



UNIVERSIDAD ANDINA DEL CUSCO

FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA CIVIL



TESIS

“ANÁLISIS DE VULNERABILIDAD SÍSMICA EN LAS EDIFICACIONES DEL
CONJUNTO HABITACIONAL PACHACUTEC WANCHAQ - CUSCO - PERÚ, 2020”

Presentado por:

Bach. Jafet Jesús Alfaro Aucca

Bach. Fiorella Ángela Martínez Mora

Para optar al Título Profesional de Ingeniero Civil

Asesor:

Dr. Ing. Elvis Yuri Mamani Vargas

CUSCO – PERÚ

2021



Dedicatoria

A mis padres, Aura y Víctor quienes fueron parte fundamental para culminar esta investigación por la motivación y apoyo que siempre me brindaron para alcanzar mis metas.

A mis hermanas, Crayla e Itkra por ser mis cómplices, ejemplos de constancia y superación; y mis cuñados, Daniel y Jorge por su apoyo constante desde que fueron parte de la familia.

A mis sobrinos, Daniela, Inkill y Jorge Mariano el futuro de la familia que se acerca despacio, pero viene.

Jafet Jesús Alfaro Aucca



*A Dios, a mi madre la Virgen Asunta por bendecir mi vida,
brindarme salud y mucha fortaleza.*

*A mis papás Vilma y Miguel, por cuidar de mí siempre,
consejos y valores que imparten en mi persona y por su
amor incondicional.*

*A mi hermano Miguel Ángel por enseñarme a pesar de tan
sólo ser un niño, muchas cosas valiosas.*

*A toda mi familia y amigos que de forma significativa
contribuyeron en el desarrollo de mi tesis y me brindaron
su apoyo y cariño incondicional.*

Fiorella Ángela Martínez Mora



Agradecimientos

Agradecemos a Dios, a la familia Alfaro Auca y familia Martínez Mora, por el apoyo incondicional, esperanza y valores que formaron en nuestras personas.

Nuestro agradecimiento especial al ingeniero civil Elvis Yuri Mamani Mamani, por su asesoramiento y el proceso que conllevó el dirigir nuestro querido trabajo de investigación.

Especial gratitud a los ingenieros civiles Eliot Pezo Zegarra y Juan Carlos Malpartida Linares, por su apoyo durante la preparación de este trabajo de investigación, que desde su amplia experiencia en la rama de la ingeniería estructural guiaron nuestra tesis de pregrado.

Especial reconocimiento y confianza en nuestras personas, Dayana y Javier, quienes contribuyeron en el trabajo de investigación. Asimismo, a nuestros amigos que fueron un soporte emocional durante el trabajo arduo de esta investigación.

Finalmente, el agradecimiento a nuestra casa de estudios, la Universidad Andina del Cusco y especialmente a la Escuela Profesional de Ingeniería Civil que, durante nuestra estancia de adquisición de conocimientos fue un segundo hogar.

Llevaremos un grato recuerdo de esta linda etapa universitaria de nuestras vidas.

Jafet Jesús Alfaro Auca

Fiorella Ángela Martínez Mora



Resumen

El presente estudio analiza el nivel de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de albañilería armada del Conjunto Habitacional Pachacutec construidas el año 1983, localizadas en el distrito de Wanchaq, ciudad de Cusco, Perú, mediante tres metodologías cualitativas: Método Benedetti-Petrini, Método INDECI y Método FEMA-154 y una cuantitativa: cálculo de las distorsiones laterales.

Los métodos cualitativos satisfacen un formato de método propio, cabe resaltar que se han considerado antecedentes y adaptaciones de investigaciones que aplicaron las metodologías para edificaciones similares de albañilería armada. La metodología cuantitativa se basa en calcular las distorsiones laterales con la elaboración de un modelo matemático mediante la representación física digital en el software ETABS, para el modelamiento se realiza 3 ensayos de resistencia a la compresión de la albañilería y dos ensayos de penetración estándar, desarrollados para las edificaciones: “A-2, B-5, C-7, D-2”, representativas por configuración arquitectónica.

Se analizó los resultados de los métodos cualitativos, donde se observa que la evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones mediante los métodos: Benedetti-Petrini es Alto, INDECI es Alto, y FEMA 154 es Medio. En vista de la similitud de resultados en las metodologías cualitativas, se concluye que el índice de vulnerabilidad sísmica según la calificación cualitativa de las edificaciones del C.H. Pachacutec, localizadas en el distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, en Perú es Alto. Mientras que los resultados obtenidos en la metodología cuantitativa referida al cálculo de distorsiones laterales, resulta un índice de Vulnerabilidad sísmica bajo. Posteriormente se realizó una clasificación por factores que encabezan los métodos cualitativos, se denominan: Factor Geometría, Factor Construcción, Factor Suelo y Factor Diseño Estructural, entre ellos se identifica el parámetro más incidente en los resultados. En esta clasificación se obtiene como efecto que el factor estructura es más incidente en el resultado para el método Benedetti- Petrini, el factor geometría en el método FEMA 154 y el factor construcción en el método INDECI.

Palabras clave: Vulnerabilidad sísmica, albañilería armada, edificaciones, análisis estructural.



Abstract

This study analyzes the level of seismic vulnerability of the armed masonry buildings of the Pachacutec Housing Complex built in 1983, located in the Wanchaq district, city of Cusco, Peru, using three methodologies: Method Benedetti-Petrini, Method INDECI and Method FEMA-154 and a quantitative one: calculation of lateral distortions.

The qualitative methods satisfy their own method format, it should be noted that antecedents and adaptations of research that applied the methodologies for similar reinforced masonry buildings have been considered. The quantitative methodology is based on calculating the lateral distortions with the elaboration of a mathematical model by means of the digital physical representation in the ETABS software, for the modeling, 3 masonry compressive strength tests and two standard penetration tests are carried out. for buildings: "A-2, B-5, C-7, D-2", representative by architectural configuration.

The results of the qualitative methods were analyzed, where it is observed that the evaluation of the seismic vulnerability of the buildings through the methods: Benedetti-Petrini is High, INDECI is High, and FEMA 154 is Medium. In view of the similarity of results in the qualitative methodologies, it is concluded that the seismic vulnerability index according to the qualitative qualification of the buildings of the C.H. Pachacutec, located in the district of Wanchaq, city of Cusco, in Peru is Alto. While the results obtained in the quantitative methodology, calculation of lateral distortions, results in a low seismic vulnerability index. Subsequently, a classification by factors was carried out: Geometry, Construction, Soil and Structural Design, to group the parameters of the qualitative methodologies and identify the most incident parameter, resulting in that the structure factor is the most incident in the result for the Benedetti- Petrini method, the geometry factor in the FEMA 154 method and the construction factor in the INDECI method.

Key words: Seismic vulnerability, armed masonry, buildings. analysis structural.



Introducción

Un evento sísmico, es un movimiento brusco que perjudica a las construcciones edificadas por el ser humano y pone en riesgo a los habitantes, lo que genera pérdidas humanas y de materiales. La actividad sísmica alrededor del planeta Tierra es muy particular, en cuanto a su frecuencia e intensidad, es por ello que los países que bordean el Océano Pacífico presentan una sismicidad alta.

Las pérdidas de vidas humanas y económicas son los principales efectos producidos por esta acción. Adicionalmente la deficiente acción de las autoridades en la falta de organización institucional, comunitaria y limitaciones económicas. Sin embargo, es importante mencionar que las consecuencias principales producidas por los eventos sísmicos se encuentran directamente relacionadas con el comportamiento de las estructuras.

En las últimas décadas creció el interés de la comunidad científica para trabajar sobre la gestión y mitigación de los principales desastres. Entre las iniciativas internacionales se encuentra los estudios de vulnerabilidad sísmica en edificaciones.

En la presente investigación se evalúa el índice de vulnerabilidad sísmica de 47 edificaciones de albañilería armada mediante metodologías clásicas cualitativas: Benedetti- Petrini, FEMA-154 y método de INDECI; para finalmente analizar los resultados y comparar con los modelos numéricos desarrollados con el método de cálculo de distorsiones, donde se idealiza la geometría, las acciones y condiciones de apoyo de la estructura, para finalmente evaluar la convergencia del índice de vulnerabilidad sísmica de las 4 edificaciones típicas del Conjunto Habitacional Pachacutec, los muros portantes son bloques de concreto y llevan refuerzo interiormente en sentido vertical y horizontal.



Índice General

Dedicatoria.....	i
Agradecimientos.....	iii
Resumen	iv
Abstract.....	v
Introducción.....	vi
Índice General.....	vii
Índice de Tablas.....	x
Índice de Figuras	xiii
Capítulo I: Planteamiento del problema.....	1
1.1 Identificación del Problema	1
1.1.1 Descripción del Problema	1
1.1.2 Formulación de la interrogativa	5
1.2 Justificación de la investigación	5
1.2.1 Justificación Técnica.....	5
1.2.2 Justificación Social.....	5
1.2.3 Justificación por Viabilidad	6
1.2.4 Justificación por Relevancia	6
1.3 Limitaciones de la investigación.....	6
1.4 Objetivo de la investigación.....	7
1.4.1 Objetivo general	7
1.4.2 Objetivos específicos	7
Capítulo II: Marco Teórico de la Tesis.....	9
2.1 Antecedentes de la investigación	9
2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional	9



2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional	11
2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes	12
2.2.1 Conceptos fundamentales de sismicidad.....	12
2.2.2 Conceptos generales de Albañilería	16
2.2.3 Vulnerabilidad sísmica de edificaciones.....	19
2.2.4 Método del Índice de Vulnerabilidad: Benedetti- Petrini	21
2.2.5 Método FEMA 154 (Evaluación visual rápida)	22
2.2.6 Método INDECI.....	23
2.2.7 Análisis de distorsiones laterales	24
2.3 Hipótesis.....	24
2.3.1 Hipótesis General	24
2.3.2 Sub-hipótesis	24
2.4 Definición de Variables.....	25
2.4.1 Variable Independiente	25
2.4.2 Variable Dependiente.....	25
2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables.....	26
Capítulo III: Metodología.....	27
3.1 Metodología de la Investigación	27
3.1.1 Enfoque de la investigación	27
3.1.2 Nivel de Investigación.....	27
3.1.3 Método de investigación	27
3.2 Diseño de la Investigación	27
3.2.1 Diseño metodológico	27
3.2.2 Diseño de Ingeniería	28
3.3 Población y muestra	29



3.3.1 Población.....	29
3.3.2 Muestra.....	29
3.4 Instrumentos.....	30
3.4.1 Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos.....	30
3.4.2 Instrumentos de Ingeniería.....	34
3.5 Procedimiento de recolección de datos.....	34
a) Equipos utilizados.....	34
b) Procedimiento.....	36
c) Toma de datos.....	44
3.6 Procedimiento de análisis de datos.....	54
3.6.1 Análisis de datos método INDECI.....	54
3.6.2 Análisis de datos método Benedetti- Petrini.....	65
3.6.3 Análisis de datos FEMA- 154.....	81
3.6.4 Análisis de datos de cálculo de distorsiones laterales.....	85
Capítulo IV: Resultados.....	104
Capítulo V: Discusión.....	115
Glosario.....	118
Conclusiones.....	120
Recomendaciones.....	122
Referencias.....	123
Anexos.....	127



Índice de Tablas

Tabla 1 Terremotos ocurridos en Perú entre los años 1582 y 1959	15
Tabla 2 Parámetros del Método Benedetti-Petrini	22
Tabla 3 Cuadro de operacionalización de variables	26
Tabla 4 Diseño de Ingeniería.....	28
Tabla 5 Número de puntos de exploración.....	53
Tabla 6 Cálculo de irregularidad de esquinas entrantes en edificación “A-2”	60
Tabla 7 Determinación del nivel de vulnerabilidad sísmica método INDECI.....	65
Tabla 8 Limitaciones de unidades de albañilería.....	67
Tabla 9 Valores de esfuerzo cortante para muros de albañilería	68
Tabla 10 Diafragmas horizontales	69
Tabla 11 Posición del edificio en cimentación.....	73
Tabla 12 Tipos de Cubierta	77
Tabla 13 Clasificación del nivel de región sísmico.....	81
Tabla 14 Clasificación del índice de vulnerabilidad método FEMA 154	83
Tabla 15 Factores de corrección f_m por esbeltez.....	87
Tabla 16 Distorsiones sentido X edificación “A-2”	94
Tabla 17 Distorsiones sentido Y edificación “A-2”	94
Tabla 18 Distorsiones sentido X edificación “B-5”	95
Tabla 19 Distorsiones sentido Y edificación “B-5”	95



Tabla 20 Distorsiones sentido X edificación “C-7”	96
Tabla 21 Distorsiones sentido Y edificación “C-7”	96
Tabla 22 Distorsiones sentido X edificación “D-2”	97
Tabla 23 Distorsiones sentido Y edificación “D-2”	97
Tabla 24 Irregularidad de rigidez de piso blando sentido X.....	98
Tabla 25 Irregularidad de rigidez de piso blando sentido Y.....	98
Tabla 26 Irregularidad de resistencia piso débil sentido X	98
Tabla 27 Irregularidad de resistencia piso débil sentido Y	99
Tabla 28 Irregularidad de geometría vertical	99
Tabla 29 Irregularidad de masa o peso.....	99
Tabla 30 Irregularidad torsional sentido X.....	100
Tabla 31 Irregularidad torsional sentido Y.....	100
Tabla 32 Irregularidad esquinas entrantes sentido X.....	100
Tabla 33 Irregularidad esquinas entrantes sentido Y.....	101
Tabla 34 Irregularidad de discontinuidad del diafragma.....	101
Tabla 35 Irregularidad estructural en altura	102
Tabla 36 Irregularidad estructural en planta.....	102
Tabla 37 Periodos de las edificaciones.....	102
Tabla 38 Nivel de vulnerabilidad sísmica método cálculo de Distorsiones Laterales	103
Tabla 39 Resultados de vulnerabilidad sísmica método INDECI.....	104



Tabla 40 Resultados de vulnerabilidad sísmica método Benedetti-Petrini	106
Tabla 41 Resultados de vulnerabilidad sísmica método FEMA 154	108
Tabla 42 Resultados de vulnerabilidad sísmica método distorsiones laterales	110
Tabla 43 Clasificación propuesta	110
Tabla 44 Importancia de las subvariables en los tres métodos cualitativos	112
Tabla 45 Valoración de los parámetros en la evaluación de Vulnerabilidad Estructural y No estructural	112
Tabla 46 Parámetros más vulnerables en las edificaciones	113
Tabla 47 Vulnerabilidad sísmica métodos cualitativos de las 47 edificaciones.....	115
Tabla 48 Contraste de resultados métodos cualitativos y cuantitativo.....	116



Índice de Figuras

Figura 1 Mapa de ubicación a nivel nacional de la región Cusco	3
Figura 2 Mapa de ubicación a nivel departamental de la región Cusco	3
Figura 3 Mapa político administrativo de la provincia de Cusco.....	4
Figura 4 Mapa de ubicación del área de estudio a nivel distrital de Wanchaq.....	4
Figura 5 Mapa del cinturón de Fuego del Pacífico.....	13
Figura 6 Mapa sísmico del Perú	14
Figura 7 a) Albañilería simple; b) Albañilería armada y c) Albañilería confinada.....	17
Figura 8 Manipulación de Drone Mavic 2	35
Figura 9 Detector universal de materiales digital BOSCH D-Tect 150	35
Figura 10 a) Equipo de penetración y b) Armado del equipo SPT.....	36
Figura 11 a) Preparación para el vuelo del equipo y b) Vuelo del equipo Drone Mavic 2 Enterprise Series	37
Figura 12 Codificación de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec.....	38
Figura 13 Inspección de las edificaciones	39
Figura 14 Estado actual de las edificaciones	39
Figura 15 Factores que influyen en la vulnerabilidad	39
Figura 16 Procedimiento con Detector Universal de la edificación D-9 y B-3.....	40
Figura 17 Junta sísmica de 3.5 cm.....	40
Figura 18 Medición de las dimensiones de las edificaciones.....	41



Figura 19 Inspección edificación C-6 y toma de datos edificación B-4.....	42
Figura 20 Edificación A-2	43
Figura 21 Render edificación “A-2”	43
Figura 22 Bloques de muros de concreto extraídos de la edificación	44
Figura 23 Elaboración ensayo SPT	44
Figura 24 Orden de recolección de datos método FEMA-154.....	50
Figura 25 Traslado y armado del equipo SPT	52
Figura 26 Ensayo SPT en el punto de exploración N°01	53
Figura 27 Ensayo SPT en el punto de exploración N°02	53
Figura 28 a) Extracción muestra M-01; b) Muestra M-02 y Muestra M-03	54
Figura 29 Edificaciones B-2, B-4, C-2, C-4 y D-2.....	55
Figura 30 Edificación “C-4” del Conjunto Habitacional Pachacutec.....	57
Figura 31 Pilas de bloqueta de concreto de edificación	57
Figura 32 Edificación "D-6"	66
Figura 33 Plano de distribución de la edificación tipo "D-6".....	71
Figura 34 Edificación "D-5" - “D-6”	75
Figura 35 Irregularidad en elevación.....	76
Figura 36 Cubiertas bien conectadas a paneles de muros de albañilería (no presentan viga de soporte).....	78
Figura 37 Cobertura de edificación	78



Figura 38 a) Traslado y b) Armado del equipo SPT en el segundo punto	86
Figura 39 Ensayo de resistencia a la compresión de Muestra 01	87
Figura 40 Ensayo de resistencia a la compresión: Muestra 02 y Muestra 03.....	87
Figura 41 Modelo de grillas de la edificación “A-2” y b) Definición de propiedad del material	90
Figura 42 Configuración de muros portantes y no portantes, losas de la edificación y b) Definición de propiedades de muros portantes	91
Figura 43 a) Definición de cargas de muros no portantes y b) Definición de cargas de la losa y sobrecarga de la edificación	91
Figura 44 Espectro de respuesta sísmica según Norma E.030	92
Figura 45 Definición de patrón de cargas.....	92
Figura 46 a) Datos de casos de carga sentido XX y b) Datos de casos de carga sentido YY.....	93
Figura 47 Asignación de opciones de malla para muro.....	93
Figura 48 Edificación con discretización de puntos en sentido horizontal y vertical	94
Figura 49 Vista en 3D edificación código “B-5”	95
Figura 50 Vista en 3D edificación código “C-7”	96
Figura 51 Vista en 3D edificación código “D-2”	97
Figura 52 Modelo matemático edificación “A-2” en ETABS.....	103
Figura 53 Importancia de factores que inciden en la vulnerabilidad sísmica.....	111



Capítulo I: Planteamiento del problema

1.1 Identificación del Problema

1.1.1 Descripción del Problema

El Perú es un país perteneciente al “Anillo de Fuego del Pacífico”, por ello la actividad volcánica y sísmica es mayor a la que se presenta en distintos países del mundo que no se encuentran en esta larga zona que rodea el Océano Pacífico.

Cusco, una de las ciudades que sufrió eventos sísmicos importantes a través de su historia, entre los más resaltantes se encuentra el sismo del año 1950; cuenta con una cantidad considerable de 53 fallas geológicas (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2015), además se ubica en la Zona Sísmica N°2 (Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento, 2006). Existen una gran cantidad de metodologías para el estudio de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones, en el marco teórico se profundizará a mayor detalle la fundamentación, procesamiento y análisis de resultados de las tres metodologías elegidas para el desarrollo del presente trabajo de investigación titulado: Vulnerabilidad sísmica en edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, y se describen mediante dos métodos internacionales y uno nacional, Benedetti- Petrini, FEMA 154 e INDECI correspondientemente, así mismo se realiza una comprobación y con el objetivo de dar respuesta al objetivo general de la presente tesis de pregrado, realizar un análisis matemático para el Cálculo de Distorsiones Laterales. Cabe indicar que estas metodologías y en su mayoría internacionales no fueron elaboradas acorde a las características de construcción normalizadas en nuestra región y/o país, por lo que en el estudio de nuestra investigación realizamos una adaptación de las metodologías internacionales, sin embargo se puede afirmar que las fuentes bibliográficas tomadas como fundamentación de este estudio exploratorio fueron aplicadas en varias investigaciones en el Perú; teniendo este cimiento bibliográfico es hacedero emplear para la presente investigación.

Cada método cuenta con parámetros propios de evaluación, pero a pesar de tener diferente denominación, estos recopilan las mismas características de las edificaciones en estudio, teniendo en cuenta que poseen elementos en común, se analizará los resultados obtenidos mediante los cuatro métodos.

En efecto, se evidencia la ausencia de estudios relacionados a edificaciones comunes en nuestra ciudad, como Conjuntos Habitacionales, que albergan gran cantidad de personas. Es



por ello que se ha realizado un estudio para la evaluar el estado actual de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, a primera instancia observando falencias como la deficiente conexión entre los elementos estructurales, fisuras y agrietamientos representativos en estos elementos importantes con notable presencia de humedad, además la variación de las cubiertas, algunas edificaciones que presentan irregularidades geométricas a simple vista. Por lo tanto se estima la vulnerabilidad sísmica en estas edificaciones empleando metodologías adaptadas a los tipos de edificaciones en estudio, para lo cual se aplica métodos cualitativos: Benedetti- Petrini, FEMA 154 e INDECI, y posteriormente se analiza los resultados mediante la validación con el método cuantitativo del cálculo de distorsiones laterales.

El Conjunto Habitacional Pachacutec está comprendido en un área de 27,289 m², coordenada de: latitud 13°31'24" S y longitud: 71°57'52" W.

El sistema de construcción de las viviendas del Conjunto Habitacional Pachacutec, ubicado en el distrito de Wanchaq, provincia y región del Cusco, es de albañilería armada y cuenta con 38 años de uso desde su construcción. Asimismo, está constituido por 47 edificaciones, la población residente es de 304 familias. Presenta daños interiores en las estructuras por el tiempo y la actividad sísmica que ha afectado a las edificaciones durante el transcurso de los años.



Figura 1 Mapa de ubicación a nivel nacional de la región Cusco, (Wikipedia, 2010)



Figura 2 Mapa de ubicación a nivel departamental de la región Cusco, (Valderrama, 2015)

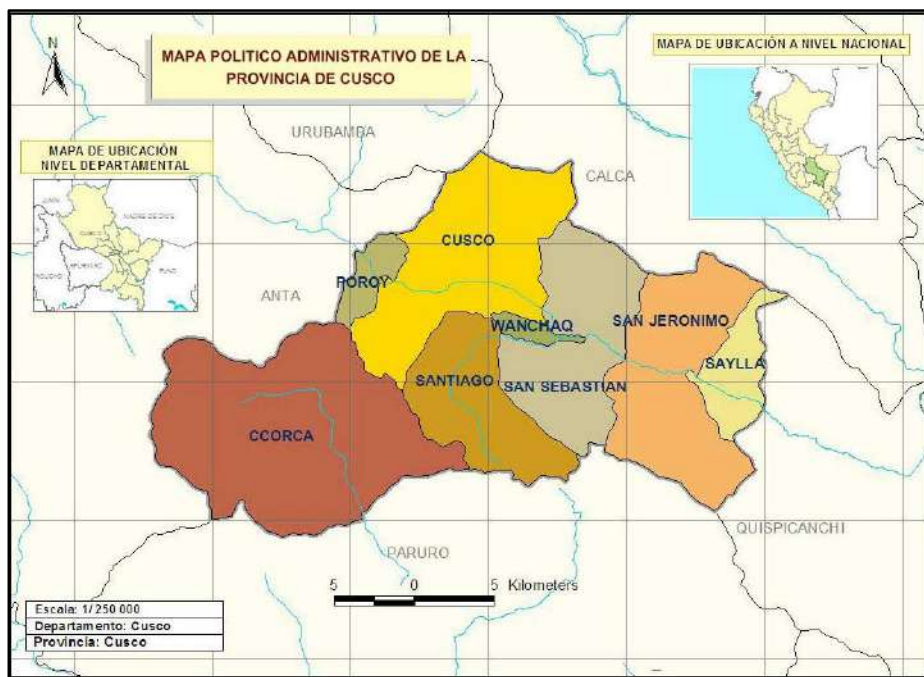


Figura 3 Mapa político administrativo de la provincia de Cusco, (Google, 2006)



Figura 4 Mapa de ubicación del área de estudio a nivel distrital de Wanchaq, (Municipalidad Provincial del Cusco, 2013)



1.1.2 Formulación de la interrogativa

1.1.2.1 Formulación Interrogativa del Problema

- ¿Cuál es la vulnerabilidad sísmica calculada por medio de tres métodos cualitativos y uno cuantitativo en las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú?

1.1.2.2 Formulación Interrogativa de los Problemas Específicos

- ¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método BENEDETTI- PETRINI?
- ¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método FEMA 154?
- ¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método de INDECI?
- ¿Cuál es el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación de los valores de DISTORSIONES LATERALES?

1.2 Justificación de la investigación

1.2.1 Justificación Técnica

Evaluar la Vulnerabilidad Sísmica en las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú; mediante la evaluación de tres metodologías cualitativas: Benedetti- Petrini, FEMA 154 e INDECI, y paralelamente validar la información obtenida con el cálculo de distorsiones laterales de las edificaciones en estudio.

1.2.2 Justificación Social

Las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, tomadas como población y muestra para el desarrollo de la presente investigación, en los últimos años se han visto modificadas notablemente en cuanto a su configuración, a ello se suma la deficiente investigación durante la elaboración de las normativas de construcción, durante el proceso de diseño y construcción



de las edificaciones. Así también debemos mencionar el silencio sísmico que atraviesa nuestra ciudad. Pretendemos entonces alertar acerca de los posibles peligros que conllevan el deterioro producto de un evento sísmico de las edificaciones; del mismo modo incentivar al estudio sobre la investigación a edificaciones de características de construcción similares y/o edificaciones en albañilería.

1.2.3 Justificación por Viabilidad

La ausencia principalmente de planos de arquitectura y estructuras fue una determinante para realizar un replanteo urbanístico de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, mediante un levantamiento fotogramétrico con el apoyo del equipo dron.

Para lograr una caracterización típica del suelo, se concibió estudiar el tipo suelo presente en la zona, por medio del ensayo de penetración estándar para determinar el tipo de suelo en función a la Norma (E.030 Diseño Sismoresistente, 2016)

Para obtener el índice de vulnerabilidad sísmica se evalúa cuatro metodologías, donde se realizó una minuciosa recolección de datos por medio de fichas de elaboración propia pero estandarizadas para el tipo de edificaciones mencionadas en el presente estudio, así recopilar las características de cada edificación según cuatro (04) métodos que fueron aplicados en las edificaciones de albañilería del Conjunto Habitacional Pachacutec.

Por medio de los datos obtenidos será posible determinar el índice de vulnerabilidad de las metodologías propuestas y realizar un análisis de los resultados.

1.2.4 Justificación por Relevancia

La investigación revela su importancia debido, que la ciudad del Cusco es altamente sísmica por poseer 53 fallas geológicas (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2015) y sismos relevantes a lo largo de su historia, es necesario considerar el estudio de este tipo como antecedente y/o instrumento para realizar posteriores estudios de vulnerabilidad sísmica, teniendo en consideración las metodologías usadas en el presente trabajo de investigación y los factores de mayor incidencia en el resultado.

1.3 Limitaciones de la investigación

La presente investigación se limita en los siguientes aspectos:

- Teniendo en cuenta la preponderancia cualitativa de la investigación, se realizó el estudio de las edificaciones por observación directa y análisis visual, para lo cual se



limita a realizar la investigación respecto a la Norma E.030 de Diseño Sismo Resistente y Norma E.070 de Albañilería, con los que fueron diseñados las edificaciones, para los cuatro métodos para el análisis de vulnerabilidad sísmica.

- La aplicación de las metodologías evaluadas en la investigación se limita a estimar la vulnerabilidad sísmica de cuarenta y siete (47) edificaciones de albañilería armada del Conjunto Habitacional Pachacutec, distrito de Wanchaq seleccionadas y codificadas según su distribución en planta.
- Inexistencia de testigos de ensayos realizados durante la construcción de las edificaciones.
- Se limita a realizar ensayos validados en la Norma Técnica Peruana.
- Se aplicó la adaptación de la ficha de verificación de INDECI, empleada en la tesis de pregrado “Análisis del riesgo sísmico de las viviendas de la APV Cachimayo- San Sebastián- Cusco”.
- Se aplicó la adaptación de la ficha de verificación del método FEMA 154, empleada en la tesis de pregrado “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en los edificios de la escuela profesional de ingeniería civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, distrito Cusco, 2018”.
- La evaluación para la toma de datos que solicitan las tres metodologías se realiza de manera directa a todas las edificaciones, a excepción de algunas viviendas donde el acceso fue restringido o en un caso se encontraba inhabitada.

1.4 Objetivo de la investigación

1.4.1 Objetivo general

- Analizar la vulnerabilidad sísmica calculada por medio de tres métodos cualitativos y uno cuantitativo de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú.

1.4.2 Objetivos específicos

- Calcular el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método BENEDETTI- PETRINI.



- Calcular el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método FEMA 154.
- Calcular el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método de INDECI.
- Calcular el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación de DISTORSIONES LATERALES.



Capítulo II: Marco Teórico de la Tesis

2.1 Antecedentes de la investigación

2.1.1 Antecedentes a Nivel Nacional

- *Antecedente Nacional N°01*

(Mozo Barrantes & Salinas Villena, 2020) en su tesis de pregrado “Análisis del riesgo sísmico de las viviendas de la APV. Cachimayo, San Sebastián- Cusco.” sustentada el año 2020, tuvo como objetivo determinar el nivel de riesgo sísmico en las viviendas la APV. Cachimayo, y para que las autoridades puedan establecer medidas adecuadas en gestión del riesgo frente a la investigación.

Para el desarrollo de la investigación, aplicaron herramientas de análisis para calcular el riesgo, vulnerabilidad y peligro sísmico. Para el análisis de la vulnerabilidad sísmica aplicaron la ficha de verificación adaptada del INDECI, que considera 4 niveles de vulnerabilidad: baja, media, alta y muy alta. Para el análisis del peligro sísmico aplicaron el algoritmo R-CRISIS (creador Mario Ordaz) y los resultados que obtuvieron fueron las aceleraciones máximas del suelo para diferentes periodos de retorno, y relacionaron con los niveles de peligro: bajo, medio, alto y muy alto.

