PLÁSTICO DEL ADOBE N° 01

Tabla A-8. Determinación del límite plástico del adobe, donde el promedio es 13.78 %.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	6.44	6.47	6.49
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.15	12.38	12.86
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.46	11.67	12.08
Peso del Agua (gr)	0.69	0.71	0.78
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.02	5.2	5.59
Contenido de Humedad	13.75%	13.65%	13.95%
LÍMITE PLÁSTICO	13.78%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

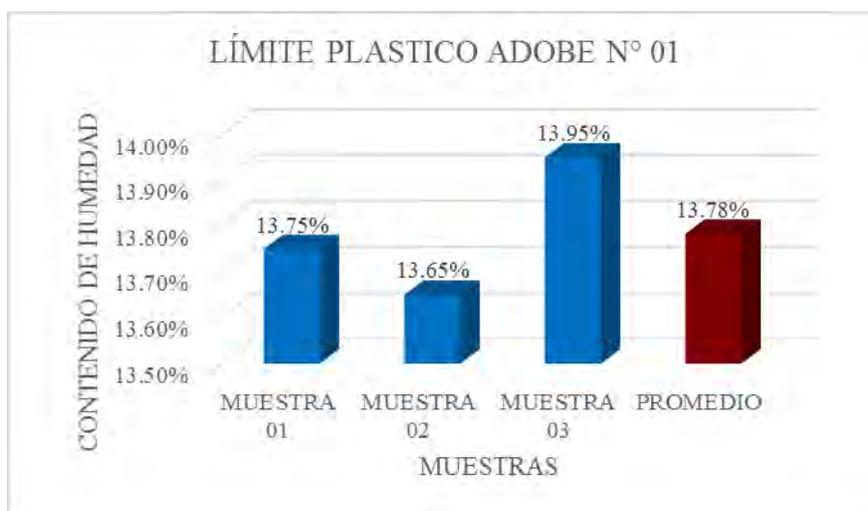


Figura A.8 Gráfica de límite plástico de adobe n° 01, cuyo valor es 13.78%. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE LÍQUIDO DEL ADOBE N° 02

Tabla A-9. Determinación del límite líquido del adobe n° 02.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	37	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	11.61	8.37	9.38	8.34
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	45.1	39.61	39.61	36.52
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	37.64	32.65	32.65	29.92
Peso del Agua (gr)	7.46	6.96	6.96	6.6
Peso de la Muestra Seca (gr)	26.03	24.28	23.27	21.58
Contenido de Humedad	28.66%	28.67%	29.91%	30.58%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

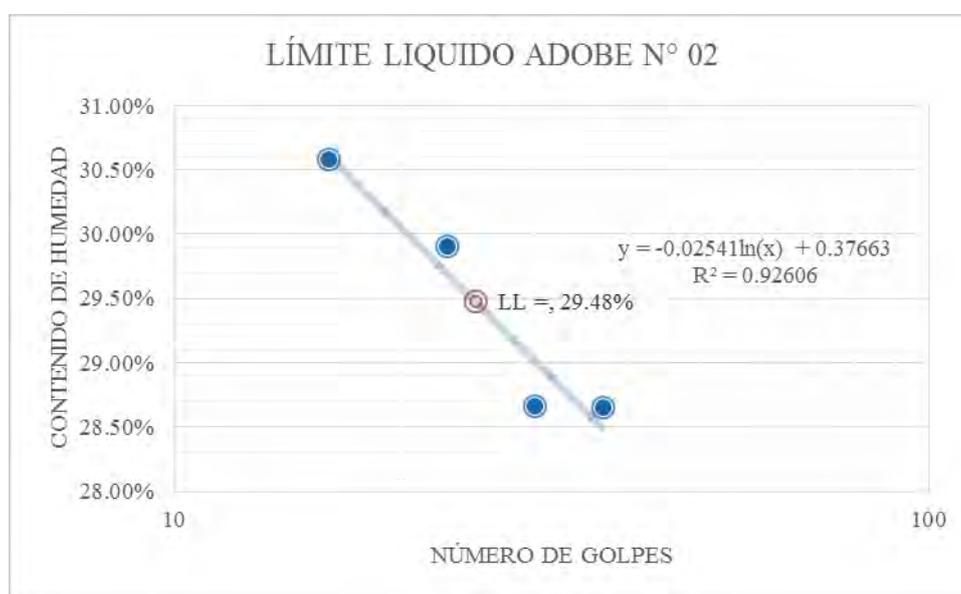


Figura A.9 Gráfica de determinación de límite líquido de adobe n° 02, donde el resultado es 29.48%. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE PLÁSTICO DE ADOBE N° 02

