



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**METODOLOGÍA APLICABLE PARA EL ANÁLISIS Y DETERMINACIÓN DE
VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES PATRIMONIALES DEL
CANTÓN AZOGUES**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: FRANCISCO JAVIER VAZQUEZ VIVANCO

DIRECTOR: ING. DIEGO JAVIER NAREA CHUMBI MSc

AZOGUES - ECUADOR

2021

*Yo me gradué en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*



UNIVERSIDAD CATÓLICA DE CUENCA

Comunidad Educativa al Servicio del Pueblo

**UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA,
INDUSTRIA Y CONSTRUCCIÓN**

CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL
TÍTULO DE INGENIERO CIVIL**

AUTOR: FRANCISCO JAVIER VAZQUEZ VIVANCO

DIRECTOR: ING. DIEGO JAVIER NAREA CHUMBI MSc

AZOGUES - ECUADOR

2021

*Yo me gradúe en
los 50 años de La Cato!
... y sostuve la Universidad*

APROBACIÓN DEL TUTOR

En calidad de tutor del trabajo de titulación, presentado por el Sr. Francisco Javier Vazquez Vivanco para optar por el título de INGENIERO CIVIL, doy fe que dicho trabajo reúne los requisitos y méritos suficientes para ser sometido a presentación pública y evaluación por parte del jurado examinador que se designe.

En la ciudad de Azogues, a los 29 días del mes de marzo de 2021.



Firmado electrónicamente por:
**DIEGO JAVIER
NAREA CHUMBI**

Ing. Diego Javier Narea Chumbi, Mgs.

**DOCENTE DE LA UNIDAD ACADÉMICA DE INGENIERÍA INDUSTRIA Y
CONSTRUCCIÓN - CARRERA DE INGENIERÍA CIVIL**

CI: 0103654182

CERTIFICADO DE AUTORÍA

El presente trabajo investigativo de proyecto profesional de grado previo a la obtención del título de Ingeniero Civil, cuyo tema es “Metodología aplicable para el análisis y determinación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones patrimoniales del cantón Azogues”, corresponden al trabajo de investigación del autor, certificando que se cumplió con todas las observaciones realizadas por el tribunal evaluador.



Francisco Javier Vazquez Vivanco

ESTUDIANTE

CI: 0107205247

Agradecimiento

El presente trabajo de titulación va dedicado en primer lugar a Dios, quien como guía estuvo presente en el caminar de mi vida y es el pilar fundamental de la misma, dándome fuerzas para continuar con mis metas trazadas sin desfallecer. A mis padres que, con apoyo incondicional, amor y confianza permitieron que logre culminar mi carrera profesional y a mi pareja que estuvo conmigo apoyándome en todo el trayecto de la etapa universitaria.

Quiero expresar también mi más sincero agradecimiento a mi docente tutor, Ing. Diego Narea, por su profesionalismo, su paciencia, dedicación y principalmente por actuar como mediador, para la realización de esta investigación; a la Ilustre Municipalidad de Azogues por su colaboración en este proyecto.

Dedicatoria

*A mi padre, que con todas sus enseñanzas hizo de mi una persona honesta y responsable,
a mi madre por enseñarme que la perseverancia y el trabajo duro tienen su recompensa
y a mi tío José que siempre me dio su apoyo en todo este camino.*

RESUMEN

El presente trabajo realiza un estudio de algunas de las metodologías, reconocidas por la comunidad científica, aplicables al tratamiento y valoración de vulnerabilidad sísmica e índice de daño en estructuras. Posteriormente se seleccionó una de dichas metodologías, en el ámbito referente a la vulnerabilidad sísmica, se optó por utilizar el formulario evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones (EVSE) establecido en la guía 5 de la Norma Ecuatoriana de la construcción para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras; y con respecto al índice de daño la metodología empleada en la propuesta por Cardona & Hurtado. Ambos métodos son aplicables a edificaciones patrimoniales, en este caso, pertenecientes al cantón Azogues, mismas que siendo prácticos en su aplicación, emplean la información que comúnmente se encuentra disponible en nuestro medio, obteniendo una concepción clara de los daños esperados en las estructuras patrimoniales frente a una actividad sísmica.

Para evidenciar la manera de trabajar con las metodologías EVSE y el método de Cardona & Hurtado, se aplicaron las mismas sobre una edificación patrimonial denominada "Casa Hacienda Cojitambo". Para obtener la información necesaria sobre dicha edificación patrimonial se contó con el apoyo del GAD Municipal de Azogues.