Finalmente realizaron un análisis de riesgo sísmico con la matriz elaborada por INDECI, relacionaron peligro y vulnerabilidad sísmica, para determinar la probabilidad de pérdidas de vidas humanas y la posibilidad de la presencia de efectos económicos, sociales y ambientales. Los resultados demuestran que el nivel de peligro es medio y el nivel de vulnerabilidad sísmica es muy alto; mientras que, en la evaluación de la matriz de riesgo sísmico, determinaron que el nivel de riesgo existente es alto, por lo que concluyeron que, al suscitar un evento sísmico, las viviendas de la APV. Cachimayo tienen probabilidad mayor de colapsar.

Se ha considerado el procedimiento de análisis de datos del método INDECI aplicados por las tesis (Mozo Barrantes & Salinas Villena, 2020) en este trabajo de investigación para la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica.

- *Antecedente Nacional N°02*

(Galdos Román & Núñez Esquivel, 2020) en su tesis de pregrado “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en los edificios de la escuela profesional de Ingeniería Civil



de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, distrito Cusco, 2018” sustentada el año 2020, tuvo como objetivo determinar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones de Ingeniería Civil de la UNSAAC (Edificaciones Nuevas y Edificaciones Antiguas), donde aplicaron el manual del FEMA P-154 y la norma ASCE 41-13. El manual FEMA P-154, de preevaluación rápida que presenta una puntuación en base a las características de configuración arquitectónica y estructural de cada edificación que al obtener un valor menor a 2, requerirá una evaluación más detallada.

Como resultado de los análisis determinaron que: el Bloque A (Edificación Nueva) presenta Vulnerabilidad sísmica baja y cumple con los objetivos de desempeño en dos direcciones para el primer caso, en el segundo caso se obtuvo Vulnerabilidad sísmica media y cumplió con los objetivos de desempeño solo en una dirección. El Bloque C (Edificación Nueva) en el primer y segundo caso cumple con los objetivos de desempeño en ambas direcciones y se obtuvo Vulnerabilidad sísmica baja. El Edificio Antiguo no cumple con el objetivo de desempeño de seguridad de vida para un peligro sísmico con periodo de retorno de 975 años en una dirección de análisis, sin embargo, presenta vulnerabilidad sísmica baja.

Se ha considerado el procedimiento de análisis de datos del método FEMA P-154 aplicado por los tesisistas (Galdos Román & Núñez Esquivel, 2020) en este trabajo de investigación para la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica.

- ***Antecedente Nacional N°03***

(Reyes, 2019) en su tesis de pregrado “Vulnerabilidad sísmica de viviendas unifamiliares mediante los índices de Benedetti– Petrini en la Asociación Los Libertadores– Huancayo– Junín”, sustentada el año 2019, tuvo como objetivo determinar la vulnerabilidad sísmica de 61 viviendas unifamiliares mediante el método Benedetti- Petrini, realizando una investigación de nivel descriptivo, no experimental. El resultado de la vulnerabilidad sísmica en las viviendas es: vulnerabilidad sísmica alta: 36.07%, vulnerabilidad sísmica media: 60.66% y vulnerabilidad sísmica baja: 3.28%.



Se ha considerado el procedimiento de análisis de datos del método Benedetti-Petrini aplicado por los tesisistas (Reyes, 2019) en este trabajo de investigación para la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica.

- ***Antecedente Nacional N°04***

(Alvarez & Pulgar, 2019) en su tesis de pregrado “Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de Vulnerabilidad (FEMA p-154) y su validación mediante cálculo de distorsiones laterales”, sustentada el año 2019, tuvo como objetivo analizar la vulnerabilidad sísmica de colegios públicos, donde la mayoría de estas estructuras predominantes son construcciones prefabricadas y construcciones albañilería; de donde de 280 de 473 estructuras se encuentran entre vulnerables y muy vulnerables, en vista que presentan sistema estructural de albañilería, ya que poseen columnas delgadas, irregularidades y únicamente es sostenido por sus muros de albañilería. Mediante el cálculo de distorsiones se obtuvo que el pabellón 780, son los más vulnerables y que requieren atención urgente.

Se consideró en la presente investigación el procedimiento de desarrollo de cálculo de distorsiones aplicados por (Alvarez & Pulgar, 2019) para la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica mediante una representación matemática.

2.1.2 Antecedentes a Nivel Internacional

- ***Antecedente Internacional N°01***

(Peña, 2015) en su tesis de pregrado “Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de siete viviendas mediante cuatro metodologías en la ciudad de Bogotá”, tuvo como objetivo determinar el índice de vulnerabilidad sísmica de un estudio en 7 estructuras en Bogotá. La metodología que aborda el estudio consiste en identificar tipologías determinantes, aplicaron 4 métodos: Benedetti- Petrini, FEMA 154, Demanda-Resistencia y AIS, para el análisis de la vulnerabilidad sísmica, obtuvieron la incidencia de las características evaluadas por los métodos y realizaron una comparación en función a su incidencia en el resultado como un aporte al proyecto de investigación. El estudio concluyó que las edificaciones estudiadas tienen un nivel de Vulnerabilidad sísmica alto, además demostraron las metodologías Benedetti- Petrini y FEMA 154 son más detalladas para la evaluación



de la Vulnerabilidad sísmica, en cuanto a los factores de geometría de ambos métodos demuestran que son más relevantes y tienen mayor incidencia en el resultado frente a los 4 métodos cualitativos aplicados en la investigación.

Se ha considerado el análisis de resultados realizado por el tesista (Peña, 2015) para la obtención de la clasificación de parámetros y obtención de la incidencia en la presente investigación.

- ***Antecedente Internacional N°02***

(García, 2009), en su investigación “Evaluación de la fragilidad basada en distorsión lateral para muros de mampostería confinada”, tuvo como objetivo realizar un análisis de curvas de fragilidad de 118 especímenes ensayados en un proyecto de investigación en México, Chile, Perú, Venezuela y Colombia, basadas en el desplazamiento lateral en muros de mampostería confinada; para determinar su desplazamiento lateral, donde las curvas de fragilidad de los estados de daño se determinaron en función a la aparición de grietas diagonales. Las curvas de fragilidad obtenidas en el estudio son antecedentes para investigaciones y para realizar evaluaciones de la vulnerabilidad sísmica, calcular posibles pérdidas económicas de edificaciones con muros que presenten el mismo tipo de sistema estructural (muros de mampostería).

Se ha considerado el procedimiento de desarrollo de investigación y la elaboración de ensayos que realizaron para la obtención de las distorsiones laterales como antecedente para realizar la presente investigación.

2.2 Aspectos Teóricos Pertinentes

2.2.1 Conceptos fundamentales de sismicidad

2.2.1.1 Sismo

Se denomina sismo a las “perturbaciones súbitas en el interior de la tierra que dan origen a vibraciones o movimientos del suelo”; generalmente la causa principal de los sismos es la ruptura y fractura de las rocas en las capas más exteriores de la tierra (Zelaya, 2007).

Se define que el sismo o seísmo es el movimiento de la tierra que permite la liberación de energía acumulada en las capas internas, estos movimientos se producen por el choque de las placas tectónicas, otra de las principales causas son las fallas geológicas (Yépez, Barbat, & Canas, 1995).



2.2.1.2 Cinturón de Fuego del Pacífico

El Cinturón de Fuego del Pacífico, producto del movimiento de placas tectónicas y la colisión de éstas en la corteza terrestre que al emanar energía provocan el 90% de las catástrofes del planeta. “Se caracteriza por concentrar algunas zonas de subducción más importantes del mundo las cuales ocasionan una intensa actividad sísmica y volcánica” (López, 2017).

Este Cinturón se extiende en 40 mil kilómetros, está compuesto de 452 volcanes y concentra más del 75% de los volcanes activos del planeta Tierra. En éste se originan 90% de los terremotos del mundo, se inicia con los Andes (costas sur de Chile, Perú, Ecuador, Colombia) pasa por Centro América (Panamá, Costa Rica, Nicaragua, El Salvador, Honduras, Guatemala) y Norte América (México y Estados Unidos) dobla a la altura de las Islas Aleutianas y baja por las costas de Japón y China (Ciencia UANL, 2018).

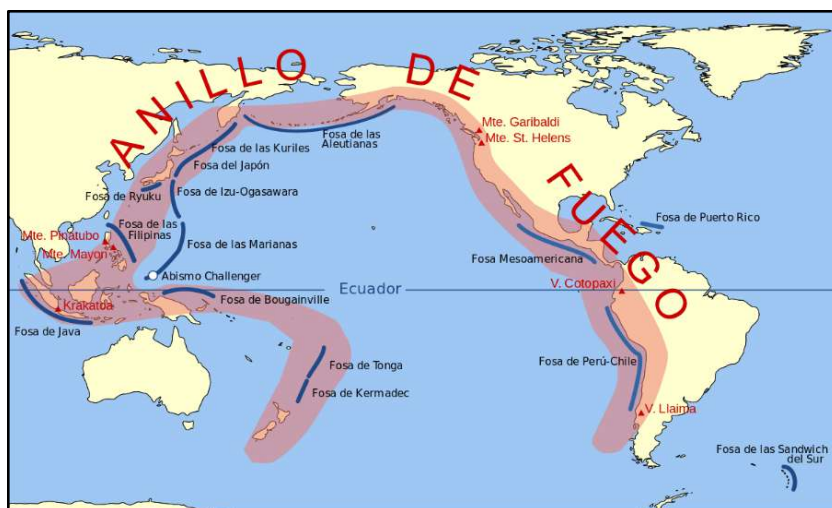


Figura 5 Mapa del cinturón de Fuego del Pacífico, (Municipalidad Provincial del Cusco, 2013)

2.2.1.3 Sismicidad histórica en el Perú

La sismicidad del territorio peruano obedece al proceso de subducción de placas tectónicas y dinámica de estas unidades tectónicas pertenecientes al interior del continente.

“La recopilación de información realizada por Silgado (1978) y Dorbath et al. (1990), describe los terremotos ocurridos con mayor magnitud e intensidad suscitados frente a la costa peruana durante el año 1582 (primer gran terremoto con documentación histórica), año 1687 y año 1746, considerados como los más destructivos en gran porcentaje en la



ciudad de Lima, con respecto a los que habrían ocurrido en el interior del país” (Instituto Geofísico del Perú (IGP), 2011).

En el sur del país, los terremotos más notables ocurrieron en los años 1604, 1784 y 1868, teniendo más datos documentados de este último y descrito a detalle por el sismólogo francés y primer director del Servicio Sismológico de Chile Montessus de Ballores (1911). Estos eventos telúricos resultaron en daños considerables en las ciudades: Arequipa, Moquegua y Tacna. Adicionalmente la ocurrencia de tsunamis con olas que datan con un alcance de 15 a 20 metros de altura.

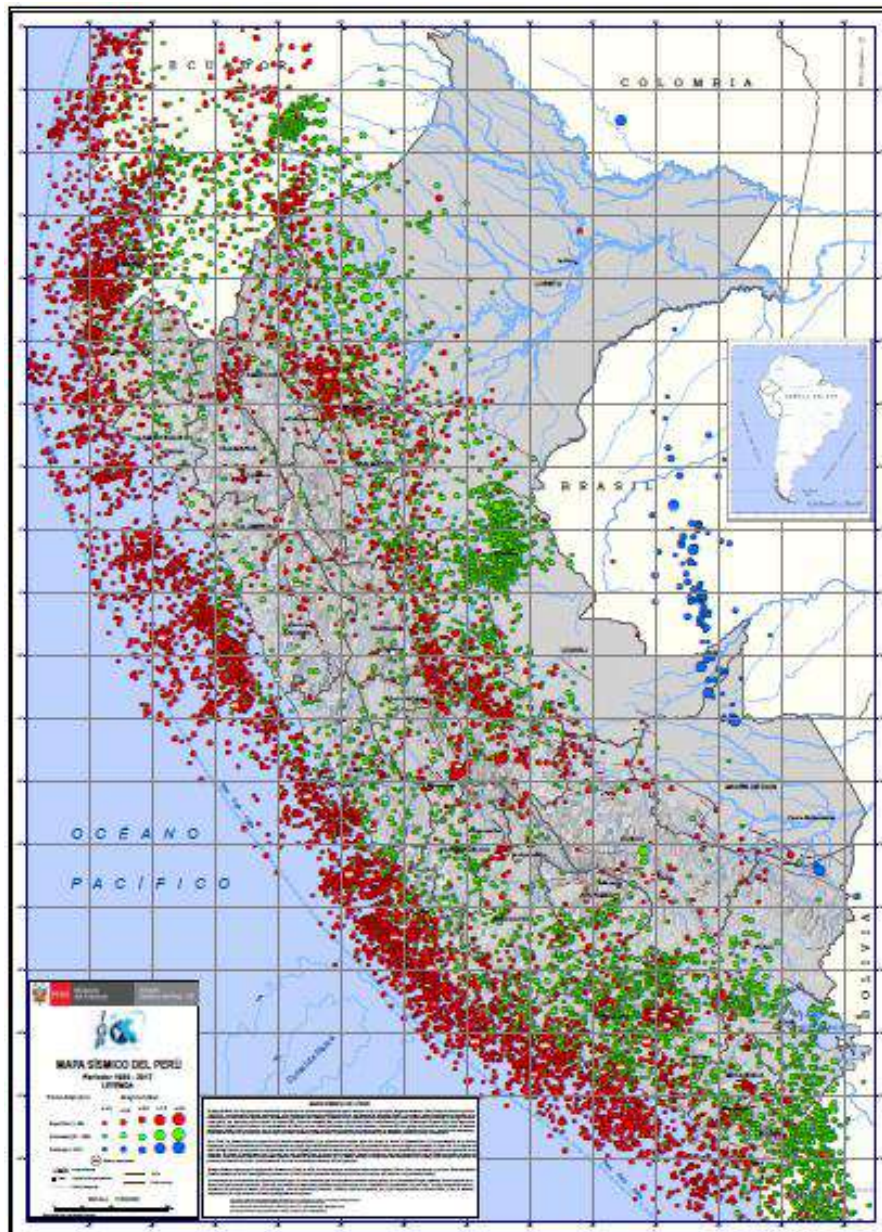


Figura 6 Mapa sísmico del Perú, (Instituto Geofísico del Perú (IGP), 2011)



Los terremotos ocurridos con grandes intensidades datan del año 1582, primer gran terremoto con documentación histórica.

Tabla 1 Terremotos ocurridos en Perú entre los años 1582 y 1959

Fecha (d/m/a)	Latitud	Longitud	Intensidad (MM)	Magnitud
22/01/1582	-16.3	-73.3	X	7.9
09/07/1586	-12.2	-77.7	IX	8.1
24/11/1604	-18.0	-71.5	IX	8.4
14/02/1619	-8.0	-79.2	IX	7.8
31/05/1650	-13.8	-72.0	X	7.2
13/11/1655	-12.0	-77.4	IX	7.4
12/05/1664	-14.0	-76.0	X	7.8
20/10/1685	-13.0	-77.5	IX	8.2
28/10/1784	-11.6	-77.5	X	8.4
13/05/1784	-16.5	-72.0	X	8.0
07/12/1806	-12.0	-78.0	VIII	7.5
10/07/1821	-16.0	-73.0	VIII	7.9
13/08/1868	-18.5	-71.2	X	8.6
09/05/1887	-19.5	-71.0	VIII	7.5
28/07/1913	-17.0	-73.0	IX	7.0
06/08/1913	-17.0	-74.0	X	7.7
24/05/1940	-10.5	-77.6	VIII	8.2
24/08/1942	-15.0	-76.0	IX	8.4
10/11/1942	-8.3	-77.8	X	7.2
01/11/1947	-11.0	-75.0	IX	7.5
21/05/1950	-14.4	-72.1	VII	6.0
12/12/1953	-36.0	-80.5	VIII	7.7

Fuente: (Tavera & Buform, 1998)

2.2.1.4 Sismicidad histórica en el Cusco

- *Terremoto Cusco-1650*

Fecha: 31 de marzo de 1650 (14.00 hrs)

Magnitud: 7.7 en la escala de Richter

“Se cree que la duración fue de un cuarto de hora, con intermitencias, causando 5000 muertos, no se cuenta con mayor detalle de este suceso” (Rowe, 1990).

- *Terremoto Cusco-1941*

Fecha: 18 de Setiembre de 1941 (8.15 hrs.)

Magnitud: 7 en la escala de Richter



Se registró un fuerte terremoto en Cusco y zonas aledañas (Abancay y Caravelí), causando daños en viviendas y templos (Rene, 2014)

- *Terremoto Cusco-1950*

Fecha: 21 de mayo de 1650 (13.39 hrs.)

Magnitud: 6.8 en la escala de Richter

Este terremoto fue una de las catástrofes más fuertes que sufrió la ciudad de Cusco, ocasionando la muerte de 1581 personas y teniendo el 50% de las edificaciones con daños graves, se calcula que la duración fue de 06 seg. a 12 seg., asimismo consideraron que el sismo fue ocasionado por la licuefacción de suelos. Los edificios que sufrieron mayor daño fueron iglesias y conventos construidos en la época colonial (convento de Santo Domingo y Compañía de Jesús), la UNESCO se encargó de reconstruir el Centro Histórico a cargo del historiador George Kubler (Rene, 2014).

- *Terremoto Cusco-1986*

Fecha: 5 de abril de 1986 (15.15 hrs.)

Magnitud: 5.8 en la escala de Richter

Se registraron 150 viviendas dañadas de las cuales 30 colapsaron y fueron demolidas poco después, se catalogó como un sismo asociado a la falla geológica de “Coricocha” a 20 km del centro de la ciudad de Cusco, ocasionando la muerte de 09 personas (Muñiz Huanco, 2013).

2.2.2 Conceptos generales de Albañilería

2.2.2.1 Albañilería

La albañilería es el conjunto de unidades ligadas entre sí con mortero de barro, cemento u otro material. Las unidades pueden ser naturales o artificiales, piedras y adobes, ladrillos, bloques, correspondientemente. La albañilería existió desde tiempos prehistóricos e inicialmente da origen con la pirca (“perqakuna” (quechua): muro de construcción de baja calidad, rústico incaico, realizado con piedras naturales sin barro) (San Bartolomé R., 1994).

2.2.2.2 Técnicas de construcción de albañilería

- **Albañilería simple**

Usada de modo habitual, se le considera simple por “No poseer más elementos que el ladrillo y el mortero, estos elementos resisten las cargas que afectan la construcción” (Alarcón, 2018).

- **Albañilería armada**

Es el conjunto de albañilería que ubica en el interior de las cavidades del bloque, varillas de acero corrugado distribuidas en forma horizontal y vertical, y concreto líquido en sus alveolos, de manera que todo el muro resiste a los esfuerzos sometidos. “Los ladrillos son colocados de forma traslapada, utilizando un mortero de cemento- arena- piedra chancada” (Castañeda, Porras, Vasquez, Jimenez, & Sanchez, 2016).

- **Albañilería confinada**

La albañilería confinada o reforzada, refiere al levantamiento de muros de ladrillo junto con un vaciado de columnas de hormigón armado en el borde de estos, la razón de su estabilidad es por el conjunto de columnas, vigas y ladrillo que permiten disponer de un estructura sólida y flexible al mismo tiempo (San Bartolome, 1994).



Figura 7 a) Albañilería simple, (Souza, 2020); b) Albañilería armada, (Souza, 2020) y c) Albañilería confinada, (Castañeda, Porras, Vasquez, Jimenez, & Sanchez, 2016)

2.2.2.2.1 Construcción de viviendas de albañilería armada

La albañilería armada es una técnica de construcción, es empleada usualmente en las edificaciones con menor cantidad de pisos, en su perímetro cuenta con elementos de concreto armado (SENCICO, 2005).

De acuerdo con la Norma (E.070 Albañilería, 2006), “Muros que desempeñan función sísmica y son aquellos que intervienen en el cálculo de la densidad mínima de muros y deben estar completamente rellenos con grout”.



El grout es el concreto con/sin agregado grueso, de consistencia fluida; se asemeja al de una “Sopa de sémola bien espesa, que permite rellenar los intersticios de la albañilería armada, con el objetivo de integrar al refuerzo con la albañilería en una sola unidad y proporcionar resistencia al muro” (San Bartolome, 1994).

“La albañilería armada conforma los bloques de concreto es un sistema constructivo que consiste en la edificación de muros mediante la disposición ordenada de bloques huecos de concreto o arcilla” (Angulo, 2014).

2.2.2.3 Conjunto habitacional de albañilería

Desde los años 30, después de la Segunda Guerra Mundial continúa siendo de uso más frecuente, como solución al aumento de la densidad de ocupación del suelo urbano, y como alternativa para “disminuir costos y tiempo de construcción de edificaciones” (Toro, 2015). La revista “El Arquitecto Peruano” (creada en 1937) comenta sobre la oleada de inmigrantes de distintos departamentos del Perú a Lima que generó la necesidad de disponer de viviendas. Los Conjuntos Habitacionales surgen a raíz de la crisis económica de la época, los usuarios buscaban el mejor precio, sin darle prioridad a la calidad del espacio, lo que generó la aceptación de viviendas de área muy reducida, que eliminaba las posibilidades de crecimiento de las familias que lo ocupaban.

En 1946 se crearon entidades que permitieron la construcción de edificaciones de residencia de igual condición en algunos aspectos a una vivienda unifamiliar, los cuales contaban con servicios básicos, accesos vehiculares, áreas exteriores, seguridad y otros. Ejemplo de ello son:

- Corporación Nacional de Vivienda
- Oficina Nacional de Planeamiento y Urbanismo
- Oficina del Plan Regulador de Lima

Conjunto habitacional es “El grupo de viviendas y/o lugar destinado a estar bien resguardado y adecuado para el ser humano que habitará la vivienda construida; donde se podrá realizar diferentes actividades ya sea de uso privado o colectivo” (Murillo, 2014).

En la ciudad de Cusco se crearon varios Conjuntos Habitacionales, entre ellos se menciona:

- Conjunto Habitacional Pachacutec
- APV Amauta
- Conjunto Vecinal Zarumilla



- Conjunto Habitacional Hilario Mendivil
- Unidad Vecinal "Mariscal Gamarra"
- Conjunto Habitacional Barrio Periodista.

2.2.3 Vulnerabilidad sísmica de edificaciones

La vulnerabilidad sísmica de una estructura es definida por los siguientes conceptos según diferentes especialistas:

“La vulnerabilidad sísmica de una estructura se considera como una propiedad intrínseca a sufrir daño frente a un evento sísmico de determinadas características, se puede clasificar en una escala de más a menos vulnerables”. “La vulnerabilidad sísmica, es independiente del peligro sísmico; se observó, distintos daños en edificaciones de similar tipo estructural, teniendo en cuenta que se encuentran en la misma zona sísmica” (Mamani, 2020).

La vulnerabilidad sísmica de una estructura se define como “la predisposición intrínseca a sufrir daño ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y se asocia directamente con sus características físicas y estructurales de diseño” (Barbat, 1998).

Se desarrollaron propuestas para la evaluación de la vulnerabilidad estructural por efecto del sismo, sin embargo en países como el Perú (en vías de desarrollo y con un bajo control de diseño sismorresistente), son pocos los estudios de estructuras para reducir la vulnerabilidad estructural por efecto de sismos, por lo tanto, frente a un evento de gran intensidad, las pérdidas de vidas humanas y la magnitud de daños económicos, físicos y sociales, dan lugar a verdaderas catástrofes sísmicas (Yépez, Barbat, & Canas, 1995).

2.2.3.1 Vulnerabilidad estructural

Es el comportamiento y posible daño que puedan presentar los elementos estructurales (vigas, columnas, cimentación, muros portantes) de una edificación luego de un evento sísmico; su comportamiento y estabilidad es dependiente de los elementos, que a su vez mantienen firme la estructura, reciben el peso, cargas verticales y horizontales, sobrecargas, carga viva, carga de sismo y de viento de la estructura.

2.2.3.2 Vulnerabilidad no estructural

Es el comportamiento y posible daño que puedan presentar los elementos no estructurales durante y después de un sismo, estos elementos no mantienen en pie la estructura mucho menos soportan cargas, sino más bien se encuentran dentro de las edificaciones



(electrodomésticos y muebles), y los que se encuentran unidos a las partes estructurales (instalaciones eléctricas, sanitarias y de gas). Los elementos no estructurales se encuentran susceptibles a tipos de movimiento como volcamiento y deslizamiento que podría causar inseguridad dentro de la edificación.

2.2.3.3 Análisis de la vulnerabilidad estructural

Para la determinación de la vulnerabilidad estructural, se presentan métodos de análisis cualitativos y cuantitativos:

A. Métodos cualitativos

Son métodos diseñados para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una muestra masiva de edificaciones. Estos métodos califican la edificación, de modo que no precisan cálculos sofisticados, de acuerdo a aspectos tales como su estado de conservación, irregularidad en planta y altura, relación con el suelo, entre otros (CERESIS, 1985).

B. Métodos cuantitativos

Estos métodos son utilizados cuando la importancia de la edificación lo amerita. Se aplican para “profundizar los resultados obtenidos de los métodos cualitativos”, al realizar el análisis se considera la información básica de las características de los materiales, caracterización del suelo y de la estructura (Hernandez Avila, 2016).

Según (Hernandez Avila, 2016) los análisis cuantitativos se realizan mediante representaciones matemáticas de la estructura, en las cuales se deben considerar aspectos tales como:

- Interacción de la estructura con los elementos estructurales.
- Cargas reales a las que está sometida la estructura.
- Consideraciones sísmicas que se pueden presentar

a) Análisis estático

Se puede realizar en rango lineal y no lineal, el análisis estático determina el estado y comportamiento de una construcción, presenta fuerzas constantes, y se puede presentar mediante la evaluación de:

- Análisis Pushover
- Espectro de Capacidad- Demanda
- Coeficiente de desplazamiento



b) Análisis dinámico

Se clasifican en:

- Análisis dinámico Lineal: Determina la matriz de rigidez elástica lineal y la de amortiguamiento equivalente, además considera el modelo estructural con múltiples grados de libertad. El procedimiento de uso ingenieril es el de Análisis Modal Espectral.
- Análisis dinámico no Lineal: Determina el comportamiento de una estructura más exactamente, considerando la acción sísmica del suelo, que consiste en obtener un registro sísmico en la zona de análisis que se recopila mediante acelerogramas sintéticos.

2.2.3.4 Análisis de la vulnerabilidad no estructural

O también, daño sísmico no estructural. Se asocia a la susceptibilidad de los elementos no estructurales (puertas, ventanas, tabiques u otros), aquellos que no forman parte del sistema estructural de la edificación, a sufrir daños debido a la ocurrencia de un evento sísmico (Cardona, 1990).

2.2.4 Método del Índice de Vulnerabilidad: Benedetti- Petrini

Este método se desarrolló en Italia con motivos de los estudios post- terremotos realizados a partir del año 1976; en el año 1982 empieza su aplicación en edificaciones; se determinó importantes resultados en los daños de edificaciones y realizando comprobaciones se demostró exitosos resultados en la aplicación del método (Abanto Valdivia & Cardenas Cruz, 2015).

El procedimiento del método inicia realizando una calificación subjetiva de los edificios y se basa en cálculos simplificados de estructuras, “Identifica los parámetros más relevantes que controlan el daño estructural, el índice de vulnerabilidad se relaciona directamente con el grado de daño de la estructura mediante funciones de vulnerabilidad”, (Abanto Valdivia & Cardenas Cruz, 2015), lo cual permite determinar un puntaje para cada parámetro requerido en la obtención del resultado.

Para obtener el índice de vulnerabilidad se realiza una suma ponderada de los valores numéricos obtenidos en cada parámetro que expresan el estado actual de la estructura, de



acuerdo al resultado se determina el nivel de vulnerabilidad de acuerdo a los rangos establecidos (Tabla N°2).

$$Iv = \sum_{i=1}^{11} (Ki \times Wi) \quad (1)$$

Se toman en cuenta 11 parámetros, a los cuales se les atribuye durante la investigación de campo, una valoración de: A, B, C o D.

Tabla 2 Parámetros del Método Benedetti-Petrini

N°	Parámetro	K _i (A)	K _i (B)	K _i (C)	K _i (D)	W _i
1	Organización del sistema resistente	0	5	20	45	1.00
2	Calidad del sistema resistente	0	5	25	45	0.25
3	Resistencia convencional	0	5	25	45	1.50
4	Posición del edificio y cimentación	0	5	25	45	0.75
5	Diafragmas horizontales	0	5	15	45	1.00
6	Configuración en planta	0	5	25	45	0.50
7	Configuración en elevación	0	5	25	45	1.00
8	Separación máxima entre muros	0	5	25	45	0.25
9	Tipos de cubierta	0	15	25	45	1.00
10	Elementos no estructurales	0	0	25	45	0.25
11	Estado de conservación	0	5	25	45	1.00

Fuente: (Abanto Valdivia & Cardenas Cruz, 2015)

En función a ello a cada uno de los parámetros le corresponde un valor numérico “Ki” que varía entre 0 y 45 el cual se multiplica por el factor “Wi” con rangos entre 0.25 y 1.5, para finalmente realizar una calificación global de la edificación en una escala numérica continua (Olarte , Julca, & Orbegoso, 2015).

2.2.5 Método FEMA 154 (Evaluación visual rápida)

Este método fue desarrollado en Estados Unidos, fue elaborado por un grupo de profesionales inspectores y funcionarios de edificios públicos, diseñadores, dueños de edificios del sector privado, estudiantes universitarios quienes usan el “Procedimiento RVS” (Rapid Visual Screening Procedure) como herramienta de trabajo e investigación; consiste en una



evaluación visual rápida de las edificaciones, y está diseñado para elaborar entre tres zonas sísmicas (Alta, Moderada y Baja) (Vizconde, 2004).

La evaluación del método puede ser implementada de forma rápida y económica para desarrollar edificaciones expuestas a un peligro potencial frente a un sismo (Vizconde, 2004). Se basa en límites observados y datos analíticos y en la probabilidad frente al colapso de la estructura, considera un límite de 2 como puntaje, por tanto, las edificaciones cuyo puntaje sea mayor a 2 tendrán un desempeño adecuado frente a un evento sísmico (Soto, 2018).

El método contempla un formulario en el cual se encuentra las principales características de la edificación: localización, número de pisos, año de construcción, nombre del edificio, uso, foto de la edificación, un espacio donde se esquematiza las irregularidades tanto en planta como en elevación, además contempla doce estructuraciones según índices básicos de acuerdo al riesgo sísmico de la localidad, además presenta un recuadro para modificadores de ajuste del índice básico de las características de la estructura según: altura media (4-7 niveles) y gran altura (mayor igual de 8 niveles). Finalmente se determina el índice de vulnerabilidad final por medio de una suma algebraica de los valores obtenidos (Vizconde, 2004).