Tabla A-10. Determinación de límite plástico del adobe n°02.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	6.44	6.3	6
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.22	12.43	12.35
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.43	11.57	11.48
Peso del Agua (gr)	0.79	0.86	0.87
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.99	5.27	5.48
Contenido de Humedad	15.83%	16.32%	15.88%
LIMITE PLASTICO	16.01%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

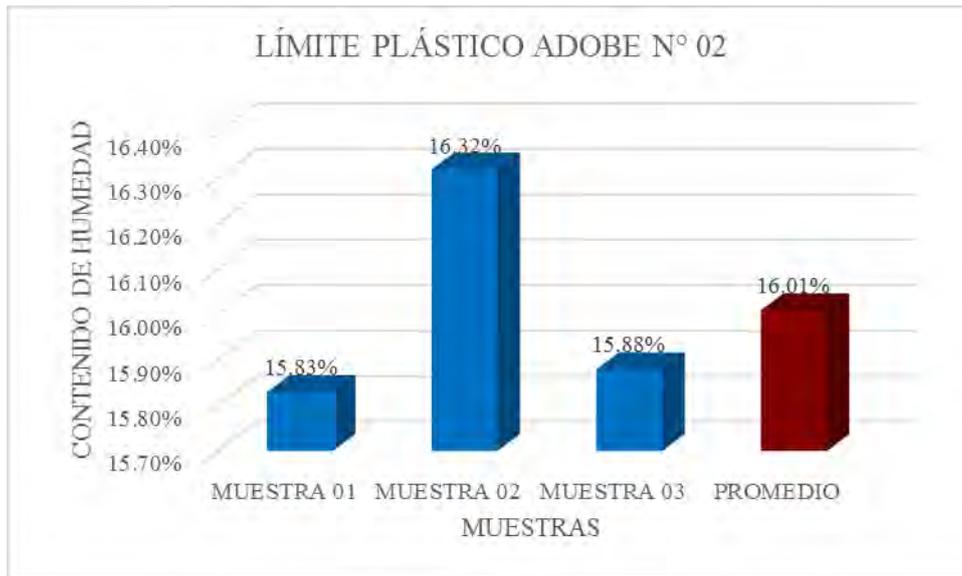


Figura A.10 Gráfica del límite plástico de adobe n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE LÍQUIDO DEL ADOBE N° 03

Tabla A-11. Determinación de límite líquido de adobe n° 03.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	37	31	24	17
Peso de Capsula (gr)	9.46	9.18	7.85	9.54
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	35.3	39.18	35.41	34.64
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	29.17	31.95	28.58	28.24
Peso del Agua (gr)	6.13	7.23	6.83	6.4
Peso de la Muestra Seca (gr)	19.71	22.77	20.73	18.7
Contenido de Humedad	31.10%	31.75%	32.95%	34.22%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

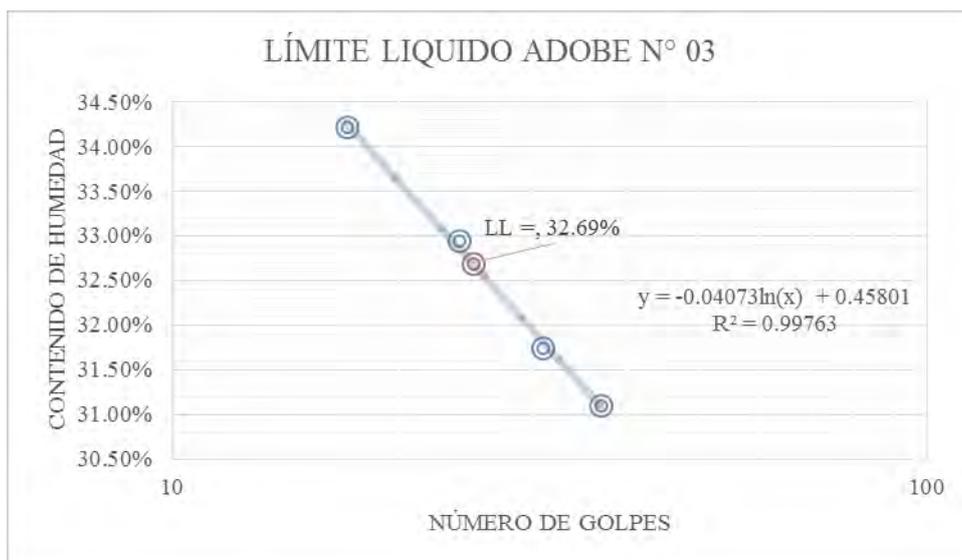


Figura A.11 Gráfica de determinación de límite líquido de adobe n° 03, donde el resultado es 32.69%. Fuente: Elaboración propia, 2019.