Las metodologías presentadas en esta investigación, son unas cuantas de todas las desarrolladas en el mundo, pero se debe recalcar que es poco probable que se pueda componer un método único y general que abarque todos los requisitos de las diversas metodologías de vulnerabilidad sísmica e índice de daño. Sin embargo, las metodologías seleccionadas, permiten conocer de forma global el efecto que se podría esperar sobre una edificación frente a un evento sísmico, lo cual es de gran utilidad para establecer un plan de gestión referente a dicho inmueble.

Palabras claves: Vulnerabilidad Sísmica, Patrimonio, Índice de daño, Ductilidad.

ABSTRACT

The present work makes a study of some of the methodologies, recognized by the scientific community, applicable to the treatment and assessment of seismic vulnerability and damage index in structures. Subsequently, one of these methodologies was selected. In the area of seismic vulnerability, we chose to use the Rapid Visual Evaluation of Seismic Vulnerability of Buildings (RVSE) form established in Guide 5 of the Ecuadorian Construction Standard for Seismic Evaluation and Rehabilitation of Structures; and regarding the damage index, the methodology used in the one proposed by Cardona & Hurtado. Both methods apply to heritage buildings, in this case, belonging to the Azogues canton, being practical in their application, using the information commonly available in our environment, obtaining a clear conception of the expected damages in heritage structures in the face of seismic activity.

In order to demonstrate how to work with the RVSE methodologies and the Cardona & Hurtado method, they were applied to a heritage building called "Casa Hacienda Cojitambo". To obtain the necessary information about this heritage building, we had the support of the Municipal Government of Azogues.

The methodologies presented in this research are a few of those developed in the world, but it should be emphasized that it is unlikely that a single and general method can be composed that covers all the requirements of the various methodologies of seismic vulnerability and damage index. However, the selected methodologies allow knowing globally the effect that could be expected on a building in case of a seismic event, which is very useful to establish a management plan for such a building.

Keywords: seismic vulnerability, heritage, damage index, ductility

Tabla de contenido

Agradecimiento

Dedicatoria

Resumen

Abstract

1. Introducción.....	1
1.1. Antecedentes.....	3
1.2. Justificación.....	4
1.3. Objetivos.....	5
1.3.1. Objetivo General.....	5
1.3.2. Objetivo Especifico	5
2. Marco Teórico	6
2.1. Terremotos o sismos	6
2.1.1. Hipocentro y Epicentro.....	6
2.1.2. Origen de un sismo	7
2.2. Medición de los sismos.....	8
2.2.1. Medición analítica: Escala de Richter	8
2.2.2. Medición analítica: Magnitud de momento, Mw	9
2.2.3. Metodología subjetiva: Clasificaciones (EMS-98).....	9
2.2.4. Relación entre intensidad, PGA y PGV.....	11
2.3. ShakeMaps.....	11
2.4. Ductilidad	12
2.5. Histéresis	12
2.6. Funciones de Fragilidad.....	12
2.7. Curvas de capacidad	13
2.9. Vulnerabilidad sísmica	15
2.9.1. Vulnerabilidad sísmica por origen.....	15
2.9.2. Vulnerabilidad sísmica progresiva	15
2.10. Clasificación del daño	16
2.10.1. Índice de daño.....	17
2.11. Amenaza Sísmica – Nacional	17

2.11.1. Historia sísmica del Ecuador	20
2.11.2. Fallas geológicas en el Ecuador.....	21
2.11.3. Falla de Girón	22
2.12. Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC)	22
2.12.1. Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras	23
2.12.2. Tipos de sismos según la NEC	23
2.12.3. Tipo de suelo según la NEC	24
3. Caracterización de la zona de estudio.....	26
3.1. Descripción de la zona.....	26
3.2. Patrimonio de la ciudad de Azogues	28
3.3. Componentes de las edificaciones Patrimoniales	33
3.3.1. Fachada.....	34
3.3.2. Cubierta	37
3.3.3. Estructura.....	38
3.3.4. Muros.....	39
3.3.5. Cimentaciones	40
3.4. Materiales de construcción en edificaciones patrimoniales	41
3.4.1. Adobe.....	41
3.4.2. Bahareque	44
3.4.3. Madera	44
3.4.4. Roca.....	45
3.4.5. Ladrillo	46
3.4.6. Mortero	48
3.5. Sismicidad en la Ciudad de Azogues	49
3.5.1. Propiedades del suelo de la zona	54
3.5.2. Formación Guapán (Mg)	54
3.5.3. Formación Azogues (Maz)	56
3.5.4. Formación Biblián	58
3.6. Clasificación del tipo de suelo según la NEC.....	60
3.7. Fallas geológicas de la zona	61
3.7.1. Falla Cojitambo	61
3.7.2. Falla Peltetec.....	61
3.8. Descripción de edificación patrimonial seleccionada	62
4. Metodología para determinar la Vulnerabilidad Sísmica y el Índice de Daño.....	71