2.2.6 Método INDECI

Este método propuesto por el Instituto de Defensa Civil, INDECI, tiene como objetivo promover la “mejora de las condiciones de seguridad en términos de infraestructura física e implementación de recomendaciones de prevención orientadas a la reducción de riesgos de desastres, ante la posibilidad de ocurrencia de un sismo de gran magnitud” (INDECI, 2010). Esta metodología consiste en el llenado de una ficha de verificación denominada: “Determinación de la vulnerabilidad de la vivienda para caso de sismo”, las fichas se dividen en cuatro grandes grupos:

- A. Ubicación geográfica de la vivienda
- B. Información del inmueble por observación directa
- C. Características del tipo de vivienda
- D. Características de la construcción de la vivienda

Se realiza una suma de los valores obtenidos en cada uno de los parámetros que influyen en el nivel de vulnerabilidad para ser clasificados.



2.2.7 Análisis de distorsiones laterales

La metodología está basada en la Norma Técnica Peruana E.030, en la cual interviene un análisis dinámico de la estructura en rango lineal y elástico, para lo cual es necesario determinar las propiedades elásticas para realizar modelos estructurales en tres dimensiones “Se desestima la participación estructural del acero, asumiendo que las propiedades geométricas son constantes y a su vez el módulo de elasticidad”, para poder determinar las distorsiones de la estructura en función a las deformaciones obtenidas por medio de un modelo matemático (Alvarez & Pulgar, 2019).

En las investigaciones “Comportamiento de una edificación de albañilería construido con ladrillo artesanal frente a cargas laterales” por (Huaco Cárdenas, 2005) y “Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de Vulnerabilidad (FEMA P-154) y su validación mediante cálculo de distorsiones laterales” por (Alvarez & Pulgar, 2019); evaluaron estructuras de albañilería, los autores estimaron respuestas de la estructura con respecto al grado de distorsión y en función a ello realizaron una clasificación de los niveles de vulnerabilidad.

2.3 Hipótesis

2.3.1 Hipótesis General

- Se obtienen distintos resultados de vulnerabilidad sísmica, calculada por medio de tres métodos cualitativos y uno cuantitativo en las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú.

2.3.2 Sub-hipótesis

- El índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método de Benedetti- Petrini, es medio.
- El índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método FEMA 154, es bajo.
- El índice de vulnerabilidad sísmica de las viviendas del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método de INDECI, es bajo.



- El índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación de los valores de Distorsiones Laterales es medio.

2.4 Definición de Variables

2.4.1 Variable Independiente

- Estado actual de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec

2.4.1.1 Indicadores de variables independientes

- Medidas de la edificación obtenidas por levantamiento arquitectónico.
- Datos del ensayo de penetración estándar.
- Resistencia a la compresión de prismas de bloques de ladrillos de concreto.
- Módulo de elasticidad.
- Entrevistas a residentes del Conjunto Habitacional Pachacutec.

2.4.2 Variable Dependiente

- Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec.

2.4.2.1 Indicadores de variables dependiente

- Vulnerabilidad Alta.
- Vulnerabilidad Media.
- Vulnerabilidad Baja.



2.4.3 Cuadro de operacionalización de variables

Tabla 3 Cuadro de operacionalización de variables

Tipo de variable	Variable	Definición conceptual	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
DEPENDIENTE	Vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec.	Nivel de daño que sufre una estructura frente a un evento sísmico.	- Índice de la vulnerabilidad sísmica mediante el método de Benedetti- Petrini.	- Vulnerabilidad Alta. - Vulnerabilidad Media. - Vulnerabilidad Baja.	Ficha de recolección de datos de: - Método Benedetti- Petrini - Método FEMA 154 - Método INDECI - Cálculo de Distorsiones Laterales
			- Índice de la vulnerabilidad sísmica mediante el método de FEMA 154.		
			- Índice de la vulnerabilidad sísmica mediante el método INDECI.		
			- Índice de la vulnerabilidad sísmica mediante el cálculo de Distorsiones Laterales.		
INDEPENDIENTE	Estado actual de las edificaciones de albañilería del Conjunto Habitacional Pachacutec.	Descripción actual de las edificaciones in situ.	Características geométricas.	Medidas de la edificación obtenidas por levantamiento arquitectónico.	- Dron - Cinta Métrica - Distanciómetro
			Características del suelo.	Datos del ensayo de penetración estándar.	- Penetrómetro
			Características mecánicas.	Resistencia a la compresión de prismas de bloques de ladrillos de concreto.	- Máquina de resistencia a la compresión
			Entrevista a residentes.	Entrevista a residentes.	- Entrevistas



Capítulo III: Metodología

3.1 Metodología de la Investigación

3.1.1 Enfoque de la investigación

La investigación es de tipo cualitativa, porque se basa en datos obtenidos en ambientes naturales, es decir, la recopilación de información de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec se tomará teniendo en cuenta la interpretación subjetiva y la descripción del estado actual de la estructura según lo solicitado en los métodos: Benedetti-Petrini, FEMA 154 y método de INDECI, además se clasifica los resultados de las distorsiones laterales de las edificaciones, en función a la información obtenida a partir de ensayos destructivos y no destructivos in situ. Los valores que estiman el índice de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones se expresan datos heterogéneos de carácter cualitativo, pues no son expresados de forma numérica.

3.1.2 Nivel de Investigación

La presente investigación corresponde al nivel de investigación exploratorio, porque “Se efectúa sobre un tema u objeto desconocido o poco estudiado, por lo cual sus resultados constituyen una visión aproximada de dicho objeto, es decir, un nivel superficial de conocimiento” (Selltiz, 1980).

3.1.3 Método de investigación

El método de investigación es hipotético- deductivo “Es la vía primera de inferencias lógicas deductivas para arribar a conclusiones particulares a partir de la hipótesis, que después se pueden comprobar” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

En la presente investigación se recurre a este método debido a que se realizará el planteamiento de una hipótesis la cual llegará a ser demostrada mediante una serie de pasos permitiendo de modo que la investigación analizará los resultados ya desarrollados por los métodos: Benedetti- Petrini, FEMA 154, metodología propuesta por el INDECI y finalmente los resultados obtenidos a partir de las distorsiones laterales.

3.2 Diseño de la Investigación

3.2.1 Diseño metodológico

El diseño metodológico es no experimental, “Se realiza sin manipular deliberadamente las variables y en los que solo se observan los fenómenos en su ambiente natural para analizarlos” (Hernández Sampieri, Fernández Collado, & Baptista Lucio, 2014).

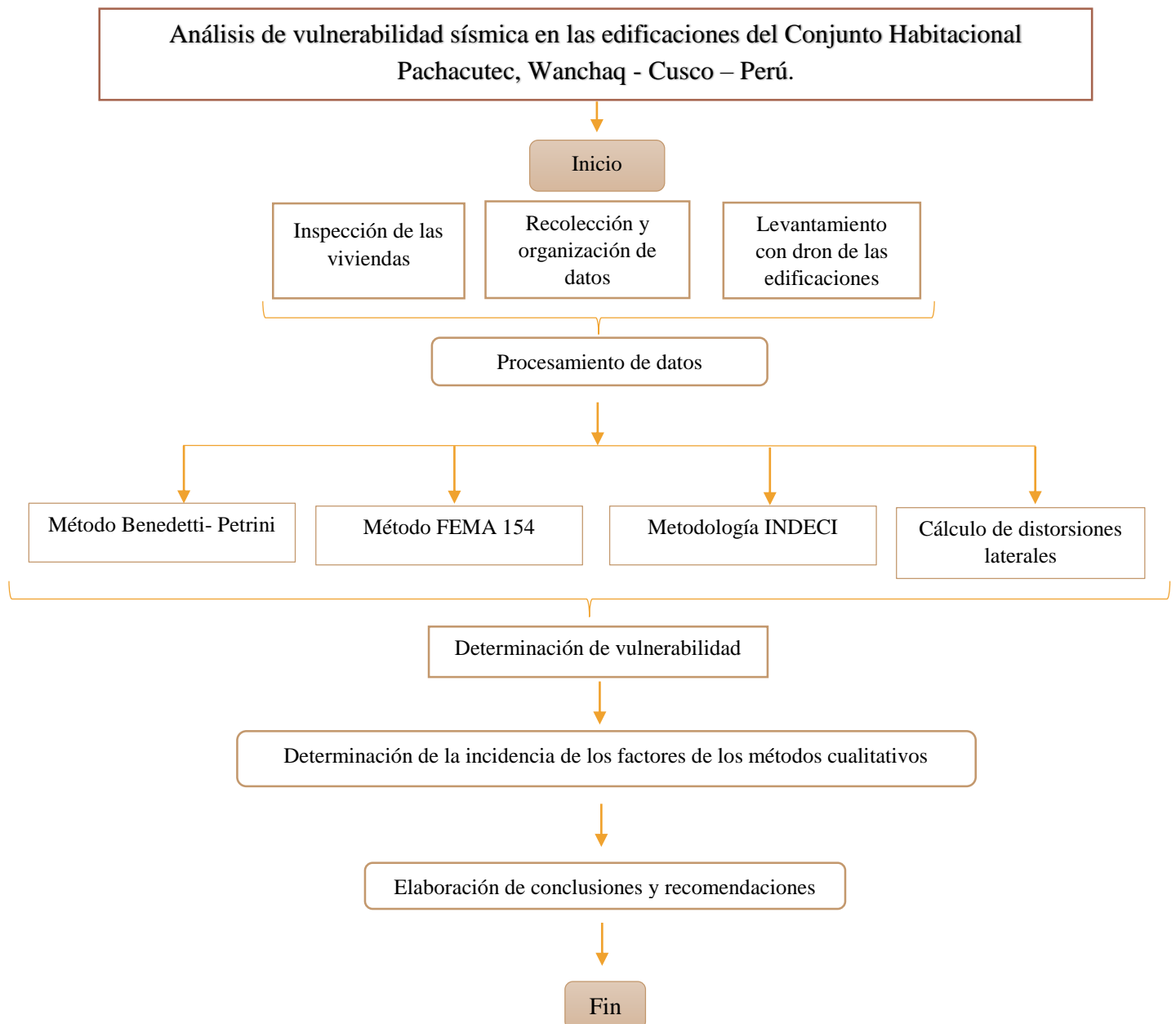
Además, es transeccional porque tiene como un objetivo principal indagar la incidencia y los valores que se podrían manifestar en una o más variables en un solo momento y tiempo



indicado, ya que ser requiere proporcionar la descripción de un grupo de objetos, fenómenos, contextos y situaciones.

3.2.2 Diseño de Ingeniería

Tabla 4 Diseño de Ingeniería





3.3 Población y muestra

3.3.1 Población

3.3.1.1 Descripción de la población

La población del presente trabajo de investigación se encuentra enmarcada en su totalidad por las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, ubicadas en el distrito de Wanchaq, provincia y departamento de Cusco.

3.3.1.2 Cuantificación de la población

La población es finita y cuantificable, luego de una supervisión y evaluación a las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, se determina que el marco muestral para el estudio de la población del presente trabajo de investigación está conformado por cuarenta y siete (47) edificaciones organizadas en códigos enumerados con las letras: “A”, “B”, “C” y “D” para la evaluación de los métodos cualitativos, mientras que en la evaluación del método cuantitativo se considera 04 edificaciones representativas arquitectónicamente.

3.3.2 Muestra

3.3.2.1 Descripción de la muestra

“Según enfoque cuantitativo la muestra es un grupo del universo, de donde se recolecta datos y son representativos de la población” (Feedback Networks, 2013). Con el objetivo de obtener una muestra representativa de la totalidad de la población del presente trabajo de investigación, se considera que la muestra viene representada equivalentemente en número al de la población, siendo así que se viene estudiando a las cuarenta y siete (47) edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec.

3.3.2.2 Cuantificación de la muestra

Cuarenta y siete (47) edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec.

3.3.2.3 Método de muestreo

Se realiza un muestreo intencional, en vista que la elección y selección de los componentes de la población son tomados deliberadamente. Los elementos que componen la muestra se toman intencionalmente, además son altamente representativos (Feedback Networks, 2013).

3.3.2.4 Criterios de evaluación de la muestra

Los elementos que conforman la población y muestra para el estudio del presente trabajo de investigación son enteramente idénticos en cuanto a su cuantificación de elementos. La clasificación está dada por las siguientes edificaciones de acuerdo a su configuración geométrica:

- Edificaciones tipo “A”: 3 edificaciones.



- Edificaciones tipo “B”: 16 edificaciones.
- Edificaciones tipo “C”: 16 edificaciones.
- Edificaciones tipo “D”: 12 edificaciones.

3.4 Instrumentos

3.4.1 Instrumentos metodológicos o Instrumentos de Recolección de Datos

3.4.1.1 Entrevista

Para el estudio del presente trabajo de investigación se da apertura con entrevistas a las autoridades representantes de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, con el propósito de solicitar los respectivos permisos para la realización de ensayos in situ, para la extracción de bloquetas de concreto (interior de edificaciones) y posterior análisis en laboratorio; levantamiento fotogramétrico; identificación del tipo de suelo presente, mediante el ensayo de penetración estándar y demás, para determinar la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones. Además, las entrevistas permitieron obtener datos históricos de las edificaciones.

3.4.1.2 Ficha de recolección de datos

Se empleó las fichas de recolección de datos de los métodos cualitativos, FEMA 154 e INDECI, además se realizó una adaptación de la guía de recolección de datos del método Benedetti-Petrini.

• Ficha de recolección de datos método INDECI.

Evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec				
A. Ubicación geográfica de la vivienda				
Ubicación geográfica		Fecha y hora		
Departamento		dd.	mm.	aa.
Provincia		Hora: hrs.		
Distrito				
Dirección de la vivienda				
Nombre de la Urbanización / Asentamiento Humano / Asociación de vivienda / Otros				
Referencia:				
B. Información del inmueble por observación directa				
1. Desde el exterior se puede observar que:		2. La vivienda se encuentra:		
En caso de colapso, por el predominante deterioro, SI compromete al área colindante		Habilitada		
Ante posible colapso, por el predominante deterioro, NO compromete al área colindante		No habilitada		
No muestra precariedad		Habilitada, pero sin ocupantes		
No fue posible observar el estado general de la vivienda		Rechaza la verificación		
C.- Características del tipo de vivienda				
1. Cuenta con puerta independiente (Forma parte de un complejo)		2. Total de ocupantes (cantidad de personas)		
SI, cuenta con puerta de calle	NO, es parte de un complejo multifamiliar	De la vivienda		
	Vertical	Del complejo familiar (aproximado)		
	Horizontal			
3. Cantidad de pisos de la vivienda		4. Cantidad de pisos del complejo multifamiliar		
Cantidad de niveles superiores (incluido el 1er piso)		Cantidad de niveles superiores (incluido el 1er piso)		
Cantidad de niveles inferiores (sótanos)		Cantidad de niveles inferiores (sótanos)		
No aplica, por ser vivienda multifamiliar		No aplica, por ser vivienda multifamiliar		
5. Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad				
Inundaciones				
Zonas de saturación en lluvias				
Erosión en rivera				
No aplica				

D. Características de la construcción de la vivienda							
1. Material predominante de la edificación							
Característica							
Adobe							
Quincha							
Mampostería							
Madera							
Adobe reforzado							
Albañilería simple							
Albañilería confinada							
Albañilería armada							
Estructuras de concreto							
Estructuras de acero							
2. La edificación contó con la participación de ingeniero civil en el diseño y/o construcción							
Características							
No							
Solo Diseño							
Solo Construcción							
Si							
3. Antigüedad de la edificación							
De 50 años a más ()		De 20 a 49 años ()		De 13 a 19 años ()		De 0 a 2 años ()	
4. Tipo de Suelo							
Orgánico	4	Fino	3	Grava	2	Roca	1
5. Topografía del terreno de la vivienda							
Mayor a 45%	4	Entre 45% a 20%	3	Entre 20% a 10%	2	Hasta 10%	1
6. Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o en área de influencia							
Mayor a 45%	4	Entre 45% a 20%	3	Entre 20% a 10%	2	Hasta 10%	1
7. Configuración geométrica en planta				8. Configuración geométrica en elevación			
Irregular ()	4	Regular ()	3	Irregular ()	2	Regular ()	1
9. Juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura				10. Existe concentración de masas en nivel...			
Irregular	4	Regular ()	3	Existe ()	2	No aplica ()	1
11. En los principales elementos estructurales se observa							
No existen precarios		Deterioro y/o humedad		Regular estado		Buen estado	
No existen precarios		Grietas, rajaduras, pandeo, derrumbes parciales		Existe humedad y fisuras		No presentan grietas rajaduras pandeo derrumbes parciales	
12. Otros factores que inciden en la vulnerabilidad							
No existen precarios		Deterioro y/o humedad		Regular estado			
Cargas externas que afecten la estabilidad de la estructura		Mal uso de los diferentes niveles de la vivienda Mala distribución y/o continuidad de los elementos estructurales		Elementos que se consideren un nivel alto en la incidencia de la vulnerabilidad		No aplica	

Fuente: (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2010)

Fuente: (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2010)



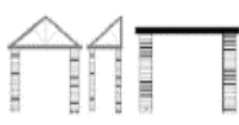
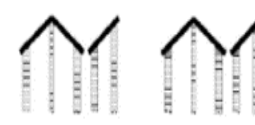


- Ficha de recolección de datos método FEMA 154.

Evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec												
Inspección Visual de Edificación FEMA-154 Formulario de recolección de datos										Región de sismicidad alta		
Esquema de la edificación					Datos de la edificación:							
					Dirección							
					N° de pisos							
					Año de construcción							
					Inspector							
					Fecha							
					Área total del edificio (m2)							
					Nombre del Edificio							
Fotografía de la edificación:												
Ocupación			Tipo de suelo					Riesgos Exteriores				
Sala pública	N° personas	0-10 11-100 101-1000 1000+	A	B	C	D	E	Chimenea no reforzada				
Oficinas								Riesgos de caída en construcción adyacente				
Colegio/Universidad								Parapetos				
Gobierno								Revestimientos				
Comercial								Otros peligros				
Histórico												
Industrial												
Vivienda												
Otros:												
Puntaje básico, modificadores y puntajes finales												
Tipo de edificio	W1	S1	S2	S3	S4	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM	URM
Puntaje básico	5.2	3.6	3.6	3.8	3.6	3.0	3.6	3.2	3.2	24	2.8	3.4
Altura mediana (4-7 pisos)	NA	0.4	0.4	N/A	0.4	0.2	0.4	0.2	N/A	0.2	0.4	-0.4
Altura alta	NA	1.4	1.4	N/A	1.4	0.5	0.8	0.4	N/A	0.4	N/A	N/A
Irregularidad vertical	-4.5	-2.0	-2.0	N/A	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.5
Irregularidad en planta	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0.5
Pre-código	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-1.0	-1.0	-1.0	-0.2	-08	-0.8	-0.4
Post-Benchmark	1.6	1.4	1.4	N/A	1.2	1.2	1.2	N/A	1.8	N/A	2.8	N/A
Suelo tipo C	-0.2	-0.6	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4
Suelo tipo D	-0.6	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.0	-0.6	-0.6	-0.8
Suelo tipo E	-1.2	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.2	-0.6	-1.6
Puntaje final												
Comentarios:										Requiere evaluación detallada		
										SI	NO	

Fuente: (FEMA, 1988)



- **Ficha de recolección de datos método Benedetti- Petrini.**

Ficha de recolección de datos método Benedetti- Petrini				
Inspector(es): - Jafet Alfaro Auca - Fiorella Ángela Martínez Mora				
Datos de la edificación				
Dirección:				
Código de la vivienda:				
Fecha:				
Descripción:				
Parámetros				
1. Organización del sistema resistente	A	B	C	D
2. Calidad del sistema resistente	A	B	C	D
3. Resistencia convencional				
<ul style="list-style-type: none"> • Tipo de material (V) • N° de pisos • Altura de pisos (h) • Número de diafragmas horizontales (M) • Peso de albañilería (según tipo de sistema estructural) • Peso de la cubierta (según tipo de cubierta) 				
4. Posición de edificio en cimentación	A	B	C	D
5. Diafragmas horizontales	A	B	C	D
6. Configuración en planta	A	B	C	D
7. Configuración en elevación	A	B	C	D
8. Distancia máxima entre muros o columnas				
9. Tipos de cubierta	A	B	C	D
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: flex-end;"> <div style="text-align: center;"> <p>A</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>B</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>C</p>  </div> <div style="text-align: center;"> <p>D</p>  </div> </div>				
10. Elementos no estructurales	A	B	C	D
Descripción:				
11. Estado de conservación	A	B	C	D

Fuente: (Benedetti-Petrini, 1984)



3.4.2 Instrumentos de Ingeniería

3.4.2.1 Normativas

- Norma Técnica E.030 Diseño Sismorresistente (2016).
- Norma Técnica E.050 Suelos y Cimentaciones (2018).
- Norma Técnica E.070 Norma Técnica de Albañilería (2006).
- Guías normativas del Instituto Nacional de Defensa Civil (INDECI).
- Guías normativas de la metodología propuesta por el Federal Emergency Management Agency (FEMA 154).

3.4.2.2 Software de ingeniería

- AutoCAD.
- AutoCAD Civil 3D.
- Software ETABS
- Software Agisoft PhotoScan
- Autodesk ReCap
- Software Microsoft Excel.
- Software Google Earth.
- Software Google Maps.

3.4.2.3 Equipos

- Drone Mavic 2 Enterprise Series
- Detector universal de materiales digital BOSCH D-Tect 150
- Penetrómetro
- Máquina de ensayo de compresión

3.5 Procedimiento de recolección de datos

a) Equipos utilizados

- Drone Mavic 2 Enterprise Series

Los métodos Benedetti-Petrini, INDECI y FEMA 154 solicitan determinar irregularidades en planta y en elevación, así como la topografía de la zona, para el cual realizamos un levantamiento topográfico con el soporte de un Drone, modelo Mavic 2 Enterprise Series, presentando las siguientes características:

- El equipo mide: 32 cm de largo, 24 cm de alto y 14 cm de ancho.

Se obtuvo el plano de curvas de nivel determinando las pendientes del terreno, ortofotos que muestran las características físicas del estado actual de las edificaciones, para recopilar medidas requeridas de cada método.



Figura 8 Manipulación de Drone Mavic 2

- Detector universal de materiales digital BOSCH D-Tect 150

El detector universal de materiales BOSCH D-TECT 150 permite la detección de metales magnéticos, metales no magnéticos, cables conductores de corriente, cables no conductores y tubos de plástico. Presenta las siguientes especificaciones:

El equipo mide: 11.90 cm de ancho y 22 cm de largo.

Las características con las que puede detectar materiales al interior de un material sólido de construcción son, en profundidad:

- Detección máxima tubería plástica llena de agua hasta 60 mm.
- Detección máxima para cable de cobre hasta 80 mm.
- Detección máxima para metales ferrosos hasta 150 mm.
- Detección máxima para metales no ferrosos hasta 150 mm.

El equipo se empleó para verificar la presencia de varillas de acero en el interior de los muros en las edificaciones.



Figura 9 Detector universal de materiales digital BOSCH D-Tect 150



- Penetrómetro de suelo

Para el ensayo de Penetración Estándar (SPT) se emplea un penetrómetro de suelo que determina la resistencia a la penetración estándar del suelo en función al número de golpes necesarios para hincar una puntaza metálica. Se empleó los siguientes elementos:

- Motor a gasolina
- Acoples
- Trípode
- Barras metálicas cortas
- Barras metálicas largas
- Barras metálicas largas
- Pesa cilíndrica
- Punta SPT (cabezal de golpeo)



Figura 10 a) Equipo de penetración y b) Armado del equipo SPT

b) Procedimiento

- i. Procedimiento de levantamiento fotogramétrico



Para la obtención de datos correspondiente a la determinación de la irregularidad en planta y elevación, pendiente del terreno y características físicas de las edificaciones, se propuso realizar un levantamiento fotogramétrico (con los permisos respectivos como se revela en el Anexo 01); mediante la aplicación de un drone y procesamiento en conjunto con el apoyo del software Autodesk ReCap para la materialización de los puntos obtenidos in situ del área en estudio, este permitió obtener las curvas de nivel y modelos digitales de las estructuras. El drone sobrevoló las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, en un tiempo estimado de 20 minutos, a una velocidad de 15 kph.



Figura 11 a) Preparación para el vuelo del equipo y b) Vuelo del equipo Drone Mavic 2 Enterprise Series

Seguidamente al procedimiento de levantamiento fotogramétrico y con modelos digitales de las ortofotos del estado actual de las edificaciones, se codificó cada una de las 47 edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec y realizar un procesamiento coordinado y organizado, asignando letras del alfabeto y números agrupados, tales son: “A-1, A-2, A-3, B-1, B-2, B-3, B-4, B-5, B-6, B-7, B-8, B-9, B-10, B-11, B-12, B-13, B-14, B-15, B-16, C-1, C-2, C-3, C-4, C-5, C-6, C-7, C-8, C-9, C-10, C-11, C-12, C-13, C-14, C-15, C-16, D-1, D-2, D-3, D-4, D-5, D-6, D-7, D-8, D-9, D-10, D-11, D-12”.



Figura 12 Codificación de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec

ii. Procedimiento de levantamiento mediante método INDECI

Para dar pie con el procesamiento de la metodología de INDECI, se realizó una entrevista con las autoridades del Conjunto Habitacional Pachacutec exponiendo la metodología para la recopilación de datos y como lo establecen en las normativas del Conjunto Habitacional, se solicitó el permiso para la inspección e ingreso a las edificaciones; en tanto con lo que respecta a información puntual sobre datos históricos de las viviendas (año de construcción y “conocimiento sobre la participación de un ingeniero civil en la construcción y/o diseño en diseño”), se indagó para dar con información certera.

Por medio de observación directa se evaluó los siguientes parámetros: deterioro de las edificaciones, compromete el área colindante, cuenta con puerta independiente y la cantidad de pisos del complejo multifamiliar.



Figura 13 Inspección de las edificaciones

Se realizó una minuciosa inspección visual donde se observa el estado de los elementos estructurales y no estructurales, así mismo otros factores que inciden en la vulnerabilidad sísmica y pueden afectar en el nivel de las edificaciones.



Figura 14 Estado actual de las edificaciones



Figura 15 Factores que influyen en la vulnerabilidad



Se consideró un aforo promedio de cada una de las viviendas en función a la cantidad de habitaciones existentes para determinar la cantidad de ocupantes de las edificaciones. De la misma manera se procedió a verificar el material predominante por medio de observación directa y con el uso de un Detector Universal.



Figura 16 Procedimiento con Detector Universal de la edificación D-9 y B-3

Se obtuvo medidas de las estructuras, alturas de entrepiso y juntas de dilatación sísmica, previa consulta con los propietarios para poder calcular los parámetros de configuración en planta y elevación, de la misma manera se evaluó si las juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura.



Figura 17 Junta sísmica de 3.5 cm



Figura 18 Medición de las dimensiones de las edificaciones

iii. Procedimiento de levantamiento mediante método Benedetti- Petrini

Cumpliendo las normativas y protocolos de seguridad establecidos por los residentes del Conjunto Habitacional Pachacutec, se solicitó la autorización para la examinación exterior e interior de las edificaciones, el método no exige una rigurosa evaluación desde el interior de cada vivienda de las edificaciones, sin embargo para nuestro trabajo de investigación propusimos realizar una evaluación más precisa y examinar minuciosamente las características desde el interior de las viviendas pertenecientes a las edificaciones y comprobar que todas presenten una configuración estructural similar, a continuación se describe el procedimiento para el levantamiento de información del método Benedetti- Petrini.

En primer lugar, se realiza un levantamiento arquitectónico y fotogramétrico (descrito en el ítem 3.5.b), para obtener las principales características de las edificaciones, de modo que se mensura longitudes externas de ventanas, alturas de entrepiso, espesores de mampostería, entre otras características relevantes.

De igual modo, con el soporte del levantamiento fotogramétrico se visualizará con mejor detalle la configuración de planta y elevación de las edificaciones, se debe comprobar la continuidad entre plantas de la misma edificación y su uniformidad; igualmente se verificará el tipo de cubierta conformante a cada edificación.

En segundo lugar, se toma en consideración limitaciones adaptadas en la Norma E.070, uso de albañilería establecido en la Norma del Reglamento Nacional de Edificaciones, para determinar el material predominante usado para la construcción de las edificaciones del presente estudio, caracterizar la zona de sismicidad a la que pertenece de acuerdo a las regiones delimitadas en la Norma, del mismo modo se examina la calidad técnica, enmarcando las características del presente estudio.



En tercer lugar, se debe reconocer las características correspondientes al tipo de suelo visualmente, logrando obtener una mayor confiabilidad realizamos una comparación de resultados con bibliografía propuesta por el Plan de Desarrollo Urbano.

Por último, se debe comprobar la existencia de aberturas diseñadas para la iluminación, ventilación o aspectos visuales en el interior de las edificaciones.

iv. Procedimiento de levantamiento mediante método FEMA 154

Para iniciar con el procedimiento del método FEMA-154 se selecciona la ficha de recolección de datos en función a nivel de aceleración sísmica de la zona de estudio, luego se realizó una inspección de las viviendas, tomando fotografías de cada una de ellas y realizando un boceto con las dimensiones de las edificaciones que requiere la ficha de recolección de datos, esto permite tener un mejor reconocimiento de las mismas.



Figura 19 Inspección edificación C-6 y toma de datos edificación B-4

Considerando las mediciones obtenidas por el UAV se realiza trabajo de gabinete, organizar los antecedentes históricos obtenidos de las entrevistas a residentes, obtención de la zona sísmica y tipo de suelo, este último se califica cualitativamente a raíz de la recopilación de información de previas investigaciones. Se tomó medidas in situ necesario para obtener datos de la irregularidad y altura de cada edificación.



Figura 20 Edificación A-2

v. Procedimiento de la evaluación de distorsiones laterales

Para la evaluación del cálculo de las distorsiones laterales se seleccionaron cuatro edificaciones seleccionadas como ejemplar y llevan los siguientes códigos: “A-2, B-5, C-7, D-2”; por viabilidad desde el punto de vista al acceso a la edificación “A-2” y para la realización de ensayos para obtener la resistencia a la compresión de la albañilería y el ensayo de penetración estándar, se solicitó permisos a propietarios de la edificación para la extracción de bloques del interior de sus viviendas, como se indica en el Anexo 02.