Tabla A-12. Determinación de límite plástico de adobe n° 02.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	6.18	6.13	9.47
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.1	12.34	13.98
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.18	11.37	13.28
Peso del Agua (gr)	0.92	0.97	0.7
Peso de la Muestra Seca (gr)	5	5.24	3.81
Contenido de Humedad	18.40%	18.51%	18.37%
LIMITE PLASTICO	18.43%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

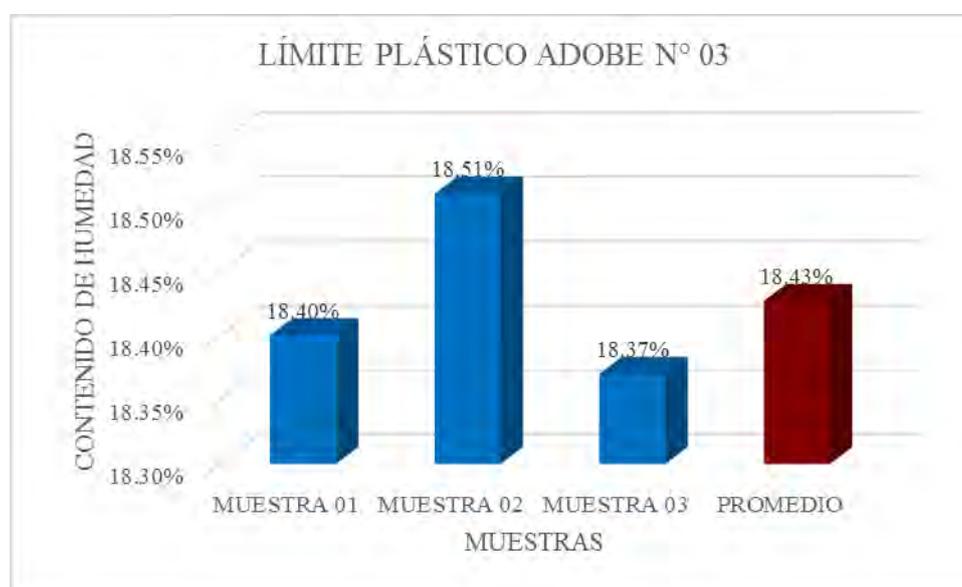


Figura A.12 Gráfica de límite plástico de adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE LÍQUIDO DE MORTERO DEL ADOBE N° 01

Tabla A-13. Determinación de límite líquido de mortero del adobe n° 01.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	38	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	9.27	9.39	8.34	8.35
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	37.1	38.86	37.51	36.46
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	32.03	33.4	31.83	30.82
Peso del Agua (gr)	5.07	5.46	5.68	5.64
Peso de la Muestra Seca (gr)	22.76	24.01	23.49	22.47
Contenido de Humedad	22.28%	22.74%	24.18%	25.10%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

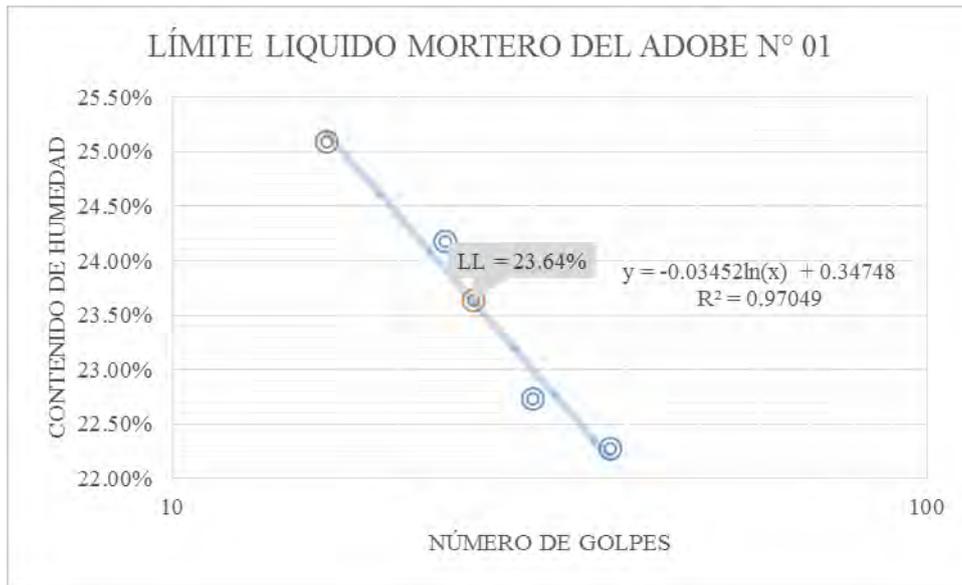


Figura A.13 Gráfica de determinación de límite líquido de mortero del adobe n° 01, donde el resultado es LL = 23.64%. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE PLÁSTICO DE MORTERO DEL ADOBE N° 01