4.1. Métodos analíticos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una edificación	71
4.1.1. Metodología Hazus.....	73
4.1.2. Método NSR-10.....	74
4.1.3. Método FEMA 178.....	75
4.1.4. Método ATC-14	75
4.1.5. Método basado en desplazamiento	76
4.2. Métodos cualitativos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una edificación....	77
4.2.1. Método de evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones (EVSE).....	78
4.2.2. Método del índice de Vulnerabilidad o Método Italiano.....	80
4.2.3. Escala macro sísmica europea EMS-98 (1998).....	81
4.2.4. Metodología macrosísmica de Giovinazzi y Lagomarsino	82
4.3. Índice de Daño.....	82
4.3.1. Tipos de Índice de Daño	84
4.3.2. Métodos para evaluar el índice de daño localizado de una estructura.....	85
4.3.3. Métodos para evaluar el índice de daño global de una estructura	87
4.4. Análisis de las metodologías	88
4.4.1. Análisis de métodos referentes a vulnerabilidad sísmica	89
4.4.2. Análisis de métodos referentes al índice de daño.....	94
4.5. Selección de la metodología aplicable.....	97
4.6. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica	100
4.6.1. Evaluación del índice de daño del bloque 1	102
4.6.2. Evaluación del índice de daño del bloque 2	106
4.7. Índice de daño para diferentes intensidades	110
5. Análisis de resultados	113
5.1. Vulnerabilidad sísmica valorada por la metodología de evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con NEC 2015	113
5.2. Índice de Daño.....	114
6. Conclusiones y Recomendaciones.....	116
6.1. Conclusiones.....	116
6.2. Recomendaciones	119
Referencias Bibliográficas.....	121
Anexos.....	127

Índice de Figuras

Figura 1. Distribución superficial de las placas Litosféricas.....	8
Figura 2. Mapa de intensidades del sismo del 16 de abril de 2016. Actualización del mapa presentado en el informe especial N°18.	18
Figura 3. Intensidades Sísmicas del Ecuador.	19
Figura 4. Composición de la NEC.....	23
Figura 5. Distribución de las formaciones geológicas del cantón de Azogues	27
Figura 6. Catedral de la ciudad de Azogues.	30
Figura 7. Establecimiento del Servicio de Rentas Internas de la ciudad de Azogues	30
Figura 8. Dirección Distrital de la ciudad de Azogues.....	31
Figura 9. Conjunto Urbano Patrimonial de la ciudad de Azogues.	31
Figura 10. Banco Nacional de Fomento de la ciudad de Azogues.	32
Figura 11. Distribución de edificaciones patrimoniales en la ciudad de Azogues.	33
Figura 12. Edificación de la ciudad de Azogues con fachada principal de portal.....	34
Figura 13. Tipo de fachada con volumen cerrado y portal en la parte superior frontal .	35
Figura 14. Edificación de la ciudad de Azogues de facha principal con volúmenes cerrados.....	36
Figura 15. Santuario de la Virgen de la Nube.	37
Figura 16. Cubierta típica de viviendas patrimoniales.	38
Figura 17. Armazón de madera de edificaciones de la Época Republicana.	39
Figura 18. Muro con bloques de Adobe.	40
Figura 19. Corte en elevación de estructura Adobe-Madera.	41
Figura 20. Curva de distribución granulométrica óptima para adobes.....	42
Figura 21. Construcción de bahareque en malas condiciones.	44
Figura 22. Escenarios de vulnerabilidad sísmica según GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO.....	53
Figura 23. Fallas geológicas presentes en la provincia del Cañar.	62
Figura 24. Ubicación específica de Casa-Hacienda Cojitambo	64
Figura 25. Casa Hacienda Cojitambo bloque 1	66
Figura 26. Casa Hacienda Cojitambo bloque 2	66
Figura 27. Modelado 3D de Casa-Hacienda Cojitambo.....	69

Figura 28. Estado estructural del bloque1 Casa-Hacienda Cojitambo.	69
Figura 29. Estado estructural del bloque 2 primera planta Casa-Hacienda Cojitambo..	70
Figura 30. Estado estructural del bloque 2 segunda planta Casa-Hacienda Cojitambo.	70
Figura 31. Curva de histéresis esfuerzo-deformación de un elemento estructural.	72
Figura 32. Estructura resumen del método Hazus	74
Figura 33. Formulario de evaluación sísmica de la metodología italiana.	80
Figura 34. Representación gráfica de la vulnerabilidad sísmica en la Casa-Hacienda bajo la metodología EVSE	114
Figura 35. Representación del índice de daño de la Casa-Hacienda para la aceleración en roca propia del cantón Azogues establecido por la NEC	115
Figura 36. Representación del índice de daño de la Casa-Hacienda para la menor aceleración en roca establecida por la NEC	115