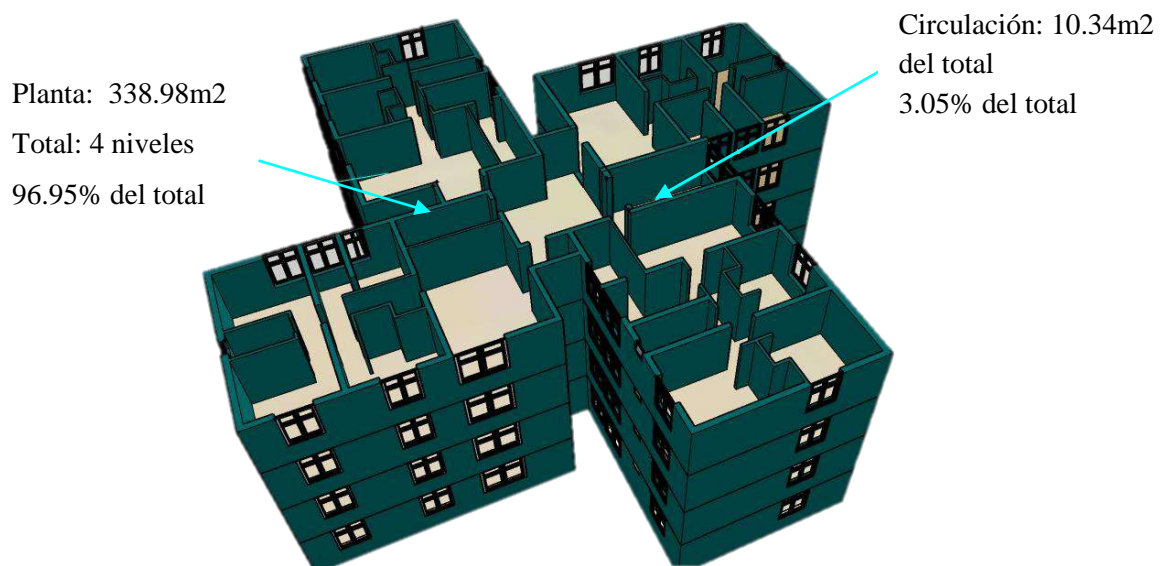


Figura 21 Render edificación “A-2”

Se extrajo tres (03) bloques de muros de diferentes viviendas de la edificación “A-2”, como establece la Norma E.070, para obtener los valores de la resistencia a la compresión axial de albañilería ($f'm$) en el laboratorio.



Figura 22 Bloques de muros de concreto extraídos de la edificación

Considerando que el método de evaluación de distorsiones laterales representa un análisis cuantitativo, para la obtención del perfil de suelo fue necesario realizar un ensayo de penetración estándar (SPT) correspondiente a las características de la ubicación de la edificación



Figura 23 Elaboración ensayo SPT

Con la obtención de información tomada mediante los ensayos en campo, se procedió a la proyección del modelado de la estructura “A-2” en ETABS.

c) Toma de datos

- i. Toma de datos método INDECI
 - A. Ubicación geográfica de la vivienda
 1. Ubicación geográfica

Se consideró la siguiente ubicación para todas las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, para una mejor descripción de las edificaciones se



consideraron características como: color, número de bloque y su área correspondiente.

Departamento: Cusco

Provincia: Cusco

Distrito: Wanchaq

B. Información del inmueble por observación directa:

1. Desde el exterior se puede observar que:

Mediante una inspección visual se consideró la precariedad de cada una de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, así como la posibilidad de comprometer el área colindante en caso de colapso.

2. La vivienda se encuentra:

Se obtuvo los datos por medio de observación directa y la cantidad de población residente según el Plano de Desarrollo Urbano Cusco 2013-2023.

C. Características de tipo de vivienda:

1. Cuenta con puerta independiente (Forma parte de un complejo multifamiliar)

Se realizó una inspección visual de cada una de las edificaciones multifamiliares, la cantidad de viviendas que cuentan con un mismo ingreso. De manera visual se considera si forma parte de un complejo multifamiliar horizontal o vertical.

2. Total de ocupantes (cantidad de personas) del complejo familiar.

3. Cantidad de pisos de la vivienda.

4. Cantidad de pisos del complejo multifamiliar.

5. Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad:

Se clasifica la zona en estudio de acuerdo con el “Mapa de fenómenos climáticos de la ciudad del Cusco” elaborada por (Instituto Nacional de Defensa Civil & Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, 2014), además el mapa de peligros realizado por (SIGRID, 2004), en el cual se informa lo relacionado a peligros, vulnerabilidades y riesgos originados por fenómenos naturales.

D. Características de la construcción de la vivienda:

1. Material predominante de la edificación:

Se identificaron las características de los materiales de construcción de las edificaciones, donde se realizó una inspección visual y con el apoyo de un



detector de metal modelo Bosch D-150, se pudo encontrar varillas de acero en el interior de los bloques de concreto.

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

Fue necesario realizar entrevistas a los propietarios de antaño que habitan en las edificaciones y habiendo encuestado pudieron brindarnos información veraz sobre el proceso constructivo y demás detalles.

3. Antigüedad de la edificación:

La antigüedad de construcción de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec se evaluó teniendo en cuenta los antecedentes históricos e indagación directa con los residentes que habitan desde la apertura y habilitación para uso de vivienda de las edificaciones.

4. Tipo de suelo:

Para determinar el tipo de suelo del área comprendida en las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, se consideró el mapa de microzonificación sísmica de la Región Cusco, donde se detalla las zonas y clasificación de suelos, entre ellas se encuentra suelo tipo: fino, grava, roca, orgánico (Benavente Velasquez, Fernandez Baca Vidal, Gomez Noblega, & Benavente Apaza, 2004).

5. Topografía del terreno de la vivienda:

Se considera la pendiente del terreno en el que se encuentra construida la edificación, obtenida por el levantamiento con Dron y procesada mediante el programa Agisoft PhotoScan.

6. Topografía del terreno colindante a la vivienda y/o área de influencia.

7. Configuración geométrica en planta:

Se realizaron mediciones de las edificaciones in situ, mientras que para las zonas inaccesibles se requirió el apoyo de los modelos digitales obtenidos del levantamiento fotogramétrico en base al levantamiento obtenido del software Autodesk ReCap, y seguidamente evaluar las irregularidades en planta actualmente, según lo establecido en la NTP E.030.

8. Configuración geométrica en elevación:

Considerando las mediciones realizadas se evalúa la irregularidad en elevación actual de las edificaciones según lo establecido en la NTP E.030.

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



Se presencia juntas de dilatación sísmica en las edificaciones, en evidencia y como constata la Norma E.030 (Diseño Sismorresistente) se procedió a realizar las mediciones correspondientes para determinar si éstas cumplían con lo establecido en cuanto a la separación entre bloques.

10. Existe concentración de masas en nivel:

Por medio de observación directa se determinó la existencia de concentración de masas en nivel, lo cual ocasiona el incremento en del efecto de las ondas sísmicas a mayor altura, generando un mayor nivel de vulnerabilidad.

11. En los principales elementos estructurales se observa:

La aprobación de este parámetro se encuentra determinado por la evaluación de los datos obtenidos in situ de los principales elementos estructurales de la edificación, teniendo en cuenta el “Plan de Desarrollo Urbano de la Ciudad del Cusco 2013-2023”.

12. Otros factores que inciden en la vulnerabilidad:

La obtención de estos factores se realizará de manera visual, se considerará la vulnerabilidad en función a:

- Presencia de humedad.
- Debilitamiento por modificaciones al interior de la edificación: Mala distribución y/o continuidad de los elementos estructurales.
- Debilitamiento por sobrecarga: Mal uso de los diferentes niveles de la vivienda y cargas a externas que afecten la estabilidad de la estructura.
- Colapso en los elementos del entorno: Edificación con elementos horizontales y/o verticales en estado de colapso, que puedan afectar la(s) edificación(es) de su entorno.

ii. Toma de datos método Benedetti- Petrini

1. Organización del sistema resistente.

Para obtener la organización del sistema resistente se verifica el cumplimiento de tres condiciones. En primer lugar, se obtiene medidas longitudinales de los exteriores de las ventanas y muros propios de cada nivel de las edificaciones mediante el levantamiento arquitectónico. Para el interior de las viviendas se comprobará si las alturas de entrepiso son idénticas en toda la población en estudio, de igual modo se trabaja con el espesor de la albañilería en toda la extensión, evaluando su regularidad en cuanto a dimensión y posteriormente realizar un registro de las medidas del sondeo.



2. Calidad del sistema resistente.

Se determina el tipo sistema estructural de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec mediante observación directa, además se comprueba mediante la superposición con el detector universal de materiales.

3. Resistencia convencional.

Se realizaron medidas a los muros en sentido X e Y del interior de las edificaciones, seguidamente se recopilan datos obtenidos del levantamiento fotogramétrico para calcular el área de cubiertas, asimismo se reconoció los diafragmas horizontales, el número de pisos de cada edificación.

4. Posición del edificio en cimentación.

Para determinar la posición del edificio en cimentación, se determina según las características del tipo de suelo establecido en el libro “Escenario de Riesgo Sísmico y Movimiento en masa producido por la reactivación de la Falla Tambomachay, Provincia de Cusco”, donde se detallan mapas de los tipos de suelos de la ciudad del Cusco, y relacionar la información obtenida con la zona en estudio y corresponder el perfil de suelo entre roca dura, suelo muy rígido, suelo intermedio y suelo blando. Además, se comprobará la información establecida con bibliografía descrita en el referido “Plan de Desarrollo Urbano de la Provincia de Cusco 2013-2023” elaborado por la Municipalidad Provincial del Cusco; donde describen la delimitación catastral de la configuración geológica de los tipos de suelos existentes en la ciudad de Cusco.

Finalmente se debe verificar la pendiente del suelo obtenidas mediante las curvas de nivel obtenidas del levantamiento fotogramétrico a partir del programa Agisoft Metashape.

5. Diafragmas horizontales.

Las calidades de los diafragmas en edificaciones de albañilería garantizan el correcto funcionamiento de los elementos resistentes verticales. Se obtiene medidas longitudinales de las losas de piso de cada edificación; de losas de piso y techo, para verificar si estos elementos actúan como elementos que integran a los muros portantes, y también verificar la existencia de ductos en las edificaciones.

6. Configuración en planta.



Se realiza medidas longitudinales de los lados perimetrales, continuidad de diafragmas y se evalúa la longitud de cada edificación del Conjunto Habitacional Pachacutec.

7. Configuración en elevación.

Para la verificación de la configuración en elevación de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec se realiza una inspección de modo que se comprueba la regularidad en los niveles de las edificaciones.

Paralelamente se realiza una inspección minuciosa de las modificaciones realizadas exteriormente en cada edificación que comprometan áreas correspondientes a pasadizos comunes o amplificación de espacios donde hayan podido construir voladizos.

8. Distancia máxima entre muros o columnas.

Para las edificaciones de albañilería, objeto de estudio en la presente investigación se realiza una clasificación en función a las medidas del espesor de la mampostería estructural y medidas tomadas del espaciamiento entre muros.

9. Tipo de cubierta.

El tipo de cubierta se verifica según las condiciones de los tipos de cubierta establecidos en el método, se escogerá una condición según el tipo de cubierta que presente la edificación, con el apoyo de las ortofotos obtenidas mediante el levantamiento fotogramétrico se analizó las coberturas propias de cada edificación.

10. Elementos no estructurales.

Se observa si la edificación contiene elementos no estructurales, tales como: tabiques, ventanas, puertas, cerramientos, balcones, cornisas, parapetos, tanques elevados, mal conectados al sistema resistente de albañilería reforzada.

11. Estado de conservación.

Finalmente se realiza la evaluación del estado de conservación de los muros de las edificaciones, se verifica si los muros presentan buena condición, sin fisuras visibles; muros en buena condición con pequeñas fisuras, menores a dos milímetros; muros con fisuras de tamaño medio de dos a tres milímetros; muros con fuerte deterioro con fisuras mayores a tres milímetros.



iii. Toma de datos método FEMA 154

Para una mejor comprensión del método, se secciona la ficha de recolección de datos de la siguiente manera.

Evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec												
Inspección Visual de Edificación FEMA-154 Formulario de recolección de datos										Región de 1 1		
Esquema de la edificación 3					Datos de la edificación:							
					Dirección		No. de pisos		Alta de construcción		Inspector	
					Fecha		Área total del edificio (m ²)		Nombre del Edificio			
					Fotografía de la edificación: 4							
Ocupación			Tipo de anclaje					Riesgos Exteriores				
Sala pública	Nº personas 0-10 11-100 101-1000 1000+	A	B	C	D	E	Riesgos Exteriores					
Oficinas							Chimenea no reforzada					
Colegio/Universidad							Riesgos de caída en construcción adyacente					
Gobierno							Parapisos					
Comercial							Revoque finitimas					
Histórico							Otras peligrosas					
Industrial												
Vivienda												
Cinco												
Puntaje básico, irregularidades y puntaje final												
Tipo de edificio	W1	S1	S2	S3	S4	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM	URM
Puntaje básico	3.2	3.8	3.8	3.8	3.8	3.0	3.8	3.2	3.2	24	2.8	3.4
Altura mediana (4-7 pisos)	NA	0.4	0.4	N/A	0.4	0.2	0.4	0.2	N/A	0.2	0.4	-0.4
Altura alta	NA	1.4	1.4	N/A	1.4	0.3	0.8	0.4	N/A	0.4	N/A	N/A
Irregularidad vertical	-4.5	-2.0	-2.0	N/A	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.5
Irregularidad en planta	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	-0.3	0.3
Termino	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-1.0	-1.0	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-0.4
Post-termino	1.8	1.4	1.4	N/A	1.2	1.1	1.2	N/A	1.8	N/A	2.8	N/A
Suela tipo C	-0.2	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.4	-0.4	-0.4
Suela tipo D	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.0	-0.8	-0.8	-0.8
Suela tipo E	-1.2	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.8	-1.2	-0.8	-1.8
Puntaje final												
Comentarios:										Responde evaluación detallada		
										7 SI NO		

Figura 24 Orden de recolección de datos método FEMA-154



1. Tipo de formato según región de sismicidad

Para la selección de la región de sismicidad de la ficha de toma de datos se considerará en base a la bibliografía de la investigación de pregrado propuesta por (Benavente, Delgado, & Taipe, 2013), quien presenta mapas de aceleraciones de tipos de suelo de la ciudad de Cusco.

2. Datos de la edificación

Se consideró la ubicación y descripción de modo que se permite un mejor reconocimiento de las edificaciones en estudio, por medio de una observación directa se obtiene el número de pisos.

3. Esquema de la edificación

Se realiza un esquema de planta de la edificación a evaluar indicando las características más resaltantes.

4. Fotografía

Se coloca una fotografía de la edificación a evaluar.

5. Parámetros descriptivos

- a. Ocupación: Por medio de observación directa y en base al documento técnico del Plan de Desarrollo Urbano del Cusco 2013 – 2023 (Municipalidad Provincial del Cusco, 2013) se determina el tipo de uso que tiene la edificación.
- b. Tipo de suelo: Para determinar el tipo de suelo se consideran los datos obtenidos en el libro: “Escenario de riesgo sísmico y movimiento en masa producido por la reactivación de la falla Tambomachay, provincia de Cusco”, teniendo en cuenta la clasificación según la NTP E.030 (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2015).
- c. Riesgos Exteriores: Breve descripción de los riesgos que presenta cada edificación.

6. Puntaje básico, modificadores y puntajes finales

a. Tipología del sistema estructural

Por medio de inspección a las viviendas y validando los datos obtenidos con el Plan de Desarrollo Urbano de la provincia de Cusco (2013-2023) (Municipalidad Provincial del Cusco, 2013) se considera el tipo de sistema estructural que presenta la edificación.

b. Irregularidad vertical



Se realizan las mediciones necesarias para determinar la irregularidad vertical de la edificación en función a la NTP E.030.

c. Irregularidad en planta

Se realizan las mediciones necesarias para determinar la irregularidad en planta de la edificación en función a la NTP E.030.

d. Precódigo - Postcódigo

Por medio de entrevistas con el presidente y residentes del Conjunto Habitacional Pachacutec se obtuvo el año de construcción de las viviendas para contrastar si se realizaron con la Norma Técnica Peruana vigente:

- NTP E.030 (2019)
- NTP E.070 (2006)

iv. Toma de datos del cálculo de distorsiones laterales

1. Medidas de la edificación

Primero se tomó medidas de elementos estructurales y no estructurales tales son: muros, ventanas y puertas necesarias respectivamente, como parte del levantamiento arquitectónico de la edificación y plasmar esta información en el software para el modelado en AutoCAD.

2. Ensayo de penetración estándar (SPT)

El método se realiza a partir de valores netamente cuantitativos de ensayos in situ de la zona en estudio, fue necesario realizar un ensayo que permita obtener el tipo de suelo como indica la norma E.030.

El ensayo de SPT nos permitió obtener el resultado de la cantidad de golpes (N) necesarios para introducir el cabezal de golpeo (punta SPT) en el suelo.

Primeramente, se procedió a recoger el equipo del laboratorio para su traslado y armado en la zona de estudio.



Figura 25 Traslado y armado del equipo SPT

Para identificar el número de sondajes de exploración, está en función al tipo de edificación y área de superficie ocupada; la edificación clasifica tipo “I”, área de 338.98 m², el sondaje establecido para este caso exige 1 cada 225 m²; para esta evaluación se realiza 2 sondajes (E.050 Norma de Suelos y Cimentaciones, 2018).

Tabla 5 Número de puntos de exploración

Número de puntos de exploración	
Tipo de edificación	Número de puntos de investigación (n)
I	1 cada 225 m ²
II	1 cada 450 m ²
III	1 cada 800 m ²

Fuente (E.050, 2008)



Figura 26 Ensayo SPT en el punto de exploración N°01



Figura 27 Ensayo SPT en el punto de exploración N°02



3. Ensayo de resistencia característica a compresión de la albañilería (f_m)

Referente a la Norma E.070 y a lo establecido en la NTP 399.613, donde establece el número de puntos a investigar, se extrajo tres (03) prismas de albañilería de la edificación “A-2” del Conjunto Habitacional Pachacutec, con las siguientes dimensiones:

- M-01: 42.7cm x 20cm x 40.50cm.
- M-02: 42.1cm x 20cm x 41.50cm.
- M-03: 42.5cm x 20cm x 40.50cm.



Figura 28 a) Extracción muestra M-01; b) Muestra M-02 y c) Muestra M-03

Las muestras fueron llevadas a laboratorio para realizar el ensayo de resistencia a la compresión del bloque de concreto (f_m).

3.6 Procedimiento de análisis de datos

3.6.1 Análisis de datos método INDECI

Se determina la vulnerabilidad sísmica existente en cada edificación según las siguientes consideraciones:

- Vulnerabilidad Muy Alta: 4
- Vulnerabilidad Alta: 3
- Vulnerabilidad Media: 2
- Vulnerabilidad Baja: 1
- No aplica: 0



Los parámetros en su totalidad no son determinantes para hallar la incidencia en el nivel de vulnerabilidad sísmica, es por ello que conforme al análisis descrito en la tesis de pregrado “Análisis del riesgo sísmico de las viviendas de la APV. Cachimayo- San Sebastián- Cusco” (Mozo Barrantes & Salinas Villena, 2020), se consideraron los parámetros que se describen a continuación como “Incidentes en el resultado”.

A. Ubicación geográfica de la vivienda.

Los datos de este parámetro se consideraron como descriptivos para el reconocimiento de la edificación.

B. Información del inmueble por observación directa.

1. Desde el exterior se puede observar:

Se observa el nivel de precariedad por medio de observación directa.



Figura 29 Edificaciones B-2, B-4, C-2, C-4 y D-2

- | | |
|-----------------------------|----------------------------------|
| a) Vulnerabilidad Muy Alta: | Compromete al área colindante |
| b) Vulnerabilidad Media: | No compromete el área colindante |
| c) Vulnerabilidad Baja: | No muestra precariedad |

C. Características de tipo de vivienda

1. Cuenta con puerta independiente

La importancia de tener acceso independiente de modo que se cuenta con una salida inmediata en caso se suscite un sismo.



Edificación “A-2”:

Imagen	Descripción
	<p>Se presencia un único acceso principal permitiendo el ingreso general para dieciséis (16) departamentos, corresponde a la edificación “A-2” (caso similar de otras edificaciones).</p>

- a) Vulnerabilidad Media: No, es parte de un complejo multifamiliar.
- b) Vulnerabilidad Baja: Si, cuenta con puerta de calle.

2. Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad:

El “Mapa de fenómenos climáticos”, se clasifica en:

Mapa de fenómenos climáticos	Leyenda
	<ul style="list-style-type: none"> Inundaciones Zonas con saturación en época de lluvias Erosión de rivera Olas de frío a partir de 3600 msnm

Fuente (Benavente Velasquez, Fernandez Baca Vidal, Gomez Noblega, & Benavente Apaza, 2004)

- a) Vulnerabilidad Alta:
 - El inmueble se encuentra en un terreno inapropiado para edificar, cuando:
 - Zona de inundaciones
 - Zonas de saturación en épocas de lluvia
 - Zonas de erosión de rivera
- b) No aplica



D. Características de la construcción de la vivienda

1. Material predominante de la edificación:

Los materiales empleados en la construcción de las edificaciones representan un puntaje determinante en el índice de vulnerabilidad, se considera como:



Figura 30 Edificación "C-4" del Conjunto Habitacional Pachacutec



Figura 31 Pilas de bloqueta de concreto de edificación

a) Vulnerabilidad Muy Alta:

- Adobe
- Quincha
- Mampostería
- Madera

b) Vulnerabilidad Alta:

- Adobe reforzado
- Albañilería simple

c) Vulnerabilidad Media:

- Albañilería confinada
- Albañilería armada

d) Vulnerabilidad Baja:

- Concreto
- Estructuras de acero



2. La edificación contó con la participación de un ingeniero civil

Considerando que las estructuras fueron ejecutadas con la participación de un profesional capacitado, esto permite garantizar que la construcción del Conjunto Habitacional Pachacutec se ejecutó de acuerdo a lo dispuesto en el Reglamento Nacional de Edificaciones (RNE).

- a) Vulnerabilidad Muy Alta: No participó
- b) Vulnerabilidad Alta: Sólo en el diseño
- c) Vulnerabilidad Media: Sólo en la construcción
- d) Vulnerabilidad Baja: Si, totalmente

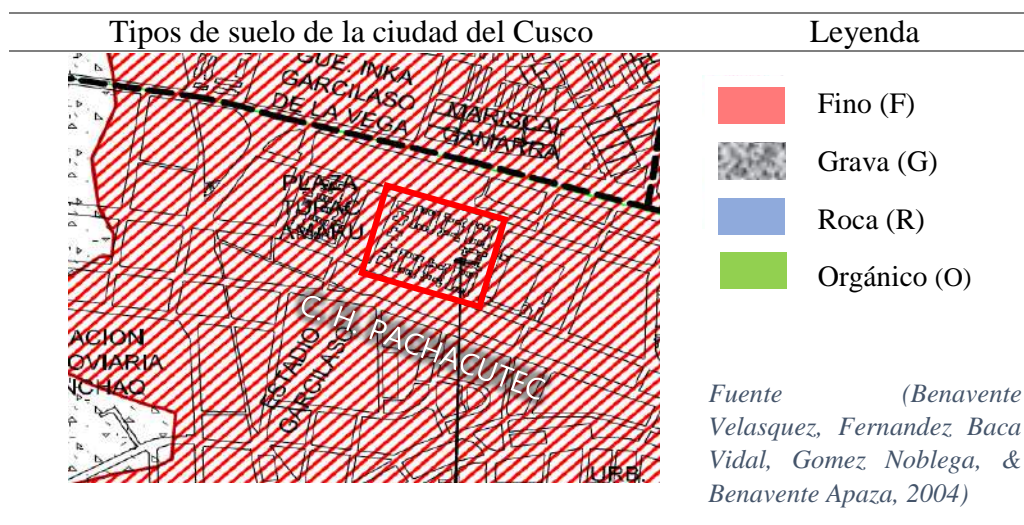
3. Antigüedad de la edificación:

Se considera el tiempo de vida útil de las edificaciones de 67 años, en función a ello el método INDECI permite clasificarlas de la siguiente manera:

- a) Vulnerabilidad Muy Alta: De 50 años a más
- b) Vulnerabilidad Alta: De 20 a 49 años
- c) Vulnerabilidad Media: De 13 a 19 años
- d) Vulnerabilidad Baja: De 0 a 12 años

4. Tipo de suelo:

Considerando el estudio de microzonificación sísmica de la región del Cusco por (Benavente Velasquez, Fernandez Baca Vidal, Gomez Noblega, & Benavente Apaza, 2004), se clasificó el parámetro teniendo en cuenta el tipo de material predominante en la zona de estudio de la siguiente manera:





- a) Vulnerabilidad Muy Alta: Orgánico
- b) Vulnerabilidad Alta: Fino
- c) Vulnerabilidad Media: Grava
- d) Vulnerabilidad Baja: Roca

5. Topografía del terreno:

Los datos procesados en el software Agisoft, permiten obtener las pendientes del suelo en la zona de estudio para representar gráficamente en el programa Autocad, como se observa en el Anexo 01.

- a) Vulnerabilidad Muy Alta: Mayor a 45%
- b) Vulnerabilidad Alta: Entre 45% y 20%
- c) Vulnerabilidad Media: Entre 20% a 10%
- d) Vulnerabilidad Baja: Hasta 10%

6. Topografía del terreno colindante:

Al igual que el parámetro anterior, la topografía del terreno colindante se clasifica con datos obtenidos en el programa Agisoft.

- a) Vulnerabilidad Muy Alta: Mayor a 45%
- b) Vulnerabilidad Alta: Entre 45% y 20%
- c) Vulnerabilidad Media: Entre 20% a 10%
- d) Vulnerabilidad Baja: Hasta 10%

7. Configuración en planta:

a) Vulnerabilidad Muy Alta:

Edificación irregular con esquinas entrantes y/o discontinuidad de diafragma

b) Vulnerabilidad Baja:

Edificación regular.

Se determina la irregularidad en planta de las edificaciones con las siguientes fórmulas:

- Esquinas entrantes: La estructura se califica como irregular cuando “Presenta esquinas entrantes cuyas dimensiones en ambas direcciones son mayores al 20% de la correspondiente dimensión total en planta” (E.030 Diseño Sismoresistente, 2016)

$$a > 0.20A \text{ y } b \geq 0.20B \rightarrow \text{Irregular} \quad (2)$$

La edificación presenta una configuración similar a una cruz, para calcular su irregularidad se considera por esquinas entrantes según la siguiente numeración.

Tabla 6 Cálculo de irregularidad de esquinas entrantes en edificación "A-2"

Imagen	Descripción
	Irregularidad en planta en X y Y en esquina entrante 1: X: $5.70 > 0.2(12.70) \rightarrow 5.70 > 2.54$ Y: $12.45 > 0.2(17.07) \rightarrow 12.45 > 3.41$
	Irregularidad en planta en X y Y en esquina entrante 2: X: $11.86 > 0.2(18.86) \rightarrow 11.86 > 3.77$ Y: $8.55 > 0.2(13.45) \rightarrow 8.55 > 2.69$
	Irregularidad en planta en X y Y en esquina entrante 3: X: $8.16 > 0.2(12.76) \rightarrow 8.16 > 2.55$ Y: $11.50 > 0.2(16.40) \rightarrow 11.50 > 3.28$
	Irregularidad en planta en X y Y en esquina entrante 4: X: $11.80 > 0.2(16.40) \rightarrow 11.80 > 3.28$ Y: $7.88 > 0.2(12.50) \rightarrow 7.88 > 2.50$



- Discontinuidad de Diafragma: La estructura se califica como irregular cuando “los diafragmas tienen discontinuidades abruptas o variaciones importantes en rigidez, incluyendo aberturas mayores al 50% del área bruta del diafragma” (Ministerio de Vivienda Construcción y Saneamiento, 2016).

$$\frac{A_{\text{huecos}}}{A_{\text{bruta}}} \geq 0.5 \rightarrow \text{Irregular} \quad (3)$$

Edificación “A-2”:

Imagen	Descripción
	$\frac{A_{\text{huecos}}}{A_{\text{bruta}}} = \frac{(1.66 \cdot 2.52)}{338.98} = 0.012$ <p>0.012 < 0.5: No es irregular</p>

8. Configuración geométrica en elevación

La irregularidad en elevación se determina con la siguiente fórmula:

$$b2 > 1.3 * b1 \rightarrow \text{Irregular} \quad (4)$$

Las edificaciones no presentan una variación en las dimensiones de elevación en ninguna de las direcciones, por lo tanto, se considera como una estructura regular.

- a) Vulnerabilidad Muy Alta: Irregularidad en altura
- b) Vulnerabilidad Baja: No presenta irregularidad

9. Juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura

“La separación entre edificaciones tiene como finalidad liberar la energía que se produce por efecto de dilatación o contracción en las estructuras de acuerdo con



la longitud de estas, y evitar rajaduras o grietas producidas por cambios de temperatura” (Mozo Barrantes & Salinas Villena, 2020).

Se considera que las juntas de dilatación sísmica de la estructura cumplen con lo establecido en la Norma E.030 (Norma Técnica Diseño Sismorresistente).

$s = 0.006 h \geq 0.03 \text{ m}$	(5)
-----------------------------------	-----

La edificación “A-2” no presenta juntas de dilatación, pero con objeto de representación del parámetro, se detalla la edificación tipo “B-3”:

Imagen	Descripción
	<p>Según Norma:</p> $S = 0.006 * 11.20 = 0.0672 \text{ m}$ $0.0672 \text{ m} \geq 0.03 \text{ m}$ <p>Existente:</p> <p>Junta existente de 3.5 cm (NO CUMPLE)</p>

- a) Vulnerabilidad Muy Alta: No cumple
- b) Vulnerabilidad Baja: Cumple o no requiere

10. Existe concentración de masas en nivel

La existencia de masa en algunos niveles, ocasionan incremento de los efectos de ondas sísmicas, generando un mayor nivel de vulnerabilidad.

- a) Vulnerabilidad Muy Alta: Existe
- b) No aplica

11. En los principales elementos estructurales se observa

En función a la información recopilada mediante observación directa se inspecciona daños en los elementos estructurales más importantes (muros y losas).