Tabla A-14. Determinación de límite plástico de mortero del adobe n° 01.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	6.45	6.45	6.47
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.06	13.08	12.49
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.36	12.27	11.75
Peso del Agua (gr)	0.7	0.81	0.74
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.91	5.82	5.28
Contenido de Humedad	14.26%	13.92%	14.02%
LIMITE PLASTICO	14.07%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura A.14 Gráfica de límite plástico de mortero del adobe n° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE LÍQUIDO DE MORTERO DEL ADOBE N° 02

Tabla A-15. Determinación de límite líquido de mortero del adobe n° 02.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	37	30	23	16
Peso de Capsula (gr)	8.12	8.04	8.03	8.02
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	29.87	27.34	28.93	26
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	24.61	22.59	23.77	21.45
Peso del Agua (gr)	5.26	4.75	5.16	4.55
Peso de la Muestra Seca (gr)	16.49	14.55	15.74	13.43
Contenido de Humedad	31.90%	32.65%	32.78%	33.88%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

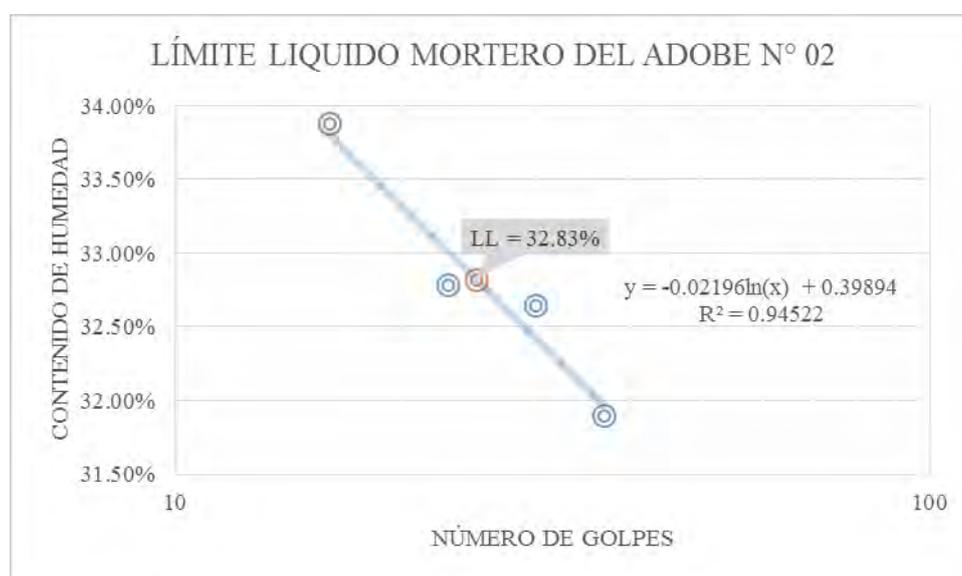


Figura A.15 Gráfica para la determinación del límite líquido de mortero del adobe n° 02, donde el resultado es $LL = 32.2$. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE PLÁSTICO DE MORTERO DEL ADOBE N° 02

Tabla A-16. Determinación de límite plástico de mortero del adobe n° 02.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	6.18	5.79	6.33
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.35	11.93	12.98
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.26	10.85	11.81
Peso del Agua (gr)	1.09	1.08	1.17
Peso de la Muestra Seca (gr)	5.08	5.06	5.48
Contenido de Humedad	21.46%	21.34%	21.35%
LIMITE PLASTICO	21.38%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.