Imagen	Descripción
	<p>Se presenta humedad y fisuras en el muro de una vivienda de la edificación tipo “A-1”.</p>
	<p>Se presenta humedad en el muro de una vivienda de la edificación tipo “B-1”.</p>
	<p>Se presenta grietas y rajaduras en el muro de una vivienda de la edificación tipo “B-11”.</p>
	<p>Se presenta rajaduras en el muro de una vivienda de la edificación tipo “D-5”.</p>
	<p>Se presenta rajaduras en el muro de una vivienda de la edificación tipo “D-5”.</p>



- a) Vulnerabilidad Muy Alta: No existen, son precarios
- b) Vulnerabilidad Alta: Los elementos estructurales presentan pandeo, existen derrumbes parciales y muros inestables.
- c) Vulnerabilidad Media: Existe humedad y fisuras.
- d) Vulnerabilidad Baja: No presentan grietas o rajaduras, pandeo, derrumbes, humedad o fisuras.

12. Otros factores que inciden en la vulnerabilidad

Se ha identificado factores adicionales que inciden en el nivel de vulnerabilidad y se describen a continuación:

Imagen	Descripción
	Habilitación de puertas adicionales en muros portantes del primer nivel (caso de muchas edificaciones).
	Variación en las cubiertas de techos, presencia de humedad y precariedad en techos.
	



- a) Vulnerabilidad Muy Alta: Cargas externas que afectan la estabilidad de la estructura.
- b) Vulnerabilidad Alta: Mal uso de niveles de la vivienda. Mala distribución y/o continuidad de elementos estructurales.
- c) Vulnerabilidad Media: Elementos que se consideren con un nivel en la incidencia de la vulnerabilidad.
- d) No aplica

E. Determinación del nivel de vulnerabilidad.

Finalmente se realiza una sumatoria de los puntajes obtenidos para la edificación, obteniendo un valor numérico el cual es clasificado según el siguiente cuadro:

Tabla 7 Determinación del nivel de vulnerabilidad sísmica método INDECI

Nivel de vulnerabilidad	Rango del valor	Características del nivel de vulnerabilidad sísmica
Muy alto	Mayor a 24	En las condiciones actuales NO es posible acceder a una zona de seguridad dentro de la edificación.
Alto	Entre 18 y 24	En las condiciones actuales NO es posible acceder a una zona de seguridad dentro de la edificación, requiere cambios drásticos de la estructura.
Moderado	Entre 15 y 17	Requiere reforzamiento potencial en zona de seguridad interna.
Bajo	Hasta 14	En las condiciones actuales es posible acceder a una zona de seguridad dentro de la edificación.

Fuente: (Instituto Nacional de Defensa Civil, 2010)

3.6.2 Análisis de datos método Benedetti- Petrini

Se realizó un análisis de datos del método Benedetti- Petrini, teniendo en cuenta que clasifica el nivel de vulnerabilidad en los 11 parámetros, para lo cual se consideró lo establecido en la Tabla 2 “Parámetros del Método Benedetti Petrini”, teniendo en cuenta una puntuación (“Ki”) entre 0 y 45 para cada una de las letras (“A”, “B”, “C” y “D”) que determinan el nivel de vulnerabilidad, así también cada uno de los 11 parámetros tiene un peso “Wi” que determina su influencia en el índice de vulnerabilidad.

Los parámetros hallan la incidencia en el nivel de vulnerabilidad sísmica, por lo que conforme al análisis descrito en el trabajo de investigación de pregrado: “Vulnerabilidad sísmica de viviendas unifamiliares mediante los índices de Benedetti– Petrini en la Asociación Los Libertadores– Huancayo– Junín” (Reyes, 2019).



3.6.2.1 Organización del sistema resistente

El parámetro evalúa el grado de organización de los elementos estructurales verticales (muros de albañilería) en la edificación. Por lo tanto, se asigna un valor de acuerdo a la aprobación de la(s) condición(es) del parámetro.

A. La edificación cumple con:

- Continuidad vertical de los muros portantes.

Presencia de continuidad vertical de muros portantes con longitud mínima de 1.20m para ser considerados como contribuyentes en la resistencia a las fuerzas horizontales.

Edificación “D-6”:



Figura 32 Edificación "D-6"

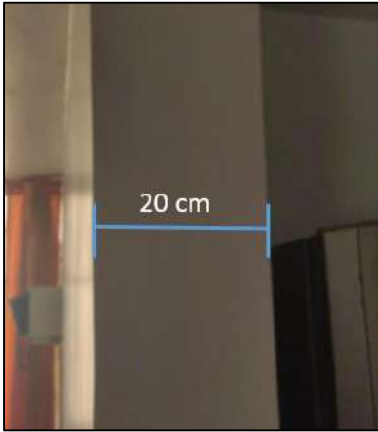
Al realizar la verificación se determinó que se viene cumpliendo la longitud del muro portante mínima de 1.20m, según la NTP E.070 establece que se consideran portantes a partir de la longitud establecida.

- Se verifica que la relación entre la altura y el espesor del muro de albañilería es:

$$\frac{L: \text{altura de muro}}{20} \leq \text{espesor de bloque} \rightarrow \text{CUMPLE}$$

(6)

Reemplazando los valores se tiene:

Imagen	Descripción
	<p>Se determinó la medida del espesor de los muros descontando el tarrajeo que presenta</p> <ul style="list-style-type: none"> - L: altura de muro = 2.35 m - b: espesor del muro = 0.20 m $\frac{2.35 \text{ m}}{0.20 \text{ m}} \leq 20$ <p>11.75 ≤ 20 → CUMPLE (√)</p>

El espesor de los muros de bloques de hormigón resulta ser 0.20 m como, usados como elementos estructurales como muestra en la imagen capturada al interior de una vivienda.

- B. Vivienda que cumpla con la primera condición del tipo “A”.
- C. Vivienda que cumpla con la segunda condición del tipo “A”.
- D. Vivienda que no cumpla con ninguna condición.

3.6.2.2 Calidad del sistema resistente

El parámetro se evalúa de la siguiente manera:

A. Cumple con lo establecido en las siguientes disposiciones:

- Limitaciones de uso de albañilería norma E.070

Tabla 8 Limitaciones de unidades de albañilería

Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales			
Tipo	Zonas sísmicas 2 y 3		Zona sísmica 1
	Muro portante en edificios de 4 pisos a más	Muro portante en edificios de 1 a 3 pisos	Muro portante en todo edificio
Sólido Artesanal *	No	Sí, hasta dos pisos	Si
Sólido Industrial	Si	Si	Si
Alveolar	Sí	Sí	Sí
	Celdas totalmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout	Celdas parcialmente rellenas con grout
Hueca	No	No	Si
Tubular	No	No	Si, hasta 2 pisos

Fuente (E.070 Albañilería, 2006)



Con relación al cuadro de “Limitaciones en el uso de la unidad de albañilería para fines estructurales”. La ciudad del Cusco está ubicada según el marco normativo del Mapa de Zonas Sísmicas del Reglamento Nacional de Edificaciones en la “Zona 2”, presentando sismicidad media. En la caracterización de la edificación, se define que presenta muros portantes en 4 niveles. Y por último, el material empleado en la construcción de la edificación fue ladrillo tipo alveolar con “Celdas totalmente rellenas con grout” (E.070 Albañilería, 2006).

- Calidad técnica

Esta condición evalúa el empleo de la Norma Técnica Peruana E.070 vigente (modificada el año 2006), en contraste con la “Norma de Albañilería de 1982”, empleada para la construcción de la edificación. En este caso las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec no fueron construidas con la última Normativa vigente de construcción.

B. El sistema resistente del edificio solo cumple con la primera característica de la clase A.

C. El sistema resistente del edificio solo cumple con la segunda característica de la clase A.

D. El sistema resistente del edificio no presenta ninguna de las características de la clase A.

3.6.2.3 Resistencia convencional

La evaluación de la resistencia convencional de edificación de albañilería está establecida por el método Benedetti Petrini y se realiza de la siguiente manera.

Primeramente, se calcula la cortante menos resistente en base a las áreas de muros en función a las siguientes fórmulas:

$$VR = \min(Ax, Ay) * V \quad (7)$$

El valor “V” se estima de la siguiente tabla.

Tabla 9 Valores de esfuerzo cortante para muros de albañilería

Valores recomendados del esfuerzo cortante máximo de paneles de mampostería	
Tipo de material	Esfuerzo cortante (Tn/m2)
Piedras talladas	7-9
Ladrillos macizos	18
Bloques macizos de mortero con cemento	19
Mampostería de ladrillo hueco	20
Mampostería de ladrillo y bloque hueco	18

Fuente (Medina & Pimichumo)



Se calcula el peso de la estructura (W) en toneladas:

$$W = N * (A_x + A_y) * h * P_m + M * P_s * A_t + A_c * P_c \quad (8)$$

Donde:

- A x,y: Área total de los muros resistentes en sentido X e Y respectivamente (m²)
- N: Número de pisos
- A_t: Área total construida en planta
- A_c: Área total de la cubierta
- h: Altura de los pisos en metros
- M: Número de diafragmas horizontales
- P_m: Peso de la mampostería.

Para un bloque de concreto vibrado y relleno con grout se utilizará 2.2 Tn/m³ como peso volumétrico (San Bartolome, 1994).

- P_s: Peso por unidad de área del diafragma horizontal (Tn/m²).

Tabla 10 Diafragmas horizontales

Descripción	Peso (kg/m ²)	
	Rango	Promedio
1. Viguetas de madera y entarimado	40 - 70	55
2. Viguetas de madera y bovedillas de yeso	100 - 160	130
3. Viguetas de madera y tablero de ladrillo	60 -140	100
4. Viguetas metálicas y bovedillas de ladrillo	130 – 280	205
5. Viguetas metálicas y mortero ligero	160 – 390	275
6. Viguetas de concreto y bovedillas de ladrillo	180 – 290	235
7. Viguetas de concreto y bloques huecos	100 – 180	440
8. Losa de concreto armado	190 - 480	335
9. Losa aligerada de concreto armado	200 – 320	260
10. Losa de cerámica armada.	150 – 240	195

Fuente (Criollo Paucar & Santisteban Jacinto, 2018)

- P_c: Peso de cubierta
 - Para los valores de coberturas de teja y barro se utilizará 0.16 Tn/m².
 - Para los valores de coberturas de zinc se utilizará 0.01 Tn/m².



- Para los valores de coberturas de asbesto cemento se utilizará 0.05 Tn/m².

Se calcula el coeficiente sísmico exigido (CSE):

$$\text{CSE} = \frac{Z * U * S * C}{R} \quad (9)$$

- Z: Zona sísmica
- U: Categoría de la edificación y factor de uso
- S: Perfil de suelo
- C: Factor de amplificación sísmica
- R: Irregularidades

Se calcula la demanda de ductilidad (DD):

$$\text{DD} = \frac{\text{CSE} * W}{VR} \quad (10)$$

- CSE: Coeficiente sísmico exigido
- W: Peso de la edificación (Tn)
- VR: Cortante menos resistente (Tn)

Se clasificó según lo siguiente:

- A. Edificio con $DD < 0.50$
- B. Edificio que presenta $0.50 \leq DD < 1.00$
- C. Edificio con $1.00 \leq DD < 1.50$
- D. Edificio con $1.50 \leq DD$



Edificación tipo "D-6":

$$VR = 19 * 12.19 = 231.61 \text{ Tn}$$

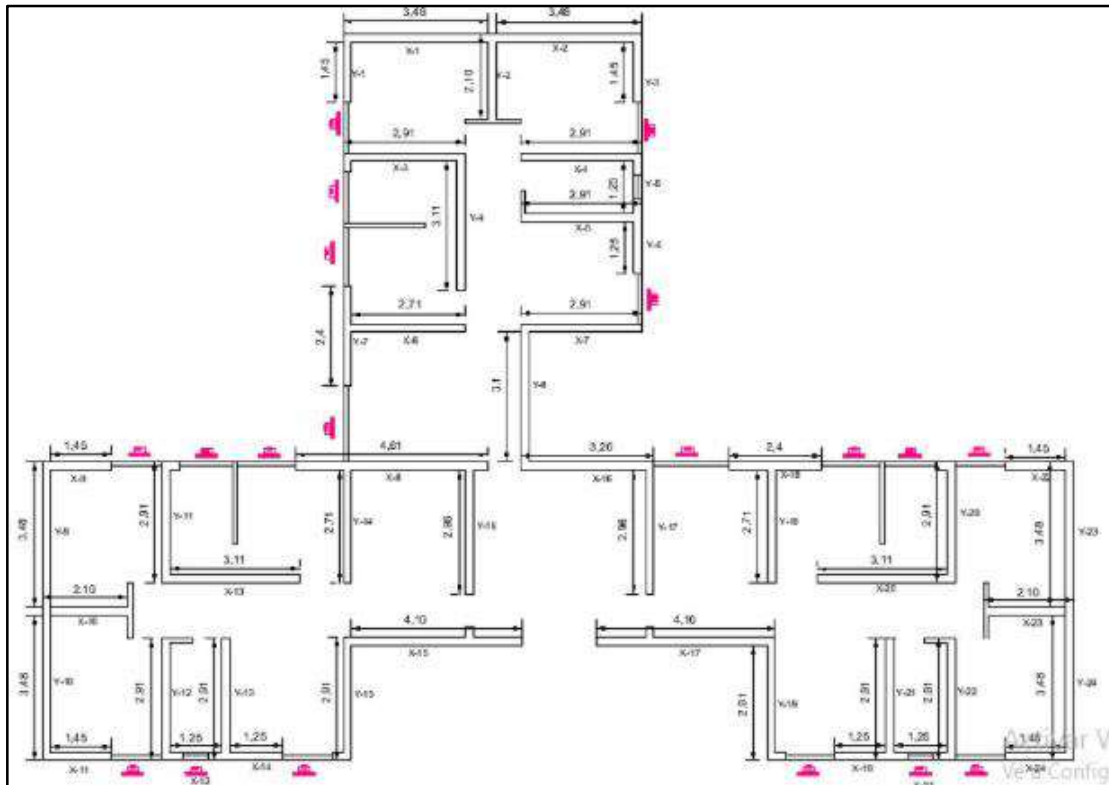


Figura 33 Plano de distribución de la edificación tipo "D-6"

Muro (X)	L	A	L*A	Muro (Y)	L	A	L*A
X1	3.5	0.20	0.70	Y1	1.45	0.20	0.29
X2	3.5	0.20	0.70	Y2	2.10	0.20	0.42
X3	2.9	0.20	0.58	Y3	1.45	0.20	0.29
X4	2.9	0.20	0.58	Y4	3.11	0.20	0.62
X5	2.9	0.20	0.58	Y5	1.25	0.20	0.25
X6	2.7	0.20	0.54	Y6	1.25	0.20	0.25
X7	2.9	0.20	0.58	Y7	2.40	0.20	0.48
X8	4.6	0.20	0.92	Y8	3.10	0.20	0.62
X9	1.5	0.20	0.29	Y9	3.48	0.20	0.70
X10	2.1	0.20	0.42	Y10	3.48	0.20	0.70
X11	1.5	0.20	0.29	Y11	2.91	0.20	0.58
X12	1.3	0.20	0.25	Y12	2.91	0.20	0.58
X13	3.1	0.20	0.62	Y13	2.91	0.20	0.58
X14	1.3	0.20	0.25	Y14	2.71	0.20	0.54
X15	4.1	0.20	0.82	Y15	2.91	0.20	0.58
X16	3.2	0.20	0.64	Y16	2.96	0.20	0.59
X17	4.1	0.20	0.82	Y17	2.96	0.20	0.59
X18	2.4	0.20	0.48	Y18	2.71	0.20	0.54
X19	1.3	0.20	0.25	Y19	2.91	0.20	0.58
X20	3.1	0.20	0.62	Y20	2.91	0.20	0.58



X21	1.3	0.20	0.25	Y21	2.91	0.20	0.58
X22	1.5	0.20	0.29	Y22	2.91	0.20	0.58
X23	2.1	0.20	0.42	Y23	3.48	0.20	0.70
X24	1.5	0.20	0.29	Y24	3.48	0.20	0.70
		Ax	12.19 m ²			Ay	12.93 m ²

El peso de la estructura (W) resultante es:

$$W = N * (Ax + Ay) * h * Pm + M * Ps * At + Ac * Pc$$

$$W = 4 * 25.12 * 2.35 * 2.2 + 3 * 0.255 * 214.22 + 269.92 * 0.16 = 726.505 \text{ Tn}$$

- A_{x,y} = 25.12 m²
- N = 4 pisos
- At = 214.22 m²
- h = 2.35 m
- M = 3 diafragmas horizontales
- Pm = 2.2 Tn/m³
- Ps = 0.335 Tn/m²
- Pc = 0.16 Tn/m²
- Ac = 269.92 m²

El coeficiente sísmico exigido (CSE) es:

$$CSE = \frac{0.25 * 1.00 * 1.20 * 2.50}{2.70} = 0.277$$

- Z = 0.25
- U = 1.00
- C = 2.50
- S = 1.20
- R = 2.70 (Esquinas entrantes)

La demanda de ductilidad (DD) resulta:

$$DD = \frac{0.277 * 726.50}{231.61} = 0.862$$

Se clasificó la edificación como tipo B, pues el edificio presenta una demanda de ductilidad (DD) entre 0.50 y 1.00.



3.6.2.4 Posición del edificio en cimentación

La pendiente del suelo se obtuvo mediante las curvas del levantamiento fotogramétrico procesadas a partir del programa Agisoft Metashape, se clasificará de la siguiente manera:

Tabla 11 Posición del edificio en cimentación

Suelo y Cimentaciones	Pendiente	Clasificación
Perfil Tipo S0: Roca Dura	$P \leq 10$	A
	$10 < p \leq 30$	B
	$30 < P \leq 50$	C
	$P > 50$	D
Perfil Tipo S1: Roca o Suelos Muy Rígidos	$P \leq 10$	A
	$10 < p \leq 30$	B
	$30 < P \leq 50$	C
	$P > 50$	D
Perfil Tipo S2: Suelos Intermedios	$P \leq 10$	A
	$P \leq 10$	B
	$10 < p \leq 30$	B
	$30 < P \leq 50$	C
	$P > 50$	D
Perfil Tipo S3: Suelos Blandos	$P \leq 10$	A
	$P \leq 10$	B
	$10 < p \leq 30$	B
	$30 < P \leq 50$	C
	$P > 50$	D
Perfil tipo S4	$P \leq 50$	C
	$P > 50$	D

Fuente: (Boni, 2017)

En función a la información obtenida del ensayo SPT del “Mapa de Tipo de Suelos en la ciudad del Cusco”, donde correlaciona un suelo medianamente denso del tipo S2; y en cuanto a la correlación del cuadro de “Clasificación según suelo y pendiente”, artículo descrito en el libro “Vulnerabilidad Sísmica” de (Boni, 2017) está caracterizado por un “suelo intermedio” y grado de pendiente o inclinación del terreno, regular menor igual al 10% en toda la extensión de la zona en estudio. Asimismo, de manera óptica se puede percibir que las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec no están cimentadas sobre una ladera de pendiente inclinada, no existen depresiones en el suelo, apariencia de derrumbamientos o desmoronamientos, y en absoluto se presencié algún desastre del suelo en la zona perimetral. Por lo tanto, se concluye que se presenta un Suelo Intermedio, tipo “A”.



3.6.2.5 Diafragmas horizontales

Los diafragmas horizontales en edificaciones de albañilería garantizan el buen funcionamiento de los elementos estructurales verticales, de modo que permite que la fuerza sísmica se distribuya proporcional a los elementos resistentes.

A. Se consideran lo siguientes aspectos:

- Los diafragmas tienen una conexión con todos los muros.

Realizando el análisis de inspección del monolitismo en la conexión de los elementos estructurales y techo, se determina que estos actúan como elementos que integran a los muros portantes.

Se percibió que existe conexión entre los principales elementos estructurales tales como: muro, losa de entrepiso y forjado de cubiertas (cubierta inclinada que soporta su propio peso) para el caso del techo de las edificaciones que están claramente visualizarles; del mismo modo se realizó una exploración con el detector de materiales superponiendo este equipo en todos los muros, donde se pudo detectar la presencia de varillas de acero en toda la amplitud de muros que se conectaban entre esquinas, hallando refuerzo horizontal y verticalmente.

- No existen áreas abiertas mayores al 50% del área bruta del diafragma, el procedimiento se observa en (ecuación N°03).

Se comprueba que no existen aberturas para iluminación, ventilación o algún aspecto visual en ninguna de las edificaciones. Con relación a las aberturas para el flujo de radiación solar y aire, mediante una inspección visual y medidas tomadas existe separación entre las edificaciones adyacentes en un radio de 8 metros, comprobando que no fue necesario la presencia de aberturas en el interior de las edificaciones como se pudo evaluar en el “parámetro 1”, la mayoría de las ventanas presentan dimensiones ideales estándares de 1.20 m x 1.50 m en otros casos mayores dimensiones, percibiendo que la iluminación y ventilación vienen siendo los componentes con mayor importancia tomados durante el diseño de las edificaciones.



Figura 34 Edificación "D-5" - "D-6"

- B. Edificaciones con las características de la opción A pero que no cumpla la 1ra opción.
- C. Edificaciones con las características de la opción A pero que no cumpla la 2da opción.
- D. Edificaciones que no cumplan las características detalladas en la opción A.

3.6.2.6 Configuración en planta

A. Se considerará lo siguiente:

- Evaluación de la relación de plantas complejas de la edificación.

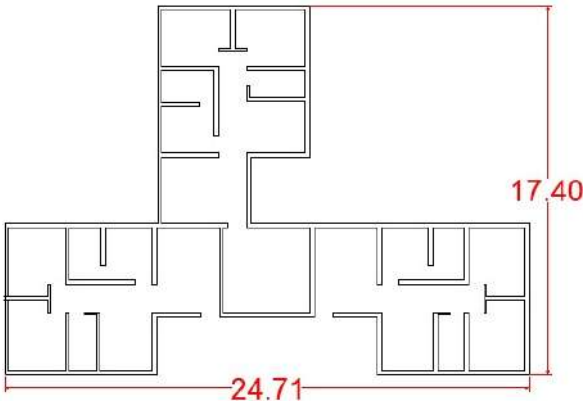
Tomando las medidas longitudinales a los lados perimetrales de cada edificación del Conjunto Habitacional Pachacutec se evaluó los datos en función a (ecuación N°02).

- Evaluar la longitud de la edificación.

Se verificará mediante la siguiente relación entre lados de la edificación:

$$L \text{ máx} = 4 * A \quad (11)$$

Edificación tipo "D-6":

Imagen	Descripción
	<p> $L = 24.71$ $A = 17.40$ $L \text{ máx} < 4 * A$ $24.71 < 4 * 17.40$ $24.71 < 69.69 \quad (\checkmark)$ </p> <p>Se cumple la condición de diafragma rígido</p>



Cumple con la relación menor a cuatro veces el ancho “4x” de las mismas, por lo tanto, se acepta la validación de esta condición.

- B. Edificaciones que no cumpla con la primera condición del tipo “A”
- C. Edificaciones que no cumpla con la segunda condición del tipo “A”.
- D. Edificaciones que no cumplan con ninguna de las condiciones del tipo “A”.

3.6.2.7 Configuración en elevación

Toma en consideración la variación de masa en porcentaje entre dos pisos sucesivos, el volumen del piso más bajo, usando (+) si se trata de un aumento o (-) si se trata de una reducción de área a lo alto de la edificación.

La configuración en elevación de las edificaciones viene representada en función de la siguiente fórmula:

$$\pm V = \frac{\pm DA}{A} \quad (12)$$

Donde:

V: Variación de masa entre dos pisos sucesivos (%)

DA: Volumen del piso más alto

A: Volumen del piso más bajo

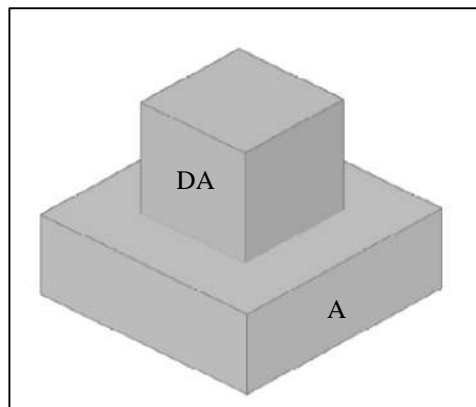


Figura 35 Irregularidad en elevación, (Bustamante, 2007)

Se determina que el área correspondiente a la edificación tipo “D-6” es totalmente uniforme, por lo tanto, se concluye que la variación de la masa en la edificación es igual a su unidad.

- A: Edificio con: $\pm DA/A \leq 10\%$
- B: Edificio con: $10\% < \pm DA/A \leq 20\%$
- C: Edificio con: $20\% < \pm DA/A \leq 50\%$
- D: Edificio con: $\pm DA/A \geq 50\%$

3.6.2.8 Distancia máxima entre muros o columnas

La condición de distancia máxima entre muros se evaluó mediante la ecuación:

$$\frac{L: \text{espaciamiento máximo entre muros transversales}}{S: \text{espesor del muro}} \quad (13)$$

Para la clasificación se tiene que:

Imagen	Descripción
	$L = 4.10$ $S = 0.20$ $\frac{4.10 \text{ m}}{0.20 \text{ m}} = 20.5$

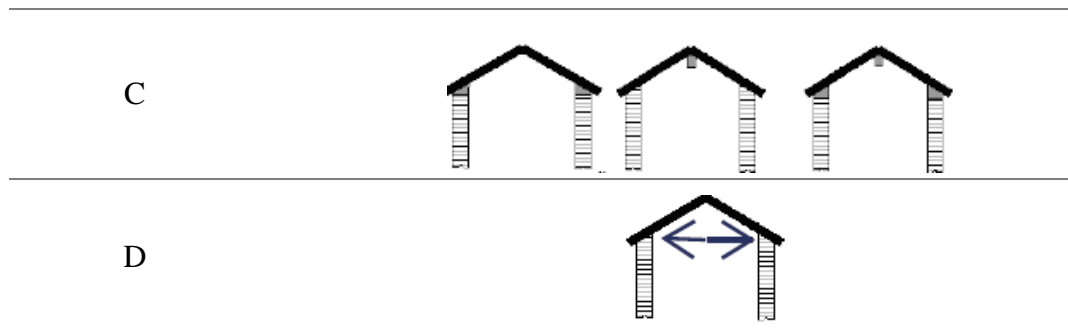
- A. Edificio con $L/S < 15$
- B. Edificio con $15 \leq L/S \leq 18$
- C. Edificio con $18 \leq L/S \leq 25$
- D. Edificio con $L/S \geq 25$

3.6.2.9 Tipo de cubierta

En la evaluación de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec se observa que la cubierta que presenta es tipo bien conectada a los paneles de muros de albañilería, sin viga de soporte, de modo que presenta una configuración parcialmente estable, similar al modelo de cubierta tipo “B” de la Tabla 12 Características de tipo de cubiertas.

Tabla 12 Tipos de Cubierta

Tipo de cubierta	Imagen
A	
B	



Fuente (Boni, 2017)

En la Figura 36 se observa las cubiertas de techo del Conjunto Habitacional Pachacutec, éstas se encuentran conectadas a los muros de albañilería y no presentan viga de soporte.



Figura 36 Cubiertas bien conectadas a paneles de muros de albañilería (no presentan viga de soporte)



Figura 37 Cobertura de edificación

3.6.2.10 Elementos no estructurales

Edificaciones con elementos no estructurales, tales son: tabiques cerramientos, cornisas, balcones y pasadizos mal conectados al sistema resistente de albañilería y/o que impiden el acceso a las salidas en caso suscite un evento sísmico.



Imagen

Descripción



En la edificación “D-6”, se observa la construcción de un balcón mal conectado y de modo deficiente a la estructura principal.



En la edificación “B-9”, se observa la inadecuada apropiación de los accesos comunes (pasadizos) como parte y ampliación de viviendas continuas (caso particular de muchas edificaciones).




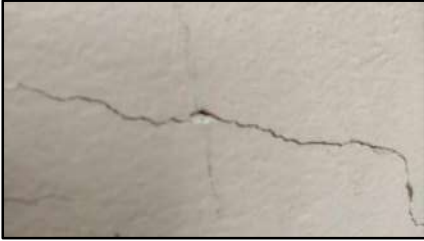

En la edificación “C-14”, se observa la deficiente conexión del pasadizo principal entre la estructura, además se observa que se halla mal apropiada como parte de la misma vivienda.

-
- A. Edificación que no contenga elementos no estructurales.
 - B. Edificación con elementos no estructurales bien conectados al sistema resistente, tanques de agua de pequeña dimensión.

- C. Edificación con balcones, parapetos o estructuras mal conectadas al sistema resistente. Elementos deteriorados debido a su antigüedad; elementos que generen inaccesibilidad a la salida en caso de sismo.
- D. En la Edificación se presencia tanques de agua u otro tipo de elemento en el techo que se encuentre mal conectado a la estructura principal. Parapetos y/o elementos de peso significativo, en construcción precaria, y que puedan desplomarse durante un evento sísmico. Balcones construidos posteriormente a la estructura principal y conectados a de modo deficiente y/o en mal estado.

3.6.2.11 Estado de conservación

El parámetro inspecciona subjetivamente la edificación, calificando de manera visual y mensurando los desperfectos expuestos en la estructura (fisuras), así como posibles irregularidades producto de fallos en el proceso constructivo. En las fotografías que se presentan a continuación se detalla los defectos físicos y el estado de conservación de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacútec.

Imagen	Descripción
	En la edificación “A-3”, se observa una fisura de tamaño menor a 1mm.
	En la edificación “B-11”, se observa una fisura de tamaño 1.8mm.
	En la edificación “D-6”, se observa una fisura de tamaño de 2.4mm.



- A. Muros en buena condición (fisura despreciable menor a un milímetro).
- B. Muros en buena condición (con pequeñas fisuras, menores a dos milímetros)
- C. Muros con fisuras de tamaño medio (fisuras de dos a tres milímetros).
- D. Muros con fuerte deterioro (fisuras mayores a tres milímetros).

3.6.3 Análisis de datos FEMA- 154

Para la evaluación del método se realiza una validación auténtica del “Federal Emergency Management Agency (ATC-21)”. El procedimiento se referencia en la tesis de pregrado: “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en los edificios de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, Distrito Cusco, 2018” (Galdos Román & Núñez Esquivel, 2020).

1. Tipo de formato según región de sismicidad:

Las fichas se encuentran definidas por tres regiones de sismicidad: baja (L), moderada (M) y alta (H).