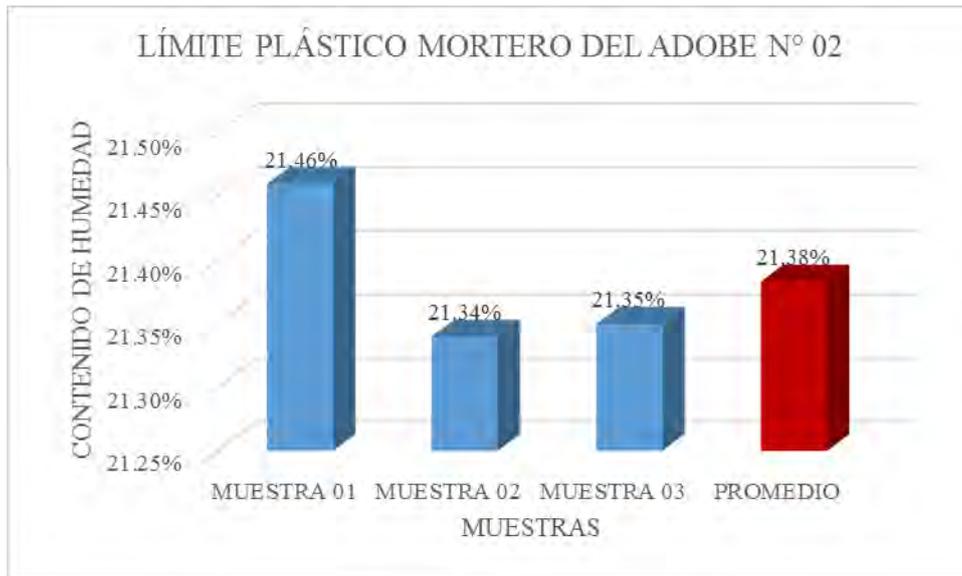


Figura A.16. Gráfica para la determinación del límite plástico de mortero del adobe n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE LÍQUIDO DE MORTERO DE ADOBE N° 03

Tabla A-17. Determinación del límite líquido de mortero del adobe n° 03.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03	MUESTRA 04
Número de Golpes	40	33	26	19
Peso de Capsula (gr)	8.22	10.8	9.53	8.38
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	34.15	35.17	36.84	34.52
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	27.62	28.93	29.82	27.72
Peso del Agua (gr)	6.53	6.24	7.02	6.8
Peso de la Muestra Seca (gr)	19.4	18.13	20.29	19.34
Contenido de Humedad	33.66%	34.42%	34.60%	35.16%

Fuente: Elaboración propia, 2019.

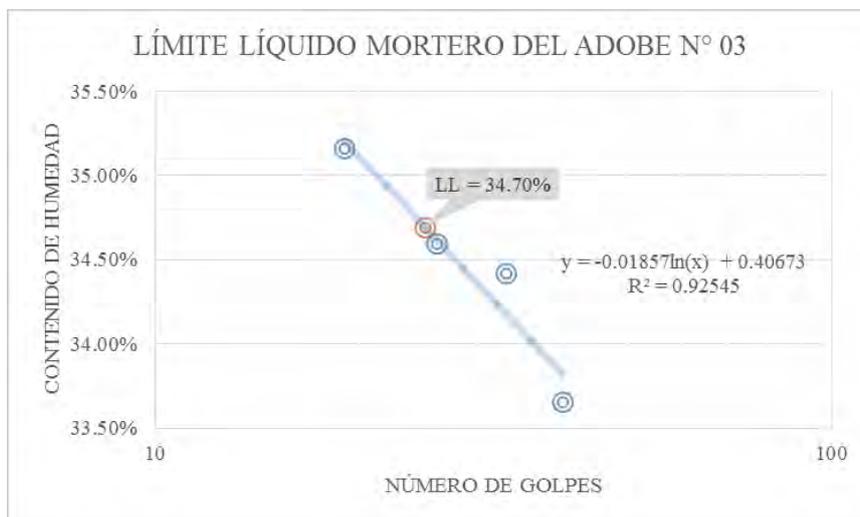


Figura A.17 Determinación del límite líquido de mortero del adobe n° 03, donde el resultado es LL= 34.70%. Fuente: Elaboración propia, 2019.

LÍMITE PLÁSTICO DE MORTERO DEL ADOBE N° 03

Tabla A-18. Determinación del límite plástico de mortero del adobe n° 03.

DESCRIPCIÓN	MUESTRA 01	MUESTRA 02	MUESTRA 03
Peso de Capsula (gr)	6.47	6.29	6.18
Peso de Capsula + Muestra Húmeda (gr)	12.1	12.2	12.71
Peso de Capsula + Muestra Seca (gr)	11.05	11.16	11.52
Peso del Agua (gr)	1.05	1.04	1.19
Peso de la Muestra Seca (gr)	4.58	4.87	5.34
Contenido de Humedad	22.93%	21.36%	22.28%
LÍMITE PLÁSTICO	22.19%		

Fuente: Elaboración propia, 2019.



Figura A.18 Gráfica de límite plástico de mortero del adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.

DIAGRAMAS DE CARGA VS DEFORMACIÓN VERTICAL

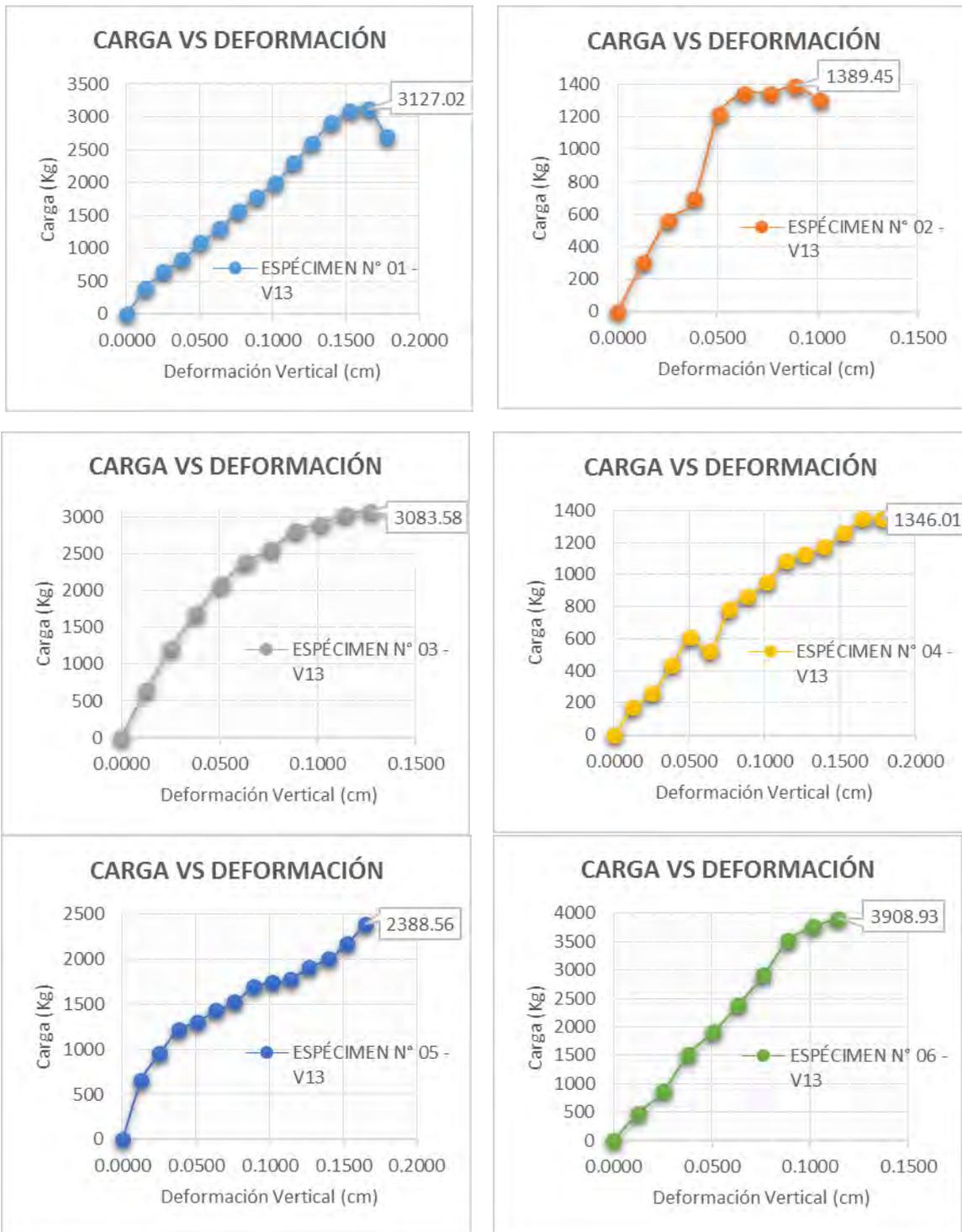


Figura A.19. Resultados de ensayo de compresión simple en especímenes del adobe n° 01. Fuente: Elaboración propia, 2019.