Tabla 13 Clasificación del nivel de región sísmico

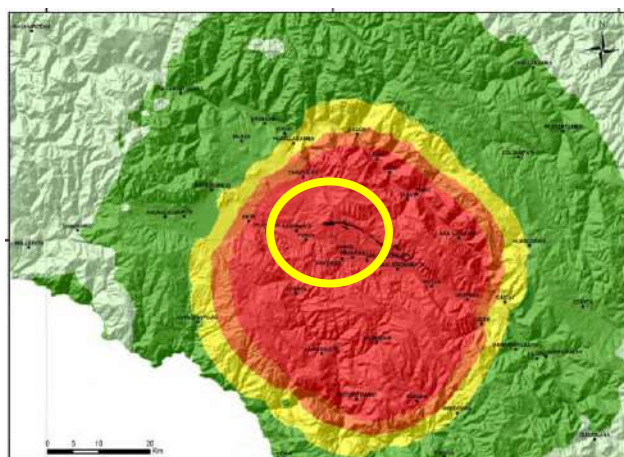
Región sísmica	Período (0.1 seg)
Baja	Menor a 0.17g
Moderada	Mayor igual a 0.17 g y menor a 0.20 g
Alta	Mayor igual a 0.20g

Fuente: (Galdos Román & Núñez Esquivel, 2020)

Se define la región de sismicidad según el “Mapa de aceleraciones del suelo para la ciudad de Cusco”, en el cual la ciudad pertenece al rango de aceleración de suelo mayor a 0.29 g, por lo tanto, se aplica la ficha de región sísmica: “Alta”.

Mapa de aceleraciones del suelo para la ciudad de Cusco

Leyenda



Rangos de aceleración (g):

- < 0.1
- 0.1 – 0.21
- 0.21 – 0.25
- 0.25 – 0.29
- > 0.29

Fuente: (Benavente, Delgado, & Taipe, 2013)



Los parámetros: 2,3,4 sirven para un mayor reconocimiento de la edificación, mientras que los siguientes parámetros intervienen directamente en la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica.

2. Datos de la edificación
3. Esquema de la edificación.
4. Fotografía de la edificación.
5. Parámetros descriptivos.
 - a. Ocupación: Se considera el uso propio en la edificación.
 - b. Tipo de suelo: Teniendo en cuenta que el método es netamente cualitativo se consideró información de antecedentes de investigaciones anteriores, sólo las clasificaciones tipo “C, D y E” influyen en el índice de vulnerabilidad.
 - c. Riesgos exteriores: Se consideran factores adicionales que afecten la vulnerabilidad sísmica de la edificación.
6. Puntaje básico, modificadores y puntajes finales
 - a. Tipología del Sistema Estructural
 - W1: Estructuras de madera liviana
 - S1: Edificios con pórticos de acero
 - S2: Edificios arriostrados con pórticos de acero
 - S3: Construcciones livianas de metal
 - S4: Edificios con estructura de acero con muros de corte de concreto
 - C1: Edificios con pórticos de concreto
 - C2: Edificios con muros de corte de concreto
 - C3: Edificios de concreto reforzados rellenos con muros de albañilería
 - PC1: Edificios Tilt-up (Tilt-up, tipo de edificación que se ensambla e iza)
 - PC2: Estructuras de concreto prefabricadas
 - RM: Edificios de albañilería reforzada
 - URM: Edificaciones con muros de albañilería no reforzada

La clasificación es necesaria para determinar el valor del índice de vulnerabilidad, que posteriormente disminuye o aumenta dependiendo de los demás parámetros.

- b. Altura de edificación
Se estima la altura de la edificación obtenida del software Autodesk ReCap, clasificando según el número de pisos.
 - c. Irregularidad vertical



Se determina la irregularidad en elevación con respecto a la norma E.030, se aplica la ecuación 04.

d. Irregularidad en planta

Se determina sólo la irregularidad de esquinas entrantes de acuerdo con lo establecido en la metodología FEMA 154 con respecto a la norma E.030, usando la ecuación 02.

e. Pre- Post Código

Se considera “Pre-código”, cuando la edificación no fue construida con normas actuales, en este caso la Norma de Albañilería del año 1982 y la Norma Sismorresistente del año 1983 y post código al estar construidas con la norma vigente.

7. Evaluación detallada

Se clasifica el nivel de vulnerabilidad de las edificaciones, como se muestra:

Tabla 14 Clasificación del índice de vulnerabilidad método FEMA 154

S menor a 2,0 ($S < 2$)	Alta Vulnerabilidad
S entre 2,0 y 2,5 ($2 \leq S \leq 2.5$)	Media Vulnerabilidad
S mayor a 2.5 ($S > 2.5$)	Baja Vulnerabilidad

Fuente (Arteaga Mora, 2016)

Digitalización de la ficha de recolección de datos método FEMA-154

Evaluación de vulnerabilidad sísmica en edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec												
Inspección Visual de Edificación FEMA-154 Formulario de recolección de datos										Región de sismicidad ALTA		
Esquema de la edificación:						Datos de la edificación:						
						Dirección		C.H. Pachacutec				
						N° de pisos		04				
						Año de construcción		1983				
						Inspector		Jafet Alfaro Fiorella Martínez				
						Fecha		20-12-2020				
						Área total del edificio (m2)		204.42 m2				
						Código del Edificio		"B-1"				
						Fotografía de la edificación:						
Ocupación			Tipo de suelo					Riesgos Exteriores				
Sala pública	N° personas	0-10 11-100 101-1000 1000+	A	B	C	D	E	Chimenea no reforzada				
Oficinas								Riesgos de caída en construcción adyacente				
Colegio/Universidad								Parapetos				
Gobierno								Revestimientos				
Comercial								Otros peligros				
Histórico								Habilitación de accesos (puertas) en muros portantes				
Industrial								X				
Vivienda												
Otros:												
Puntaje básico, modificadores y puntajes finales												
Tipología del sistema estructural	W1	S1	S2	S3	S4	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM	URM
	5.2	3.6	3.6	3.8	3.6	3.0	3.6	3.2	3.2	2.4	2.8	3.4
Altura mediana (4 - 7 pisos)	NA	0.4	0.4	N/A	0.4	0.2	0.4	0.2	N/A	0.2	0.4	-0.4
Altura alta (>7 pisos)	NA	1.4	1.4	N/A	1.4	0.5	0.8	0.4	N/A	0.4	N/A	N/A
Irregularidad vertical	-4.5	-2.0	-2.0	N/A	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.5
Irregularidad en planta	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	0.5
Pre-código	0.0	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-1.0	-1.0	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-0.4
Post-Benchmark	1.6	1.4	1.4	N/A	1.2	1.2	1.2	N/A	1.8	N/A	1.2	N/A
Suelo tipo C	-0.2	-0.6	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.8	-0.6	-0.6	-0.4	-0.4	-0.4
Suelo tipo D	-0.6	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.2	-1.0	-1.0	-0.6	-0.6	-0.8
Suelo tipo E	-1.2	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.6	-1.2	-0.6	-1.6
Puntaje final												2.0
Comentarios:										Requiere evaluación detallada		
La edificación presenta un nivel de vulnerabilidad medio. No se pudo ingresar al interior de 03 viviendas.										SI <input type="checkbox"/> NO <input checked="" type="checkbox"/>		



3.6.4 Análisis de datos de cálculo de distorsiones laterales

Para estimar las distorsiones laterales en las demás edificaciones, se seleccionó una edificación representativa por tipo de código en: A, B, C, D. El análisis de distorsiones laterales se desarrolló en base a la investigación: “Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de vulnerabilidad (FEMA P-154) y su validación mediante cálculo de distorsiones laterales” (Alvarez & Pulgar, 2019).

Por accesibilidad se realizaron los ensayos de resistencia a la compresión de la albañilería y el ensayo de penetración estándar a la edificación en la edificación con código “A-2”; para la obtención de información para realizar el modelo matemático en ETABS, se asumió los valores obtenidos para las siguientes tres edificaciones: “B-5, C-7, D-2”, en vista que el proceso de construcción fue paralelo en todo el Conjunto Habitacional.

1. Medidas de la edificación

Se obtuvo medidas de una edificación representativa por tipo de edificación codificada (A, B, C, D), que presentan similares características, posteriormente se digitalizó los valores para su modelación en el software AUTOCAD. Ver Anexo N°02, N°03, N°04, N°05.

2. Ensayo de penetración estándar (SPT)

Se determinó el valor de N_{30} , mediante la suma del número de golpes del segundo y tercer incremento de 6 pulgadas (0.15 m), en los anexos 04 y 05 se detallan los resultados obtenidos del ensayo. Luego se determinó el valor de N_{60} corregido según la siguiente ecuación:

$$N_{60} = 1.10 * N \quad (14)$$

Posteriormente se relacionó la realizó la correlación del valor obtenido para determinar el tipo de suelo; donde se obtuvo un perfil de suelo intermedio (S2).



Figura 38 a) Traslado y b) Armado del equipo SPT en el segundo punto

3. Ensayo de resistencia característica de compresión en albañilería ($f'm$)

De acuerdo a las especificaciones de la Norma E.070 y la NTP 339.605, que indica que el ensayo de compresión axial ($f'm$) a muros de albañilería se realiza a 3 pilas (muestras) por cada 500 m² de área techada, “Estas pilas no deben tener una altura menor a 0.40 m y relación altura- espesor no menor a 2, ni mayor a 5” (E.050 Norma de Suelos y Cimentaciones, 2018).

Los resultados obtenidos del ensayo en laboratorio de resistencia a la compresión (Figura 38 y Figura 39) para cada muestra de albañilería ($f'm$) resultante es: Anexo 11.

- M-01= 219.75 kg/cm²
- M-02= 216.83 kg/cm²
- M-03= 218.25 kg/cm²

Por cuestiones de seguridad se considera el valor de resistencia característica de compresión mínimo, en vista que se consideró factores externos que puedan afectar los valores obtenidos.

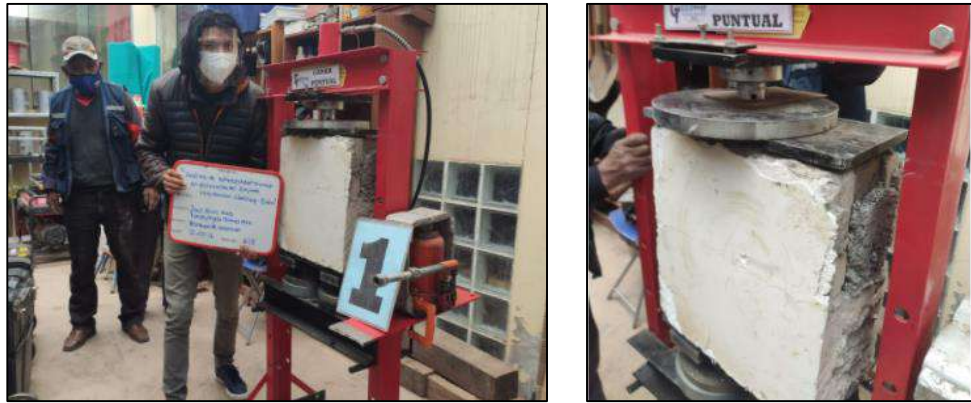


Figura 39 Ensayo de resistencia a la compresión de Muestra 01



Figura 40 Ensayo de resistencia a la compresión: Muestra 02 y Muestra 03

Se realiza la corrección del cálculo de esbeltez (E), tomando en cuenta la fórmula:

$$E = \frac{h \text{ (altura)}}{t \text{ (espesor)}} \quad (15)$$

De modo que la esbeltez propia para el bloque de albañilería resultante es:

$$E = \frac{42.10}{20.00} = 2.10$$

Tabla 15 Factores de corrección $f'm$ por esbeltez

Esbeltez	2.0	2.5	3.0	4.0	4.5	5.0
Factor	0.73	0.80	0.91	0.95	0.98	1.00

Fuente (E.070 Albañilería, 2006)

La Tabla 14 Factores de corrección $f'm$ por esbeltez, establecida en la Norma E-070, no presenta el valor de esbeltez obtenido en gabinete, por lo tanto, se realiza una interpolación de datos para la obtención del valor de esbeltez con los valores que se encuentran resaltados en la tabla, de donde se obtiene:

$$y = y_0 + \frac{y_1 - y_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad (16)$$



$$y = 0.73 + \frac{0.80 - 0.73}{2.5 - 2} * (2.11 - 2)$$
$$y = 0.745$$

Seguidamente se multiplica el valor de la esbeltez obtenida de la ecuación 16 con el valor de la resistencia a la compresión de la muestra de albañilería ($f'm$).

$$f'm = 0.745 * 216.83 \text{ kg/cm}^2$$

$$f'm = 161.54 \text{ kg/cm}^2$$

Con este valor corregido se halla el Módulo de Elasticidad de la unidad de bloque de concreto, como establece la Norma E.020, (se presenta el certificado de calibración de la máquina de ensayo uniaxial en caso pertinente).

$$E'm = 700 * 161.54 \text{ kg/cm}^2$$

$$E'm = 113078 \text{ kg/cm}^2$$

4. Modelo matemático en software ETABS

Desde este punto se planifica el modelo matemático para la distribución espacial de masas de la edificación con código “A-2” de albañilería armada en el software ETABS.

Suposiciones del diseño:

- El espesor del muro de albañilería armada es 0.20m.
- Los muros no portantes (ladrillo sílico calcáreo) se aplican como carga distribuida en los alfeizar y tabiques interiores respectivamente en la edificación, considerando como peso volumétrico de 1800 kg/m³.
- Se consideraron como muros portantes, cuyo largo sea mayor igual a 1,20 m, son los únicos que contribuyentes en la resistencia a las fuerzas horizontales.
- Losa maciza, se asume que resistencia a la compresión ($f'c$) es 210 kg/cm² y espesor de 0.20m.
- La cubierta es de tipo cuatro vertientes de teja andina.
- Escaleras de 0.15m de garganta, se asume su resistencia a la compresión ($f'c$) es 210 kg/cm².
- En las consideraciones de la Norma E.030 Diseño Sismorresistente, se encuentra el uso de secciones brutas en los elementos resistentes, lo cual nos posibilita ignorar su esfuerzo y suponer el funcionamiento de los pisos de



acuerdo a un diafragma rígido, por lo tanto, esto permite realizar modelos estructurales y despreciar el acero existente en el modelado.

La información que se presenta seguidamente es relevante para el análisis del modelado de una edificación de albañilería armada preferentemente.

- Carga muerta: El metrado de cargas establecido en la Norma E.020, establece:
 - Materiales:
Se ha considera 1 cm de tarrajeo en cada cara del muro, para el muro de albañilería armada con bloques de concreto vibrado relleno con grout:
 2.2 Tn/m^3
 - Losa:
Piso terminado
 $\gamma = 100 \text{ kg/m}^2$
Acabado de piso
 $\gamma = 90 \text{ kg/m}^2$
 - Tabique de ventana:
 $a = 0.10 \text{ m}$
 $h = 0.80 \text{ m}$
 $\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$
 $\omega = 144 \text{ kg/ml}$
 - Muro no portante:
 $a = 0.10 \text{ m}$
 $h = 2.35 \text{ m}$
 $\gamma = 1800 \text{ kg/m}^3$
 $\omega = 423 \text{ kg/ml}$
 - Peso de cobertura:
 $\omega = 70 \text{ kg/m}^2$
- Carga viva del piso:
 - Carga viva mínima repartida, según el tipo de ocupación o uso de la edificación, la carga repartida para Uso Vivienda es 200 kg/m^2 .
- Carga viva del techo:
 - Según la Norma E.020, el techo de la edificación presenta inclinación mayor de 3° respecto a la horizontal; por lo tanto, la Norma establece la carga viva de 50 kg/m^2



- Definición de masas:
 - El patrón de carga se consideró como se estipula en la Norma E.020.
0.25 (Carga viva de piso) + 0.25 (Peso viva de techo) +1.00 (Carga muerta)
- Aceleración espectral:
 - Para las direcciones horizontales analizadas se utiliza un espectro inelástico de pseudo aceleraciones definido por:

$$S_o = \frac{Z * U * C * S}{R} * g$$

- Datos:

Zona sísmica: 2, $Z = 0.25$

Categoría: $C = 1.0$

Tipo de suelo: $S2 = 1.20$

Coefficiente Básico de reducción $R_o = 3$

Irregularidad en altura: $I_a = 1$

Irregularidad en planta: $I_p = 0.90$ (Esquinas entrantes)

Aceleración de la gravedad: $g = 9.8073 \text{ m/s}^2$

Y para el análisis en la dirección vertical se usa los 2/3 del valor del espectro empleado para la dirección horizontal.

Para el modelamiento de la edificación se generaron las grillas según las longitudes plasmadas en el Autocad del levantamiento, posteriormente se definió las propiedades de los materiales de acuerdo a la información detallada anteriormente.

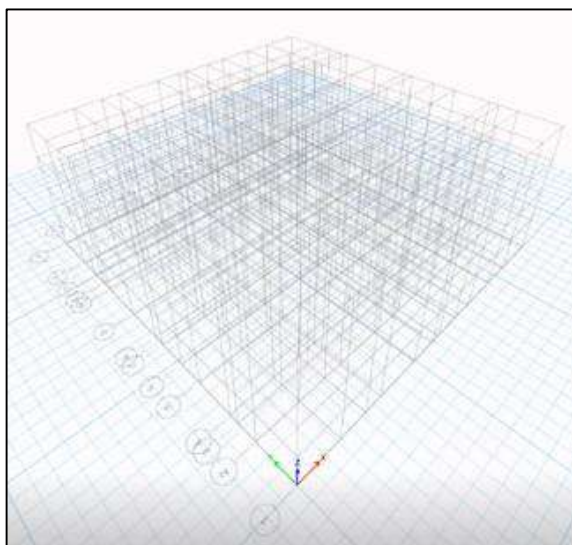


Figura 41 a) Modelo de grillas de la edificación "A-2" y b) Definición de propiedad del material



Se grafica los muros tipo “wall” que reciben el nombre de “MURO AB=20cm” ($e=20\text{cm}$), la losa de $e=20\text{cm}$ para los 3 primeros niveles y cubierta tipo techo curvo para el último nivel.

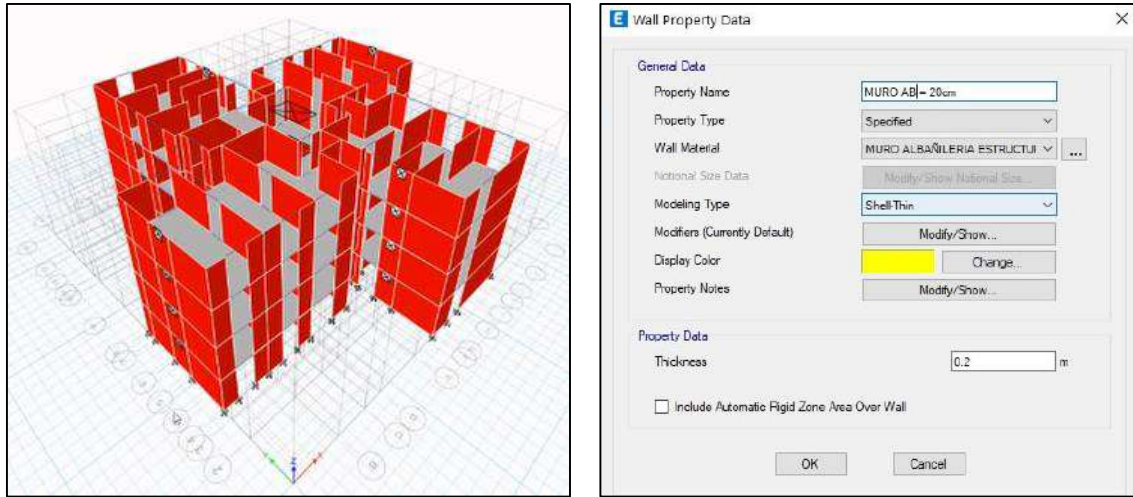


Figura 42 a) Configuración de muros portantes y no portantes, losas de la edificación y b) Definición de propiedades de muros portantes

Se grafica los muros no portantes (tabiques) como carga distribuida que se sostienen sobre las losas de la edificación, se observa su peso propio o carga muerta y la carga viva o sobrecarga de la edificación.

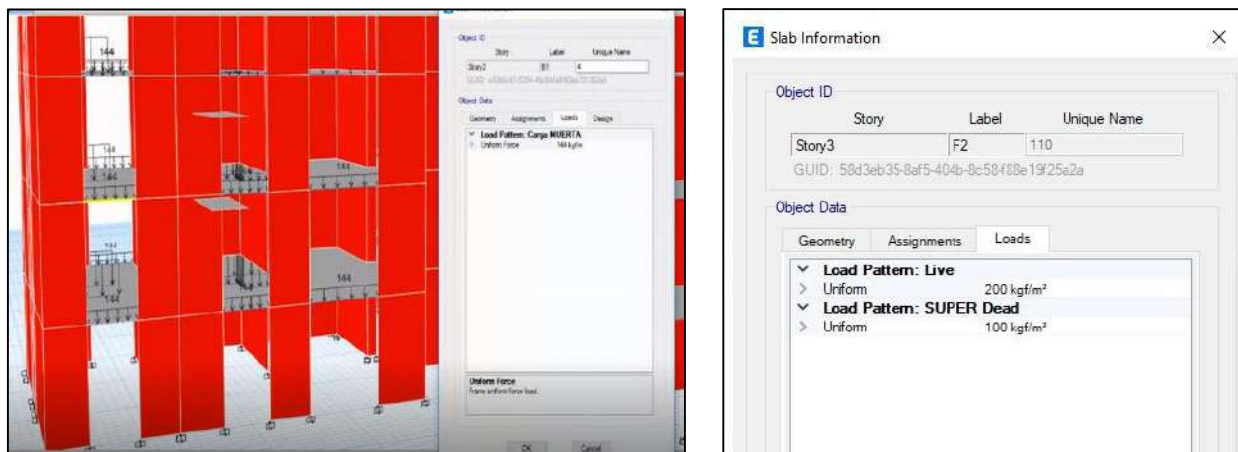


Figura 43 a) Definición de cargas de muros no portantes y b) Definición de cargas de la losa y sobrecarga de la edificación

Se define las propiedades de masa sísmica de acuerdo a la Norma E.030 Diseño Sismorresistente.

El espectro de respuesta sísmica según la Norma E.030 Figura 44, se obtiene de la siguiente función.

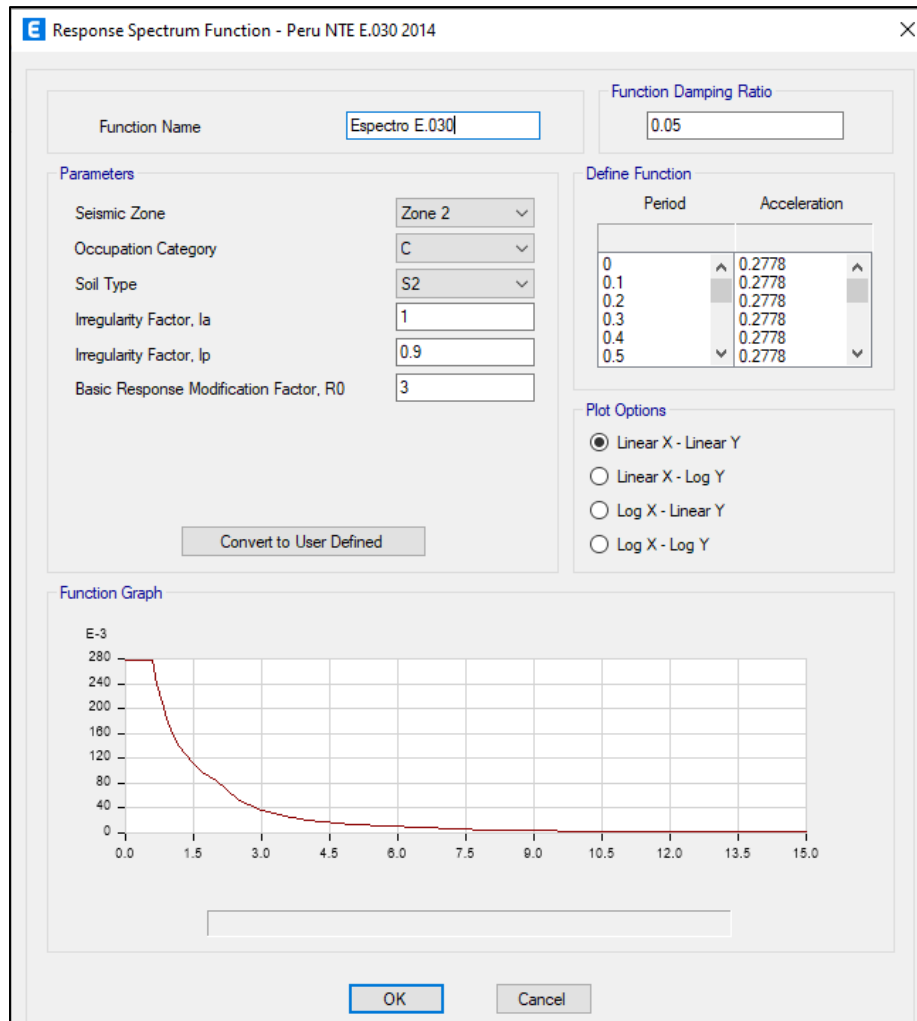


Figura 44 Espectro de respuesta sísmica según Norma E.030

Se define el patrón de cargas, de donde se establece: Peso propio (Peso propio), Carga viva (Live), Carga muerta (Super Dead), Carga viva de techo (CV Cubierta), con sus respectivos multiplicadores de peso propio, como se detalla en la Figura 45.

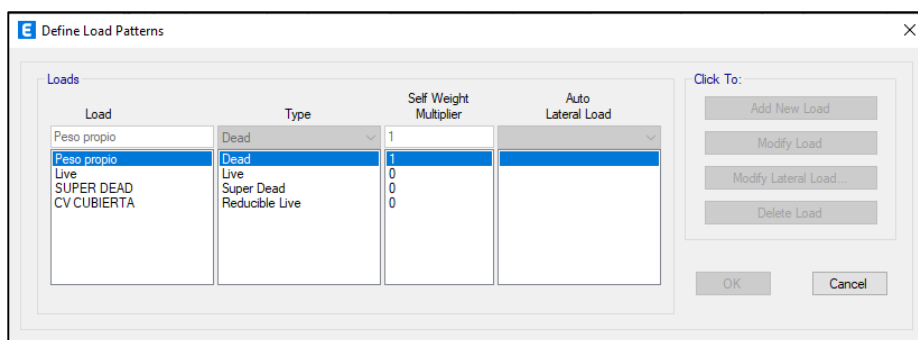


Figura 45 Definición de patrón de cargas



Los casos de carga para el Espectro en sentido “XX” e “YY”, para los tipos de casos de carga para el espectro de respuesta definido como se detalla en la Figura 46, se muestra a continuación:

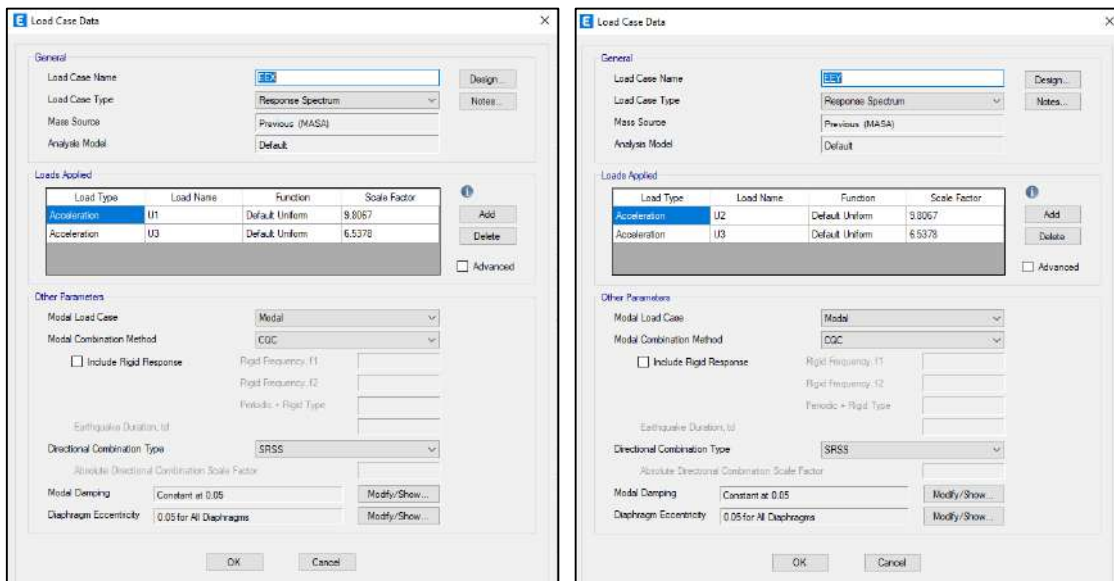


Figura 46 a) Datos de casos de carga sentido XX y b) Datos de casos de carga sentido YY

Adicionalmente se realiza una discretización interna en los muros de la edificación, según el concepto de elementos finitos, se menciona que el enmallado debe ser lo más fino posible, a medida que se obtenga elementos más pequeños, esto se refleja en resultados más exactos, ya que existe mayor cantidad de puntos de control (nudos). Sin embargo, cabe recalcar que la importancia de la estructura es un factor determinante para la solución de este procedimiento. El refinamiento de resultados se realiza con el mallado de 06 partes para el sentido vertical y 06 partes para el sentido horizontal.

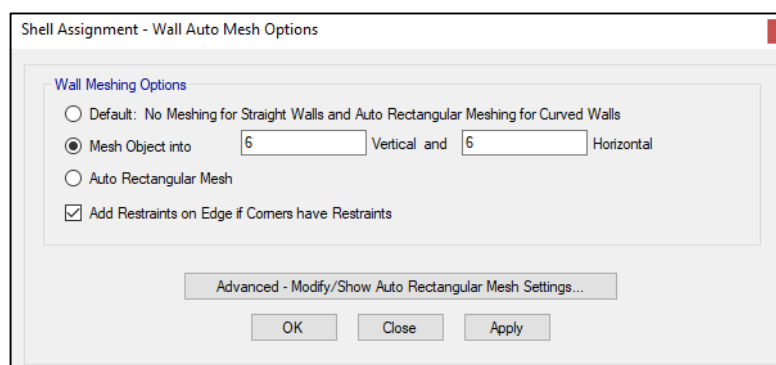


Figura 47 Asignación de opciones de malla para muro

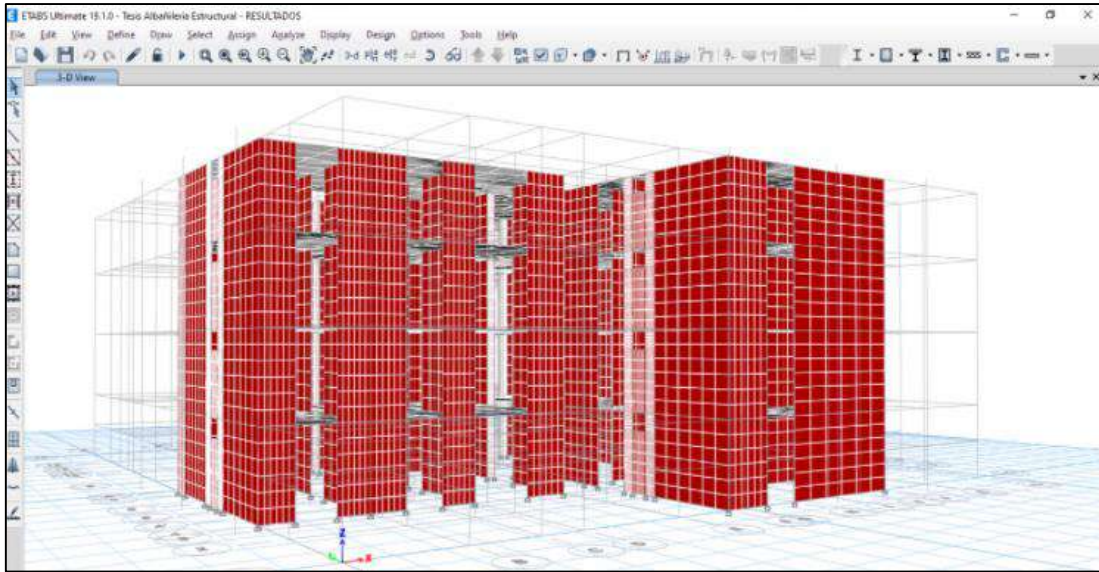


Figura 48 Edificación con discretización de puntos en sentido horizontal y vertical

Se realizó el procedimiento anterior para las 4 edificaciones representativas por configuración arquitectónica, según código: “A-2, B-5, C-7, D-2”., se presentan los resultados de las distorsiones laterales para las direcciones X e Y.

Edificación “A-2”:

Tabla 16 Distorsiones sentido X edificación “A-2”

Piso	Elevación (m)	Desplazamiento absoluto (cm)	Dirección X	Deriva inelástica $0.85 * R$
Piso 4	10	0.001286	0.000135	0.00031
Piso 3	7.65	0.000977	0.000145	0.00033
Piso 2	5.1	0.000607	0.000144	0.00033
Piso 1	2.55	0.000241	0.000094	0.00022

Tabla 17 Distorsiones sentido Y edificación “A-2”

Piso	Elevación (m)	Desplazamiento absoluto (cm)	Dirección Y	Deriva inelástica $0.85 * R$
Piso 4	10	0.00107	0.000116	0.00027
Piso 3	7.65	0.000825	0.000117	0.00027
Piso 2	5.1	0.000527	0.00012	0.00028
Piso 1	2.55	0.00022	0.000086	0.00020



Edificación "B-5":

Tabla 18 Distorsiones sentido X edificación "B-5"

Piso	Elevación (m)	Desplazamiento absoluto (cm)	Dirección X	Deriva inelástica
Piso 4	10.00	0.00047	0.000035	0.00007
Piso 3	7.65	0.000389	0.00005	0.00010
Piso 2	5.10	0.000266	0.000057	0.00012
Piso 1	2.55	0.00012	0.000047	0.00010

Tabla 19 Distorsiones sentido Y edificación "B-5"

Piso	Elevación (m)	Desplazamiento absoluto (cm)	Dirección Y	Deriva inelástica
Piso 4	10.00	0.001345	0.000117	0.00024
Piso 3	7.65	0.001073	0.000155	0.00031
Piso 2	5.10	0.000681	0.000161	0.00033
Piso 1	2.55	0.000272	0.000107	0.00022

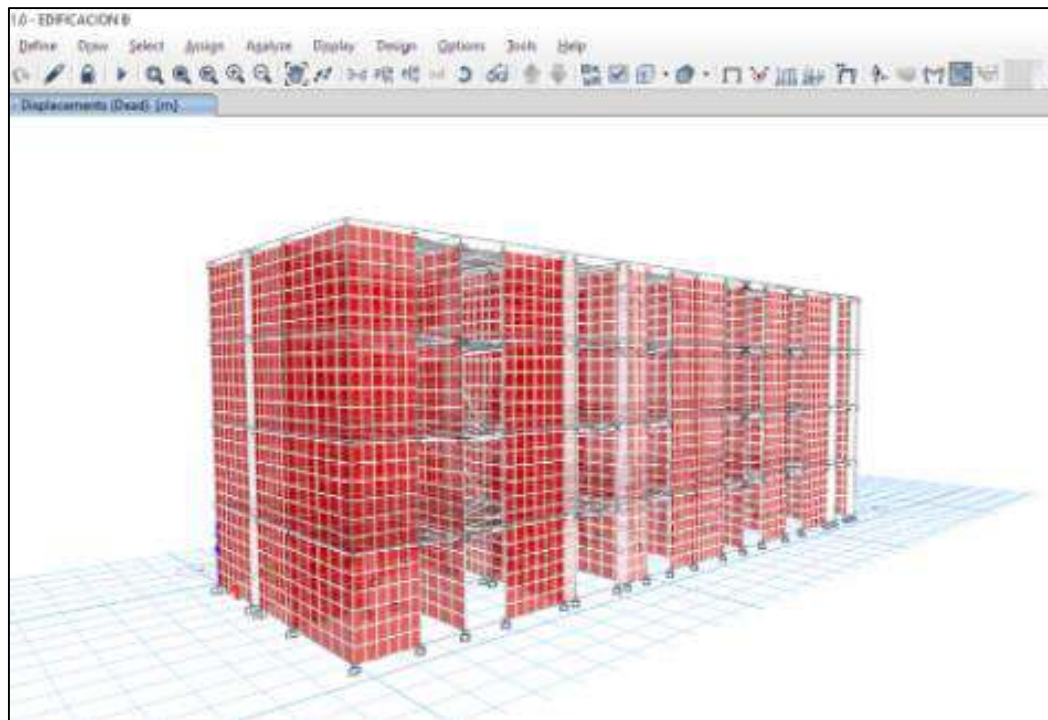


Figura 49 Vista en 3D edificación código "B-5"



Edificación "C-7":

Tabla 20 Distorsiones sentido X edificación "C-7"

Piso	Elevación (m)	Desplazamiento absoluto (cm)	Dirección X	Deriva inelástica
Piso 4	10.00	0.001597	0.000156	0.00032
Piso 3	7.65	0.001242	0.000188	0.00038
Piso 2	5.10	0.000767	0.000187	0.00038
Piso 1	2.55	0.000292	0.000114	0.00023

Tabla 21 Distorsiones sentido Y edificación "C-7"

Piso	Elevación (m)	Desplazamiento absoluto (cm)	Dirección Y	Deriva inelástica
Piso 4	10.00	0.000862	0.0000870	0.00018
Piso 3	7.65	0.00066	0.0001020	0.00021
Piso 2	5.10	0.000407	0.0000970	0.00020
Piso 1	2.55	0.00016	0.0000630	0.00013

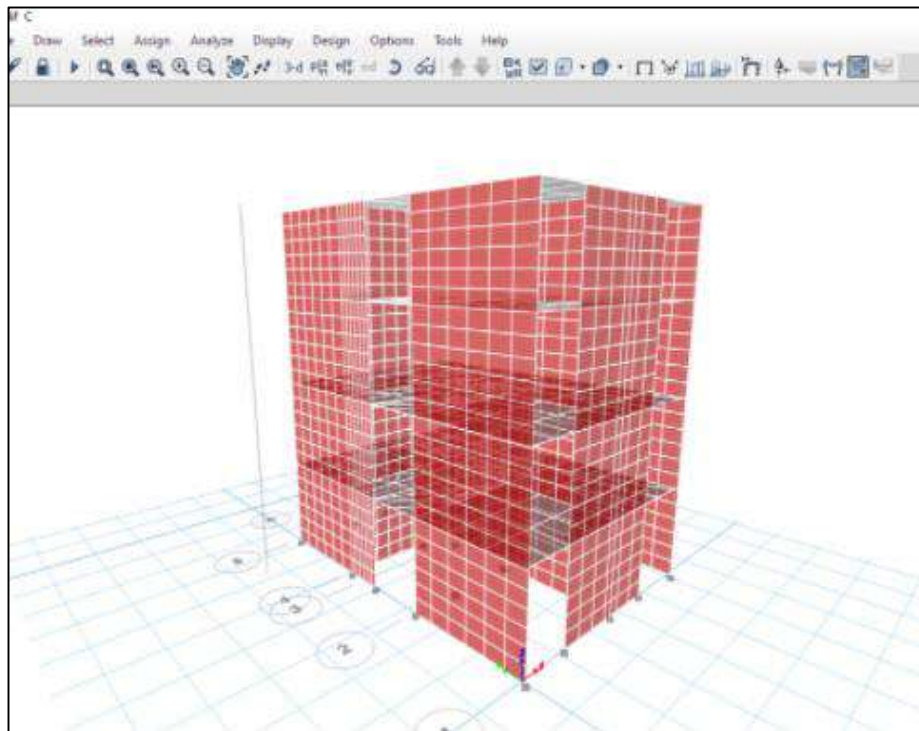


Figura 50 Vista en 3D edificación código "C-7"



Edificación “D-2”:

Tabla 22 Distorsiones sentido X edificación “D-2”

Piso	Elevación (m)	Desplazamiento absoluto (cm)	Dirección X	Deriva inelástica
Piso 4	10.00	0.003723	0.00033	0.00076
Piso 3	7.65	0.002904	0.000427	0.00098
Piso 2	5.10	0.001846	0.000439	0.00101
Piso 1	2.55	0.000751	0.0003	0.00069

Tabla 23 Distorsiones sentido Y edificación “D-2”

Piso	Elevación (m)	Desplazamiento absoluto (cm)	Dirección Y	Deriva inelástica
Piso 4	10.00	0.003289	0.000293	0.00067
Piso 3	7.65	0.002557	0.000379	0.00087
Piso 2	5.10	0.001613	0.000389	0.00089
Piso 1	2.55	0.000642	0.000257	0.00059

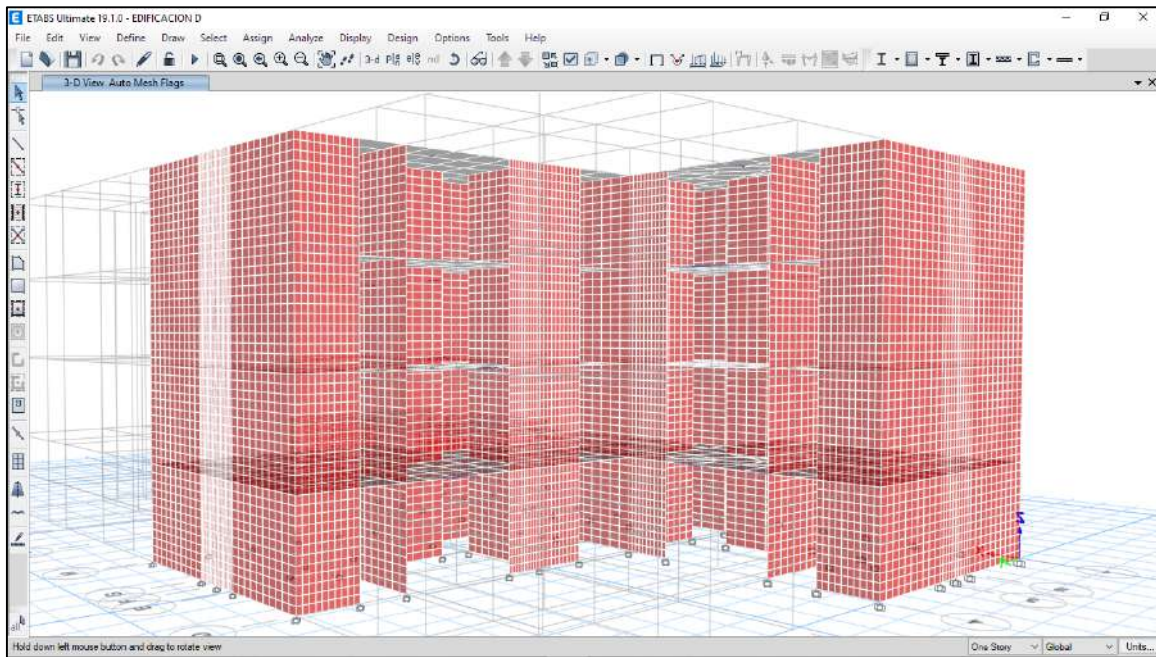


Figura 51 Vista en 3D edificación código “D-2”



Se calcula las irregularidades en altura de la edificación “A-2”, según la Norma E.030:

1. Irregularidad de rigidez- piso blando

Tabla 24 Irregularidad de rigidez de piso blando sentido X

Dirección X-X							
Irregularidad de rigidez - piso blando							Factor de irregularidad Ia = 0.75
Nivel	Fuerza Cortante (Vi) [kg]	ΔRelativo (Δi) [cm]	Rigidez Lateral Ki=Vi/Δi	Existe irregularidad si:			
				$K_i < 0.7K_{i+1}$	$K_i < 0.8*(prom. Ki de los 3 pisos sup.)$		
4° Nivel	94553.09	0.1286	735249.5	-	-	-	-
3° Nivel	214694.59	0.0977	2197488.1	514674.67	-	Regular	-
2° Nivel	286296.44	0.0607	4716580.6	1538241.69	-	Regular	-
1° Nivel	311733.13	0.0241	12934984.6	3301606.39	2039818.19	Regular	Regular

Tabla 25 Irregularidad de rigidez de piso blando sentido Y

Dirección Y-Y							
Irregularidad de rigidez - piso blando							Factor de irregularidad Ia = 0.75
Nivel	Fuerza Cortante (Vi) [kg]	Δ Relativo (Δi) [cm]	Rigidez Lateral Ki=Vi/Δi	Existe irregularidad si:			
				$K_i < 0.7K_{i+1}$	$K_i < 0.8*(prom. Ki de los 3 pisos sup.)$		
4° Nivel	94249.83	0.1070	880839.5	-	-	-	-
3° Nivel	214444.44	0.0825	2599326.5	616587.67	-	Regular	-
2° Nivel	287675.37	0.0527	5458735.7	1819528.58	-	Regular	-
1° Nivel	314857.82	0.0220	14311719.1	3821114.97	2383707.13	Regular	Regular

2. Irregularidad de resistencia- piso débil

Tabla 26 Irregularidad de resistencia piso débil sentido X

Dirección X-X			
Irregularidad de resistencia - piso débil			Factor de Irregularidad Ia = 0.75
Nivel	Fuerza Resistente al Corte (kg)	Existe irregularidad si:	
		$V_c \text{ piso} / V_c \text{ piso Sup} < 80\%$	
4° Nivel	94553.09	-	Regular
3° Nivel	214694.59	227.06 %	Regular
2° Nivel	286296.44	133.35 %	Regular
1° Nivel	311733.13	108.88 %	Regular



Tabla 27 Irregularidad de resistencia piso débil sentido Y

Dirección Y-Y			
Nivel	Irregularidad de resistencia - piso débil		Factor de Irregularidad
	Fuerza Resistente al Corte (kg)	Existe Irregularidad si:	
		$Vc \text{ piso} / Vc \text{ piso Sup} < 80\%$	Ia = 0.75
4° Nivel	94249.83	-	Regular
3° Nivel	214444.44	227.53 %	Regular
2° Nivel	287675.37	134.15 %	Regular
1° Nivel	314857.82	109.45 %	Regular

3. Irregularidad de geométrica vertical

Tabla 28 Irregularidad de geometría vertical

Irregularidad de geometría vertical				Factor de irregularidad	
Nivel	Áreas de losa m ²	Existe irregularidad si:		Ia = 0.90	
		$\text{Área de piso} / \text{área de piso ady. sup} > 1.3$	$\text{Sismo piso} / \text{sismo piso ady. inf.} > 1.3$		
4° nivel	-	-	-	-	-
3° nivel	338.98	1.0	1.0	Regular	Regular
2° nivel	338.98	1.0	1.0	Regular	Regular
1° nivel	338.98	1.0	-	Regular	-

4. Irregularidad de Masa o Peso:

Tabla 29 Irregularidad de masa o peso

Irregularidad de masa o peso				Factor de Irregularidad	
Nivel	Masa (Kg-s ² /cm ²)	Existe irregularidad si:		Ia = 0.90	
		$\text{Peso piso} / \text{Peso piso Ady. Sup} < 1.5$	$\text{Peso piso} / \text{Peso piso Ady. Inf} < 1.5$		
4° Nivel	263.83	-	0.98	-	Regular
3° Nivel	267.38	1.00	1.00	Regular	Regular
2° Nivel	267.38	1.00	1.00	Regular	Regular
1° Nivel	267.38	1.00	-	Regular	-



5. Irregularidad Extrema de Rigidez o de Resistencia: No existe
6. Irregularidad Extrema de Resistencia: No existe
7. Discontinuidad en los Sistemas Resistentes: No existe irregularidad de los sistemas resistentes debido a que no existe desalineamiento vertical ni cambio de orientación en los elementos verticales de la estructura.
8. Discontinuidad extrema de los Sistemas Resistentes: No existe.

Se calcula las irregularidades en planta de la edificación “A-2” según la Norma E.030.

1. Irregularidad torsional.

Tabla 30 Irregularidad torsional sentido X

Dirección X-X				
Irregularidad torsional				Factor de Irregularidad
Nivel	Derivas elásticas (Δ)	Deriva máxima Albañilería	50% Deriva Máxima	
				$I_p = 0.75$
4° Nivel	0.000135	0.005	0.0025	Regular
3° Nivel	0.000145	0.005	0.0025	Regular
2° Nivel	0.000144	0.005	0.0025	Regular
1° Nivel	0.000094	0.005	0.0025	Regular

Tabla 31 Irregularidad torsional sentido Y

Dirección Y-Y				
Irregularidad torsional				Factor de Irregularidad
Nivel	Derivas elásticas (Δ)	Deriva máxima Albañilería	50% Deriva Máxima	
				$I_p = 0.75$
4° Nivel	0.000116	0.005	0.0025	Regular
3° Nivel	0.000117	0.005	0.0025	Regular
2° Nivel	0.00012	0.005	0.0025	Regular
1° Nivel	0.000086	0.005	0.0025	Regular

2. Irregularidad de esquinas entrantes.

Tabla 32 Irregularidad esquinas entrantes sentido X

Dirección X-X				
Irregularidad esquinas entrantes				Factor de Irregularidad
Esquina	a	A	20% A	
				$I_p = 0.90$
1	5.70	12.70	2.54	Irregular



2	11.86	18.86	3.77	Irregular
3	8.16	12.76	2.55	Irregular
4	11.80	16.40	3.28	Irregular

Tabla 33 Irregularidad esquinas entrantes sentido Y

Dirección Y-Y				
Irregularidad esquinas entrantes				Factor de Irregularidad
Esquina	<i>b</i>	B	20% B	
				$I_p = 0.90$
1	12.45	17.07	3.41	Irregular
2	8.55	13.45	2.69	Irregular
3	11.5	16.4	3.28	Irregular
4	7.88	12.5	2.50	Irregular

3. Irregularidad de discontinuidad del diafragma.

Tabla 34 Irregularidad de discontinuidad del diafragma

Irregularidad de discontinuidad del diafragma				Factor de Irregularidad
Nivel	Área bruta (m ²)	Área de Aberturas (m ²)	% Área de Aberturas	
				$I_p = 0.85$
4° Nivel	338.98	4.18	1.23 %	Regular
3° Nivel	338.98	4.18	1.23 %	Regular
2° Nivel	338.98	4.18	1.23 %	Regular
1° Nivel	338.98	4.18	1.23 %	Regular

4. Irregularidad torsional extrema: No existe.

5. Sistemas no paralelos: No existe irregularidad de sistemas no paralelos, puesto que los elementos resistentes a fuerzas laterales son paralelos entre sí.



Se resume los resultados de irregularidades en altura y planta realizados a las 4 edificaciones representativas por configuración arquitectónica, dando como resultado los siguientes valores:

Tabla 35 Irregularidad estructural en altura

N°	Irregularidades estructurales en altura	Tipo de edificación			
		A	B	C	D
1	Irregularidad de rigidez - piso blando	Regular	Regular	Regular	Regular
2	Irregularidades de resistencia - piso débil	Regular	Regular	Regular	Regular
3	Irregularidad extrema de rigidez	-	-	-	-
4	Irregularidad extrema de resistencia	-	-	-	-
5	Irregularidad de masa o peso	Regular	Regular	Regular	Regular
6	Irregularidad geométrica vertical	Regular	Regular	Regular	Regular
7	Discontinuidad en los sistemas resistentes	Regular	Regular	Regular	Regular
8	Discontinuidad extrema de los sistemas resistentes	-	-	-	-

Tabla 36 Irregularidad estructural en planta

N°	Irregularidades estructurales en planta	Tipo de edificación			
		A	B	C	D
1	Irregularidad torsional	Regular	Regular	Regular	Regular
2	Irregularidades torsionales extrema	-	-	-	-
3	Esquinas entrantes	Irregular	Regular	Regular	Irregular
4	Discontinuidad del diafragma	Regular	Regular	Regular	Regular
5	Sistemas no paralelos	-	-	-	-

Finalmente se presenta los valores del periodo fundamental de vibracion de las 4 edificaciones, estos valores ayudan a determinar las condiciones actuales de seguridad estructural, han sufrido cambios que definen la posibilidad del reforzamiento de cada estructura.

Tabla 37 Periodos de las edificaciones

Modos	Edificación			
	A (Seg.)	B (Seg.)	C (Seg.)	D (Seg.)
1 (X)	0.1125	0.1216	0.1230	0.0968
2 (Y)	0.10129	0.0689	0.0931	0.9037
3 (Z)	0.0893	0.06355	0.0672	0.0732

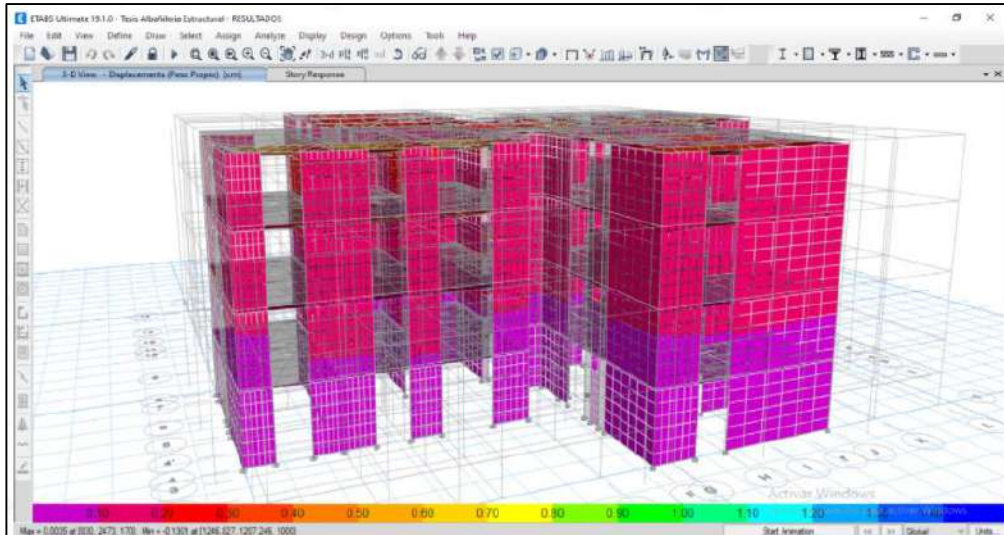


Figura 52 Modelo matemático edificación “A-2” en ETABS

La Norma Técnica Peruana E.030 establece los lineamientos para realizar el análisis en el rango elástico; por lo tanto, para realizar el análisis correspondiente al rango inelástico se reduce al factor de reducción (R) multiplicando por un factor de 0.85. De acuerdo a lo establecido, la distorsión para edificaciones de albañilería no debe exceder a 0.005 (E.030 Diseño Sismoresistente, 2016).

Por último, se recopila los valores obtenidos de desplazamientos y distorsiones relativas en los ejes X e Y para la edificación del software. El método establece un rango de distorsión y probable comportamiento de la edificación como se detalla en la Tabla 38 Nivel de vulnerabilidad sísmica método cálculo de Distorsiones Laterales.

Tabla 38 Nivel de vulnerabilidad sísmica método cálculo de Distorsiones Laterales

Distorsión	Comportamiento esperado	Nivel de vulnerabilidad sísmica
1/3200	Grietas no visibles	No vulnerable
1/1600	Primeras grietas en los talones del muro	
1/800	Inicio de agrietamiento en diagonales de los muros	
1/400	Agrietamiento inicial en columnas de confinamiento y apertura de la grieta diagonal en los muros	Vulnerable
1/200	Grietas horizontales a lo largo de columnas de confinamiento, generalización de grietas en diagonal y apertura considerable en los muros, los vidrios pueden romperse.	
1/100	Grietas de lado a lado, el muro pierde verticalidad hay peligro de desplome. Puertas, ventanas y ascensores no pueden abrirse y las particiones colapsan.	Muy Vulnerable

Fuente (Alvarez & Pulgar, 2019)



Capítulo IV: Resultados

4.1 Resultados del método INDECI

Tabla 39 Resultados de vulnerabilidad sísmica método INDECI

Edificación	Desde el exterior se puede observar	Puerta independiente	Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad	Material predominante de la edificación	La edificación contó con la participación de ingeniero civil	Antigüedad de la edificación	Tipo de suelo	Topografía del terreno de la vivienda	Topografía del terreno colindante a la vivienda	Configuración geométrica en planta	Configuración geométrica en elevación.	Juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura	Existe concentración de masas en nivel	En los principales elementos estructurales se observa	Otros factores que inciden en la vulnerabilidad	Índice de Vulnerabilidad Sísmica
A1	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	1	0	2	0	21
A2	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	1	0	1	0	20
A3	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	1	0	1	0	20
B1	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	2	3	24
B2	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	2	0	21
B3	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	2	0	21
B4	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
B5	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
B6	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
B7	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
B8	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
B9	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	2	22
B10	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
B11	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	2	3	24
B12	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
B13	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
B14	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	2	0	21
B15	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	2	0	21
B16	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	4	0	1	0	20
C1	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C2	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C3	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C4	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C5	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	2	0	18
C6	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C7	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C8	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C9	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C10	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C11	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17



C12	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C13	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
C14	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	2	0	18
C15	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	2	0	18
C16	0	2	0	2	1	3	3	1	1	1	1	1	0	1	0	17
D1	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	0	23
D2	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	2	25
D3	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	0	23
D4	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	0	23
D5	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	2	2	26
D6	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	2	3	27
D7	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	0	23
D8	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	0	23
D9	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	3	26
D10	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	2	3	27
D11	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	0	23
D12	0	2	0	2	1	3	3	1	1	4	1	4	0	1	0	23

Nivel de vulnerabilidad	Cantidad de edificaciones
Muy alto	5
Alto	28
Moderado	14
Bajo	0



4.2 Resultados del método BENEDETTI- PETRINI

Tabla 40 Resultados de vulnerabilidad sísmica método Benedetti-Petrini

Parámetros	1. Organización del Sistema Resistente	2. Calidad del sistema resistente	3. Resistencia Convencional	4. Posición del edificio en cimentación	5 Diafragmas horizontales	6 Configuración en planta	7 Configuración en elevación	8 Distancia máxima entre muros y columnas	9 Tipo de cubierta	10 Elementos no estructurales	11 Estado de conservación	Índice de Vulnerabilidad Sísmica
A1	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	1.25	15.00	0.00	25.00	52.50
A2	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	27.50
A3	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	27.50
B1	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	25.00	5.00	47.50
B2	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	5.00	22.50
B3	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	5.00	22.50
B4	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
B5	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
B6	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
B7	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
B8	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
B9	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	25.00	0.00	42.50
B10	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
B11	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	5.00	22.50
B12	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
B13	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
B14	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	5.00	22.50
B15	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	5.00	22.50
B16	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	1.25	15.00	0.00	0.00	17.50
C1	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C2	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C3	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C4	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C5	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	5.00	21.25
C6	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C7	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C8	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C9	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C10	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C11	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C12	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C13	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
C14	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	25.00	5.00	46.25



C15	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	5.00	21.25
C16	0.00	1.25	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	15.00	0.00	0.00	16.25
D1	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	0.00	32.50
D2	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	0.00	32.50
D3	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	0.00	32.50
D4	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	0.00	32.50
D5	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	5.00	37.50
D6	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	25.00	25.00	82.50
D7	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	0.00	32.50
D8	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	0.00	32.50
D9	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	25.00	0.00	57.50
D10	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	25.00	25.00	82.50
D11	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	0.00	32.50
D12	0.00	1.25	7.50	0.00	0.00	2.50	0.00	6.25	15.00	0.00	0.00	32.50

Nivel de vulnerabilidad	Cantidad de edificaciones
Muy alto	6
Alto	31
Moderado	10
Bajo	0



4.3 Resultados del método FEMA-154

Tabla 41 Resultados de vulnerabilidad sísmica método FEMA 154

Parámetros	Tipología del sistema estructural (ORM)	Altura mediana (4 - 7 pisos)	Altura alta	Irregularidad vertical	Irregularidad en planta	Pre- código	Post- Benchmark	Suelo tipo C	Suelo tipo D	Suelo tipo E	Índice de Vulnerabilidad Sísmica
A1	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
A2	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
A3	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
B1	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B2	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B3	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B4	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B5	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B6	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B7	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B8	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B9	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B10	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B11	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B12	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B13	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B14	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B15	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
B16	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C1	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C2	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C3	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C4	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C5	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C6	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C7	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C8	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C9	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C10	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C11	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C12	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C13	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C14	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
C15	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0



C16	2.8	0.4	0	0	0	-0.8	0	-0.4	0	0	2.0
D1	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D2	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D3	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D4	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D5	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D6	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D7	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D8	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D9	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D10	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D11	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5
D12	2.8	0.4	0	0	-0.5	-0.8	0	-0.4	0	0	1.5

Nivel de vulnerabilidad	Cantidad de edificaciones
Alto	15
Moderado	32
Bajo	0



4.4 Resultados del método de cálculo de distorsiones laterales

De los modelados representados se deduce el nivel de vulnerabilidad presente en cada tipo de edificación según el método, donde las 4 edificaciones resultan con índice de vulnerabilidad sísmica: No vulnerable.