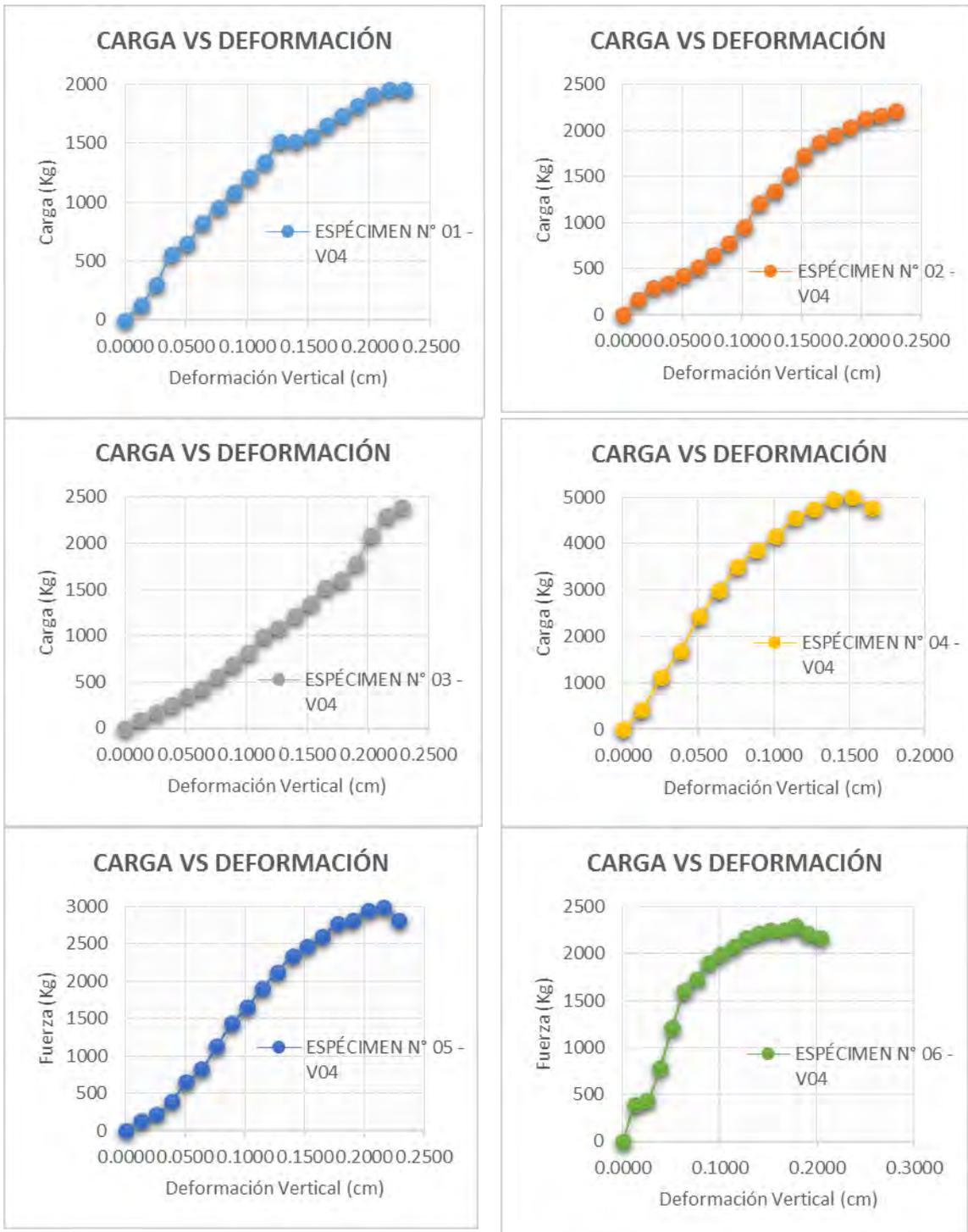


Figura A.20. Resultados de ensayo de compresión simple en especímenes del adobe n° 02. Fuente: Elaboración propia, 2019.