Tabla 42 Resultados de vulnerabilidad sísmica método distorsiones laterales

Nivel de vulnerabilidad	Cantidad de edificaciones
No vulnerable	47
Vulnerable	-
Muy vulnerable	-

4.5 Análisis de la incidencia de los parámetros de métodos cualitativos

Por último, se realiza una clasificación de parámetros cualitativos y determina su incidencia; para el cual se realizó una agrupación de parámetros según características similares de evaluación en cada método cualitativo, como se detalla en la Tabla 43, y se describe las iniciales por cada método: B: Benedetti- Petrini; F: FEMA-154; I: INDECI.

Tabla 43 Clasificación propuesta

Factores	Subvariable	Parámetros	Método
Geometría	Irregularidad vertical geométrica	Irregularidad vertical	B
		Irregularidad vertical	F
		Configuración geométrica en elevación	I
	Esquinan entrantes y discontinuidad de diafragma	Esquinan entrantes	B
		Discontinuidad de Diafragma	B
		Irregularidad en planta	F
		Configuración geométrica en planta	I
	Altura de la edificación (pisos)	Altura de la edificación en pisos	F
	Evaluación de la longitud de edificación	Evaluación de la longitud de edificación	B
	Estructura	Resistencia Convencional	Resistencia Convencional
Relación de elementos constructivos		Continuidad vertical de los muros portantes	B
		Relación entre la altura y el espesor del muro de albañilería	B
		Los diafragmas tienen una conexión con todos los muros	B
		Distancia máxima entre muros o columnas	B
Tipo de cubierta		Tipo de cubierta	B
Juntas de dilatación sísmica		Juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura	I
Concentración de masas en nivel		Existe concentración de masas en nivel	I



	Evaluación en principales elementos estructurales	En los principales elementos estructurales se observa	I
	Material predominante de la edificación	Material predominante de la edificación	I
Construcción	Aplicación de Norma Técnica	Limitaciones de uso de albañilería norma E.070	B
		Calidad Técnica	B
		Pre- código Post-Benchmark	F
		Participación de un ingeniero civil en la construcción	I
	Estado de conservación y antigüedad de la edificación	Estado de conservación	B
		Antigüedad de la edificación	I
Visualización de características de la edificación	Desde el exterior se observa	I	
	Puerta independiente	I	
Componentes que inciden en la vulnerabilidad	Elementos no estructurales	I	
	Otros factores que inciden en la vulnerabilidad	I	
Suelo y entorno	Suelo	Posición del edificio en cimentación	B
		Suelo tipo C, D, E	F
		Tipo de suelo	I
	Entorno	Topografía del terreno de la vivienda: puntos	I
		Topografía del terreno colindante a la vivienda	I
		Factores críticos para la determinación del nivel de vulnerabilidad	I

En la siguiente tabla se observa la importancia de los factores que se presenta en cada método desarrollado en la siguiente investigación, en orden de factores: Geometría, Estructura, Construcción y por último el factor Suelo y Entorno.

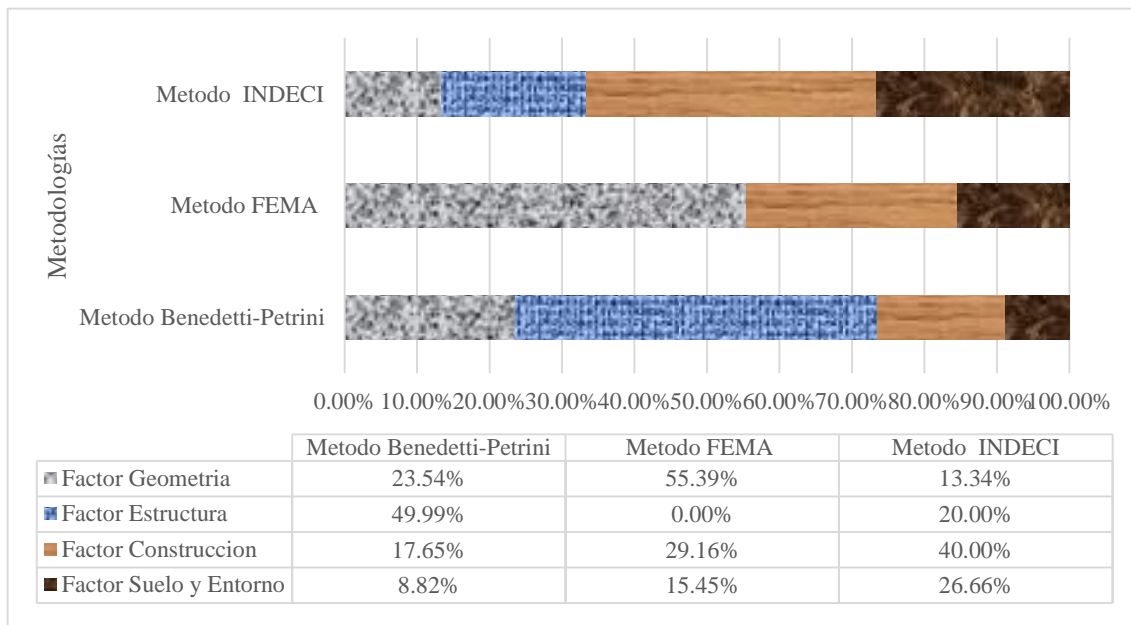


Figura 53 Importancia de factores que inciden en la vulnerabilidad sísmica



Se detalla la estimación porcentual de las subvariables, están comprendidas en los principales factores: Geometría, Diseño Estructural, Construcción, Suelo y Entorno; las características comparten similitud en relación con los parámetros de las tres metodologías desarrolladas en la investigación.

Tabla 44 Importancia de las subvariables en los tres métodos cualitativos

Factor	N/E	Subvariables	% incidencia en obtención del índice de vulnerabilidad
Geometría	(E)	Irregularidad geométrica vertical	15.90%
	(E)	Esquinas entrantes y discontinuidad de diafragma	10.00%
	(E)	Altura de la edificación (pisos)	3.90%
	(E)	Evaluación de la longitud de edificación	1.00%
Diseño Estructural	(E)	Resistencia convencional	5.80%
	(E)	Relación de elementos constructivos	6.60%
	(E)	Tipo de cubierta	3.90%
	(E)	Juntas de dilatación sísmica	2.20%
	(E)	Concentración de masas en nivel	2.20%
Construcción	(E)	Evaluación de principales elementos estructurales	2.20%
	(E)	Material predominante de la edificación	2.20%
	(E)	Aplicación de Norma Técnica	12.90%
	(N)	Estado de conservación y antigüedad de la edificación	6.10%
	(N)	Visualización de características de la edificación	4.40%
Suelo y Entorno	(N)	Componentes que inciden en la vulnerabilidad	3.20%
	(N)	Suelo	10.60%
	(N)	Entorno	6.70%
			100.00%

Conforme a la disposición descrita en la Tabla 23, se realiza una agrupación de las Sub-Variables, definidas según Vulnerabilidad Estructural (E) y Vulnerabilidad No Estructural (N), representada en los métodos del presente estudio para las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec.

Tabla 45 Valoración de los parámetros en la evaluación de Vulnerabilidad Estructural y No estructural

Clasificación de Sub-Variables		Porcentaje
(E)	Vulnerabilidad Estructural	68.90%
(N)	Vulnerabilidad No Estructural	31.10%
Total		100.0%

Teniendo en cuenta los criterios mencionados en la investigación de pregrado “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en los edificios de la Escuela Profesional de Ingeniería Civil de la Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco, distrito



Cusco, 2018”, donde se realizó una clasificación de los parámetros organizados en subvariables para determinar la incidencia de los valores en la Vulnerabilidad Estructural y No Estructural. Por lo tanto, en la presente investigación y en el marco del desarrollo de la evaluación con los tres métodos cualitativos aplicados a las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, se da pie a la comparación porcentual entre la Vulnerabilidad Estructural y Vulnerabilidad No Estructural.

Se concluye que existe mayor incidencia en el índice de vulnerabilidad sísmica estructural en los parámetros que evalúan los métodos cualitativos aplicados a las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, pero la evaluación subjetiva de los parámetros es determinante en la diferencia de los resultados entre los métodos cualitativos y el método cuantitativo aplicado a las edificaciones.

Los parámetros más vulnerables de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec se han obtenido en función a la incidencia del índice de vulnerabilidad sísmica resultante que se presenta en los parámetros relevantes en cada metodología.

Tabla 46 Parámetros más vulnerables en las edificaciones

Método Benedetti- Petrini	Resistencia Convencional	6.48%
	Distancia máxima entre muros y columnas	6.50%
	Tipo de cubierta	67.12%
	Estado de conservación	6.41%
Método FEMA- 154	Altura mediana (4-7 pisos)	23.10%
	Irregularidad en planta	7.60%
	Pre - código	46.20%
	Tipo de suelo	23.10%
Método INDECI	Puerta independiente	9.97%
	Material predominante de la edificación	9.97%
	Antigüedad de la edificación	14.96%
	Tipo de suelo	14.96%
	Juntas de dilatación sísmica son acordes a la estructura	13.06%

En cuanto a la evaluación de distorsiones laterales, se consideraron datos obtenidos mediante ensayos, estrictamente cuantitativos, que nos permitieron conocer las características de los materiales y del suelo en el cual se encuentra la edificación, de modo que mediante el software ETABS se estimaron las distorsiones laterales para



posteriormente clasificarlas de acuerdo a lo establecido en la tabla 17 Nivel de vulnerabilidad sísmica método de cálculo de distorsiones laterales.

La clasificación realizada en la Tabla 17 Nivel de vulnerabilidad sísmica método de cálculo de distorsiones laterales es considerada únicamente para edificaciones que presenten a la albañilería principal sistema estructural.

A pesar de la irregularidad en planta de las edificaciones codificadas de tipo A y D, estas no presentaron valores muy dispersos de desplazamientos y distorsiones en relación a los obtenidos en las edificaciones de configuración regulares, esto se debe a la distribución simétrica de los muros de albañilería del interior de cada edificación, en función a su geometría en planta.



Capítulo V: Discusión

Se desarrolló el levantamiento topográfico con ayuda de un dron para la obtención de orto fotos y pendientes del terreno.

Las metodologías cualitativas desarrolladas en esta investigación fueron seleccionadas considerando aspectos diversos, en primer instante la representación de dos métodos concebidos en un escenario no nacional, y paralelamente el método INDECI, establecido en nuestro país. A modo de comparación, algunos parámetros que evalúan los métodos cualitativos son similares, al analizar los antecedentes de investigaciones precedentes se pudo comprobar que fueron aterrizados por adaptaciones en Normas. Con esta información se infiere que el estudio de la investigación se puede sintetizar textualmente en la evaluación y comprobación del cumplimiento de las Normas Técnicas, composición de una alternativa de evaluación mediante las fichas que se han realizado en esta investigación. Asimismo, cabe indicar que las adaptaciones empleadas para las fichas de recolección de información fueron validadas por autores medio el juicio de expertos.

La norma E.070 indica que de existir irregularidades visibles en las estructuras se debe realizar un análisis de tipo dinámico, por lo cual se procedió a realizar el procedimiento del mismo.

Se estima que el nivel de vulnerabilidad sísmica que representa la población de las 47 edificaciones se encuentra en función a los resultados obtenidos mediante cada metodología cualitativa.

Tabla 47 Vulnerabilidad sísmica métodos cualitativos de las 47 edificaciones

Nivel de vulnerabilidad	Método INDECI	Método Benedetti- Petrini	Método FEMA-154
Muy Alto	5	6	-
Alto	28	31	15
Moderado	14	10	32
Bajo	0	0	0

Se representa porcentualmente el índice de vulnerabilidad sísmica con mayor representatividad por número total de edificaciones según los métodos cualitativos: Benedetti- Petrini, INDECI y FEMA- 154; mientras que los resultados de la evaluación cuantitativa de cálculo de distorsiones se realizaron a 4 edificaciones. Para este último método se ha seleccionado las edificaciones “A-2, B-5, C-7, D-2”, representativas de los cuatro tipos de edificación del Conjunto Habitacional Pachacutec, teniendo en cuenta las consideraciones de acceso al interior de las viviendas y la inspección de las mismas.



Con respecto a los resultados del cálculo de distorsiones laterales representados en el modelo matemático en ETABS, se observa que las distorsiones no exceden a lo especificado en la Norma Técnica Peruana E.030, en la cual indica que el límite máximo de distorsión de entrepiso para edificaciones de albañilería es 0.005.

Tabla 48 Contraste de resultados métodos cualitativos y cuantitativo

Método	INDECI	Benedetti- Petrini	FEMA-154	Cálculo de distorsiones
Vulnerabilidad sísmica	Alto	Alto	Moderado	Bajo
%	59.67%	65.95%	68.08%	100%
Cantidad de edificaciones	28	31	32	4

Existe similitud entre los índices de vulnerabilidad sísmica obtenidos de manera cualitativa; la paridad entre los parámetros de los métodos (INDECI, Benedetti- Petrini y FEMA- 154), permitió identificar que el “Factor Geometría” es más incidente en la obtención del índice de vulnerabilidad sísmica.

Se observa que en la evaluación con el método FEMA- 154, el nivel de vulnerabilidad sísmica de la población en estudio es moderado. En vista que la metodología no exige una calificación del factor Estructura, como si se evalúa en los métodos INDECI y Benedetti-Petrini.

Con respecto a las irregularidades que presentan las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, se observa que:

- Como parte del estudio cuantitativo se menciona que las irregularidades de edificaciones que se han estimado en el procesamiento de información destacan la irregularidad de esquinas entrantes que existe en dos tipos de edificaciones, las cuales destacan por su configuración vista en planta de forma similar a una “CRUZ” y forma en “T”, de donde se obtiene valores que superan en gran proporción al permitido por edificación.
- Se observa uniformidad en la distribución de masas y en la distribución de muros, para poder lograr una simetría en la rigidez lateral de entrepiso de acuerdo a lo que indica la Norma E.070.
- El análisis de las derivas elásticas en el ETABS, se observa que oscilan en un rango de valores entre 0.00008– 0.003, en estudios previos para edificaciones de albañilería armada se comprobó que los resultados son sintonizados en relación a las derivas elásticas obtenidas.



- Las irregularidades estructurales en altura evaluadas en las edificaciones: irregularidad de rigidez- piso blando, irregularidad de resistencia- piso débil, masa o peso, geometría vertical y la discontinuidad en los sistemas resistentes de son regulares.

En vista que la construcción de las edificaciones data del año 1983, la revolución de la construcción del siglo pasado ha resultado en un inventario de edificaciones en deterioro, sin embargo, en el análisis realizado al diseño estructural evaluado en el modelamiento se observa que se encuentran resilientes frente a desplazamientos y peso propio de estas a lo largo de los años, además considerando los valores obtenidos de los desplazamientos máximos de entrepiso y periodos de las estructuras, se comprueba que las edificaciones son rígidas al presentar periodos y desplazamientos bajos.

El análisis realizado de la incidencia de los 33 parámetros contenidos en los 3 métodos cualitativos se consideró una clasificación en función a características similares recolectadas por los parámetros, además se obtuvo los resultados de los parámetros más incidentes de acuerdo la importancia e influencia en el resultado teniendo como referencia la tesis “Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de siete viviendas mediante cuatro metodologías en la ciudad de Bogotá” (Peña, 2015).



Glosario

Albañilería:	Construcción con piedra, ladrillo, cemento, concreto y materiales similares.
Bloque de concreto:	Unidades de albañilería fabricadas con piedra chancada arena gruesa, agua y cemento.
Concreto:	Compuesto de materiales empleados en la construcción, formado por un aglomerante, arena, agua y aditivos específicos.
Conjunto Habitacional:	Agrupación de viviendas de igual área.
Configuración geométrica:	Propiedad que toma en cuenta dimensión y forma geométrica.
Deformación:	Alteración de la forma de un cuerpo, lograda mediante la aplicación de fuerzas sobre él.
Discontinuidad:	Alineamiento irregular del elemento por diferente desplazamiento.
Distorsión:	Relación del desplazamiento de un cuerpo, entre la altura de entrepiso.
Entrepiso:	Distancia que separa horizontalmente los diferentes niveles de una edificación.
Esbeltez:	Relación de la dimensión de la altura y sección de la base
Fisura:	Pequeña abertura que se presenta superficialmente en la edificación.
Grieta o rajadura:	Abertura profunda y de gran dimensión, afecta el espesor del material (ladrillo, cielorraso, losa, etc.).
Incidencia:	Relación de un número identificado de casos en estudio, sobre una población determinada, en un tiempo determinado.
Intensidad de sismo:	Medida cualitativa del efecto de un sismo.
In situ:	Refiere al “sitio y/o lugar” donde se suscita una acción.
Irregularidad:	Discontinuidad de la configuración de la estructura.
Juntas:	Espacio entre dos edificaciones y/o construcciones que permite indistintamente el desplazamiento de una estructura con respecto a otra.
Magnitud sísmica:	Cuantificación numérica que caracteriza el tamaño de un evento sísmico y la energía sísmica que libera.
Masa:	Cantidad de materia que posee un cuerpo.



Período de retorno:	Probabilidad de que ocurra un “evento” determinado en un periodo “determinado”.
Peso:	Medida de la fuerza gravitatoria que actúa sobre un cuerpo.
Resistencia a la compresión:	Propiedad de un elemento a soportar carga, generalmente se expresa en términos de esfuerzo, en unidad de kg/cm ² y MPa y psi.
Tabique:	Representa un muro fijo no estructural que subdivide y/o separa ambientes.
Vulnerabilidad sísmica:	Cuantificación del daño de una estructura frente a un evento sísmico.



Conclusiones

1. Se logró analizar la vulnerabilidad sísmica calculada por medio de tres métodos cualitativos y un método cuantitativo; mediante la realización del análisis exhaustivo se determina que el nivel de vulnerabilidad sísmica estima resultados variables para cada metodología empleada en el presente estudio.
2. Se calcula que el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método BENEDETTI- PETRINI, resultó de nivel alto con un valor del 65.95% de la población total de cuarenta y siete edificaciones en estudio.
3. Se calcula que el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método FEMA 154, resultó de nivel medio con un valor del 68.08% de la población total de cuarenta y siete edificaciones en estudio.
4. Se calcula que el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método INDECI, resultó de nivel alto con un valor del 59.67% de la población total de cuarenta y siete edificaciones en estudio.
5. Se calcula que el índice de vulnerabilidad sísmica de las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec, del distrito de Wanchaq, ciudad del Cusco, Perú, mediante la evaluación del método DISTORSIONES LATERALES, puesto resultó de nivel bajo.
6. Como detalla la el grafico de la importancia de los factores que inciden en la vulnerabilidad sísmica; el método Benedetti-Petrini, enfatiza y otorga una mayor importancia al Factor Estructura; del mismo modo el método FEMA 154 enfatiza sobre el Factor Geometría, mientras que el método de INDECI destaca en el Factor Construcción.
7. En el análisis de la importancia de las subvariables en los tres métodos cualitativos, se observa que en los tres métodos cualitativos para la obtención de la vulnerabilidad sísmica en las edificaciones aplicados en la presente investigación, la Irregularidad Geométrica Vertical y la aplicación de las Normas Técnicas tienen un peso significativo en los tres métodos cualitativos evaluados



para la obtención de la vulnerabilidad sísmica de esta investigación, con un porcentaje de 16.00% y 13.00% respectivamente.

8. En el análisis de los parámetros más vulnerables en las edificaciones del Conjunto Habitacional Pachacutec diferenciados por los 3 métodos cualitativos aplicados, donde se concluye que en el método INDECI, el parámetro más representativo está determinado por la “Antigüedad de la edificación” y “Tipo de suelo”, mientras que para el método FEMA- 154, considera el “Pre- código” o Norma Técnica empleada durante su construcción según el año de su última modificación; y finalmente en el método Benedetti-Petrini, considera el “Tipo de cubierta” de la edificación, según las clasificaciones presentadas en el marco del método se desarrollaron cada una con sus respectivos valores; dicho esto se tomaron en consideración los parámetros que aumentaron la vulnerabilidad sísmica correspondiente a cada edificación.
9. De acuerdo al análisis realizado para el procedimiento de obtención del índice de vulnerabilidad se llegó a la conclusión de que los métodos cualitativos se adoptan de mejor manera a viviendas y/o edificaciones que presenten una mayor susceptibilidad en elementos no estructurales.



Recomendaciones

1. Al analizar las metodologías cualitativas para calcular la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones y demostrando su similitud en el resultado final, se recomienda que se hagan estudios e investigaciones para edificaciones con características similares en la región del Cusco.
2. Tomando en cuenta esta investigación, se recomienda aplicar la metodología de Benedetti-Petrini para estudios de futuras investigaciones para el cálculo de la vulnerabilidad sísmica, porque esta metodología evalúa de forma específica parámetros de diseño y construcción de las mismas; y dando primordial importancia a edificaciones con antigüedad identificable en vista que éstas no fueron constituidas con las Normas actuales.
3. Se recomienda a la Municipalidad Distrital de Wanchaq promover la prevención ante posibles eventos sísmicos a toda la ciudadanía residente, en vista que no se presencia señalizaciones de zona segura, y zona segura en pisos en toda el área de la población en estudio y lograr elaborar un plan de evacuación para caso de un evento sísmico.
4. Se recomienda la aplicación del método cuantitativo para el estudio en edificaciones que no presenten vulnerabilidad no estructural significativa.
5. El ensayo de penetración estándar (SPT), realizado en el Conjunto Habitacional Pachacutec del distrito de Wanchaq de la ciudad del Cusco, es sustento para el estudio e investigación de estudios posteriores que se fundamenten en el análisis de la determinación y consistencia del tipo de suelo en la zona.
6. Para investigaciones con perfil similar a la presente investigación, se recomienda realizar estudios de caso convergentes a la metodología cuantitativa, de modo que el nivel de confiabilidad y seguridad del resultado obtenido sea trascendental.
7. En el marco paralelo de la investigación, consideramos muy importante que autoridades correspondientes a la zona en estudio y propietarios de las mismas, puedan llevar a cabo un sistema integrado de prevención para un posible futuro evento sísmico.



Referencias

- Abanto Valdivia, S., & Cardenas Cruz, D. (2015). *Determinación de la vulnerabilidad sísmica aplicando el método de Benedetti- Petrini en las Instituciones Educativas del Centro Histórico de Trujillo, Provincia de Trujillo, Región La Libertad*. Trujillo, Perú.
- Alarcón, C. (Junio de 2018). *Conocimiento en todo y para todos*. Obtenido de <https://www.ecured.cu/Alba%C3%B1iler%C3%ADa>
- Alvarez, J., & Pulgar, X. (2019). *Análisis de vulnerabilidad sísmica de los módulos escolares públicos en el distrito de Villa María del Triunfo mediante el método Índice de Vulnerabilidad (Fema p-154) y su validación mediante cálculo de distorsiones laterales*. Lima: UPC.
- Angulo, J. (2014). *Proceso Constructivo en Albañilería Armada*. Cusco: Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.
- Arteaga Mora, P. A. (2016). *Estudio de Vulnerabilidad Sísmica, Rehabilitacion y Evaluación del Índice de daño de una edificación perteneciente al patrimonio central edificado en la ciudad de Cuenca- Ecuador*. Ecuador: Universidad de Cuenca.
- Barbat, H. (1998). *El riesgo sísmico en el Diseño de Edificios*. Madrid, España: Calidad Siderúrgica.
- Benavente, C., Delgado, F., & Taipe, E. (2013). Neotectónica y Peligro Sísmico en la región del Cusco. (*Serie C*), *Boletín N°55*. Cusco, Perú: INGEMMET.
- Benedetti-Petrini, M. (1984).
- Boni, M. P. (5 de Abril de 2017). *SEISMIC VULNERABILITY*:. (Dipartimento di Ingegneria Civile e Ambientale, Intérprete) Milan, Italia.
- Castañeda, R., Porras, P., Vasquez, J., Jimenez, R., & Sanchez, E. (2016). *Albañilería e el Perú*. Pimentel: UCV.
- CERESIS. (1985). Programa para la mitigación de los efectos de los terremotos en la región andina. *Centro Regional de Sismología para América del Sur*.
- Ciencia UANL. (Febrero de 2018). *Revista de divulgación científica y tecnológica de la Universidad Autónoma de Nuevo León*. Obtenido de <http://cienciauanl.uanl.mx/?p=7477>
- Criollo Paucar, J. A., & Santisteban Jacinto, A. G. (2018). *Vulnerabilidad Sísmica aplicando Índices de Vulnerabilidad (Benedetti-Petrini) en la ciudad de San José, distrito de San José, provincia Lambayeque, departamento Lambayeque*. LAMBAYEQUE: Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo.
- E.030 Diseño Sismoresistente, M. d. (2019).
- E.050 Norma de Suelos y Cimentaciones, M. d. (2018).
- E.070 Albañilería, M. d. (2006).



- Feedback Networks. (2013). *Calcular muestra correcta*. Obtenido de Feedback Networks: <https://www.feedbacknetworks.com/cas/experiencia/sol-preguntarcalcular.html>
- FEMA, M. p. (1988).
- Fernández, C. (2004). *Estudio del mapa de peligros de la ciudad del Cusco*. Cusco: INDECI.
- Galdos Román, G., & Núñez Esquivel, R. (2020). *Evaluacion de Vulnerabilidad simica en edificios de la Escuela Profesional de Ingenieria de la Univrsidad San Antonion Abad del Cusco, distrito Cusco, 2018*. Cusco.
- García, J. R. (2009). “Evaluación de la fragilidad basada en distorsión lateral para muros de mampostería confinada”. *Revista de Ingeniería Sísmica - Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo*.
- Hernandez Avila, M. A. (2016). *Vulnerabilidad sísmica de edificios del campus Mocambo de la Universidad Veracruzana*. Boca del Río, Veracruz.
- Hernández Sampieri, R., Fernández Collado, C., & Baptista Lucio, P. (2014). *Metología de la Investigación*. Mexico: McGrawHill.
- Huaco Cárdenas, G. D. (2005). Lima.
- Huaco Cárdenas, G. D. (2005). *Comportamiento de una edificación de albañilería construido con ladrillo artesanal frente a cargas laterales*.
- INDECI. (2010). Determinación de la vulnerabilidad de la vivienda para caso de sismo. *Plan Nacional de Prevención por Sismos 2010*. Lima, Lima, Perú: Instituto Nacional de Defensa Civil.
- Instituto Geofísico del Perú (IGP). (2011). *Mapa de Peligro Sísmico para el Perú*. Lima.
- Instituto Nacional de Defensa Civil. (2015). *Escenario de riesgo sísmico y movimiento en masa producido por la reactivación de la falla Tambomachay, provincia de Cusco*. Cusco.
- López, A. Á. (2017). Migración de fuentes sísmicas a lo largo del cinturón de fuego del Pacífico. *Revista de Ciencias de la Vida*, 25(1), 5-15.
- Mamani, E. Y. (Febrero de 2020). Vulnerabilidad sísmica. (F. Á. Martínez Mora, Entrevistador)
- Medina , J., & Pimichumo , C. (s.f.). *Vulnerabilidad sísmica de la ciudad de Monsefu aplicando los índices de Benedetti – Petrini*. Universidad Nacional, Monsefu.
- Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima, Perú: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.
- Mozo Barrantes, K. D., & Salinas Villena, C. M. (2020). *Análisis del riesgo sísmico de las viviendas de la APV Cachimayo-San Sebastián- Cusco*. Cusco: Universidad Andina del Cusco.



- Municipalidad Provincial del Cusco. (2013). PLAN DE DESARROLLO URBANO DE LA PROVINCIA DE CUSCO 2013-2023. *REGLAMENTO DEL PLAN DE DESARROLLO URBANO DE LA PROVINCIA DE CUSCO 2013-2023*. Cusco, Cusco, Perú.
- Murillo, S. (2014). *El papel del conocimiento experto en las políticas públicas de igualdad en España*. Barcelona.
- Olarte, J., Julca, J., & Orbegoso, E. (2015). Evaluación del Riesgo en el Cnetro Historico de la Ciudad de Chiclayo.
- OPS. (2004). Fundamentos para la mitigación de desastres en establecimientos de salud. *Organización Panamericana de la Salud*, Washington, D.C.
- Peña, E. L. (2015). “*Determinación del índice de vulnerabilidad sísmica de siete viviendas mediante cuatro metodologías en la ciudad de Bogotá*”. Universidad Piloto de Colombia .
- Rene, H. N. (2014). *Incidencia de la relación tradición-modernidad en la protección y conservación del Centro Histórico de la ciudad del Cusco*. Lima : Universidad Nacional de Ingeniería.
- Reyes, Y. L. (2019). Vulnerabilidad sísmica de viviendas unifamiliares mediante los índices de Benedetti – Petrini en la Asociación Los Libertadores – Huancayo – Junín. Huancayo , Perú: Universidad Peruana de los Andes.
- Rowe, J. H. (1990). El plano más antiguo del Cuzco: dos parroquias de la ciudad vistas en 1643. Histórica.
- San Bartolomé R., Á. (1994). *Construcciones de Albañilería: Comportamiento Sísmico y Diseño Estructural*. Lima: Pontifica Universidad Católica del Perú.
- Selltiz, C. (1980). *Métodos de la investigación en relaciones sociales*. Madrid: Rialp.
- SENCICO. (2005). *Comentarios sobre la norma tecnica de edificaciones E 0.70*. Lima: SENCICO.
- SIGRID. (2004). *Mapa de peligros de la ciudad del Cusco*. Cusco.
- Soto, E. (2018). “*Comparación de los métodos FEMA 154, Hirosawa y Demanda-Resistencia para evaluar la vulnerabilidad sísmica en una infraestructura educativa- Baños del Inca*”. Cajamarca: Universidad Privada del Norte.
- Souza, E. (21 de Noviembre de 2020). *Ventajas y características de la mampostería estructural*.
- Tavera, H., & Buforn, E. (1998). Sismicidad y sismotectónica de Perú.
- Toro, M. (2015). Conjunto Habitacionales. Chuquisaca, Bolivia: Universidad Mayor Real y Pontificia de San Francisco Xavier de Chuquisaca.
- Vidal, F. (1994). *Los terremotos y sus causas*. Instituto de Andaluz de Geofísica y Prevención de desastres sísmicos.



- Vizconde, A. (2004). *Evaluación de la Vulnerabilidad sísmica de un edificio existente: Clínica San Miguel-Piura*. Piura: Universidad de Piura.
- Yépez, F., Barbat, A., & Canas, J. (1995). *Simulación de escenarios de daño para estudios de riesgo sísmico*. España: CIMNE.
- Zelaya, A. (2007). *Estudio sobre diseño sísmico en construcciones de adobe y su incidencia en la reducción de desastres*. Lima.