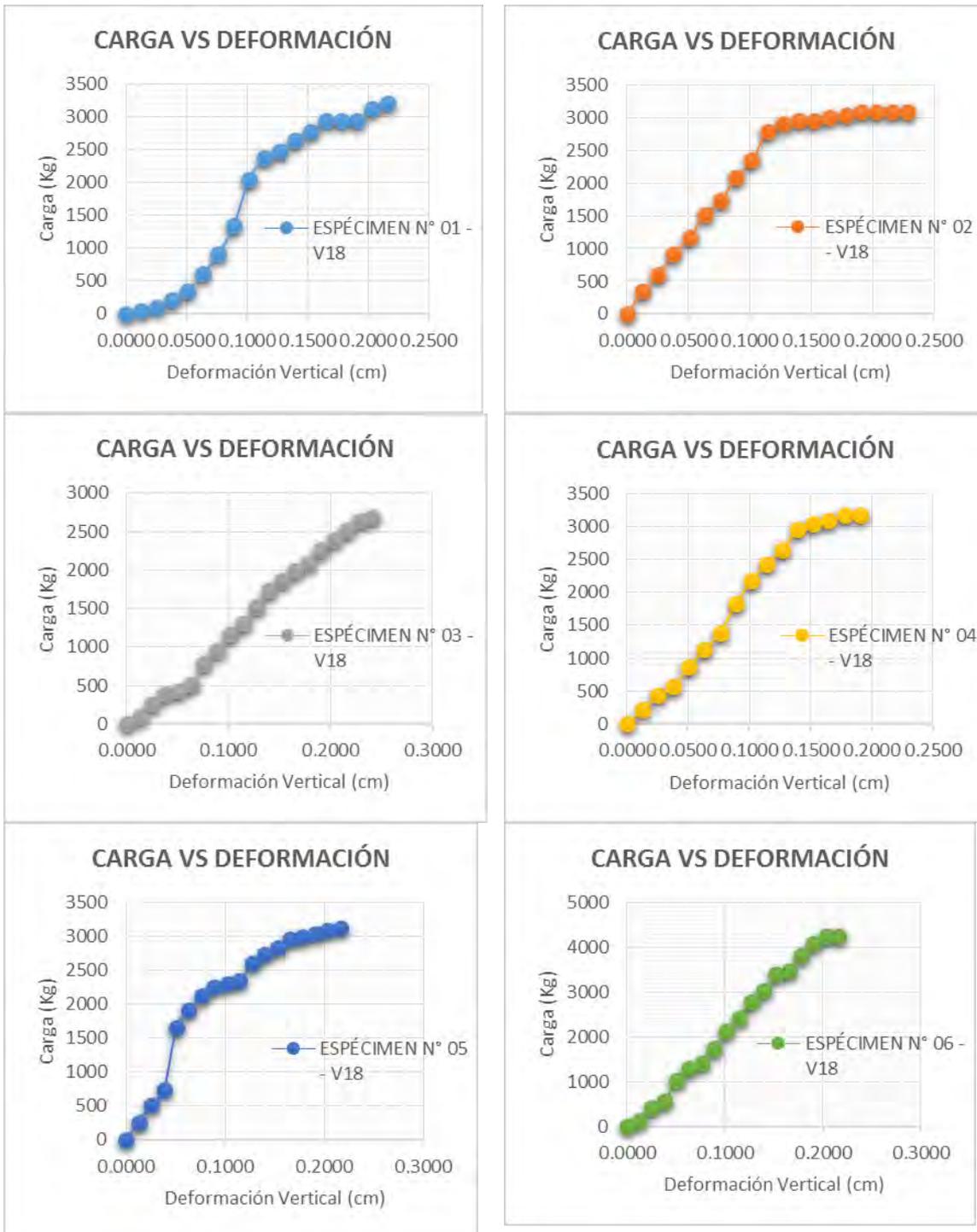


Figura A.21. Resultados de ensayo de compresión simple en especímenes del adobe n° 03. Fuente: Elaboración propia, 2019.

ANEXO B: PANEL FOTOGRÁFICO



Vista desde el albergue a la zona urbana de Chinchero. Fotografía: A.F. (1980)



Vista panorámica de la zona urbana del distrito de Chinchero. Fotografía: I.A.Q. (2010)



Vista del lado este de la zona urbana de Chinchero. Fotografía: I.A.Q. (2010)



Vista actual desde el albergue a la zona urbana de Chinchero. Fotografía: I.A.Q. (2019)



Expansión urbana hacia el noreste en Chinchero. Fotografía: I.A.Q. (2019).



Estudio de suelos en la calicata n° 03. Fuente: Elaboración Propia.



Ensayo de compresión diagonal en la máquina de deflexión. Fotografía: I.A.Q. (2019)



Ensayo de compresión simple en pilas de adobe, en laboratorio de Mecánica de Suelos y Materiales de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil, UNSAAC.



ANEXO C: PLANOS

PLANO N° 01: Plano Catastral de la Zona Urbana del distrito de Chinchero.

PLANO N° 02: Plano de Vista Satelital de la Zona Urbana del distrito de Chinchero.

PLANO N° 03: Plano de Tipología de edificaciones por material de construcción.

PLANO N° 04: Plano de Tipología de edificaciones por número de niveles.

PLANO N° 05: Plano de Ubicación de las viviendas encuestadas.

PLANO N° 06: Plano de Distribución espacial de los sistemas estructurales encontrados.

PLANO N° 07: Plano de Pendientes de terreno en el distrito de Chinchero.



ANEXO D: FICHAS DE ENCUESTA Y REPORTE

FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 01
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 02
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 03
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 04
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 05
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 06
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 07
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 08
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 09
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 10
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 11
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 12
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 13
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 14
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 15
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 16
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 17
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 18
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 19
FICHA DE ENCUESTA Y REPORTE DE LA VIVIENDA N° 20