Índice de tablas

Tabla 1. Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) resumida	10
Tabla 2. Relación de intensidad, PGA y PGV	11
Tabla 3. Clasificación del Daño a Edificios de Mampostería no reforzada.	16
Tabla 4. Tipos de sismos según la NEC	24
Tabla 5. Perfiles de suelo según la NEC.	24
Tabla 6. Propiedades de la albañilería de adobe en la ciudad de Cuenca.....	43
Tabla 7. Propiedades Mecánicas de la Madera típica usada en las edificaciones	45
Tabla 8. Propiedades físico-mecánicas de la lutita y andesita.....	46
Tabla 9. Propiedades mecánicas de Ladrillos.....	48
Tabla 10. Propiedades mecánicas de mortero de adobe de la ciudad de Cuenca.....	49
Tabla 11. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones en la ciudad de Azogues por el método de Giovinazzi y Lagomarsino.....	51
Tabla 12. Valores estimados a partir de las características físicas del tipo de suelo en la formación Guapán	55
Tabla 13. Valores estimados a partir de las características físicas del tipo de suelo en la formación Azogues.....	58
Tabla 14. Propiedades físico-mecánicas de la formación Biblián.....	59
Tabla 15. Áreas de la Casa-Hacienda Cojitambo	64
Tabla 16. Formulario evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones.	79
Tabla 17. Clases de Vulnerabilidad según tipología estructural – EMS-98.....	81
Tabla 18. Parámetros de análisis para la calificación de las metodologías de vulnerabilidad sísmica.	90
Tabla 19. Calificación de las diferentes metodologías en función de los parámetros considerados	92
Tabla 20. Parámetros de análisis para la calificación de las metodologías de índices de daño.	94
Tabla 21. Calificación de las diferentes metodologías en función de los parámetros considerados	95
Tabla 22. Análisis de irregularidades en elevación en el bloque 2.....	101
Tabla 23. Longitud de los muros de adobe en dirección (x, y), y peso propio del bloque 1.	102

Tabla 24. Cargas sobreimpuestas y vivas en el bloque 1	104
Tabla 25. Análisis del bloque 1 en base a la información de campo.....	105
Tabla 26. Desarrollo de la metodología de Cardona & Hurtado para el índice de vulnerabilidad en el bloque 1 de la Casa-Hacienda.....	105
Tabla 27. Longitud de los muros de adobe en dirección (x,y), y peso propio del bloque 2	106
Tabla 28. Cargas sobreimpuestas y vivas en el bloque 2	108
Tabla 29. Análisis del bloque 2 en base a la información de campo.....	109
Tabla 30. Desarrollo de la metodología de Cardona & Hurtado para el índice de vulnerabilidad en el bloque 2 de la Casa-Hacienda.....	109
Tabla 31. Cálculo de la demanda de ductilidad para una aceleración en roca baja en el bloque 1 de la Casa – Hacienda.....	110
Tabla 32. Cálculo de la demanda de ductilidad para una aceleración en roca baja en el bloque 2 de la Casa – Hacienda.....	111
Tabla 33. Categorización del índice de vulnerabilidad en función de la demanda de ductilidad.	112

1. Introducción

La población que habita y realiza diversas actividades dentro de las zonas en las que se emplazan edificaciones patrimoniales tienden a estar expuestos a una amenaza constante en el caso que ocurra un evento sísmico en dichas zonas. Un gran número de las construcciones antiguas de orden patrimonial pertenecientes al cantón Azogues deben ser intervenidas por algún tipo de rehabilitación. Sin embargo, su carácter de patrimonio hace que este proceso de rehabilitación implique una mayor demanda de trabajo y recursos tanto en la fase de estudios como en la de ejecución en obra, por ejemplo, para una rehabilitación se debe procurar mantener las características morfológicas y la tipología arquitectónica, la materialidad e integración con el entorno al que pertenece.

Con el fin de preservar el valor patrimonial edificado, en el Ecuador, se hace presente en su “Código Orgánico Integral Penal”, COIP, una penalización con una condena de la privación de libertad al ciudadano(s) involucrados en la demolición o alteración de la cultura patrimonial, con uno a tres años de prisión, sin tomar en cuenta la potestad real que tenga sobre ellos.

Las edificaciones patrimoniales construidas en Ecuador antes y durante la época Colonial la cual empieza en 1557 y finaliza en el año 2001 dando inicio a la época Moderna, no fueron concebidas bajo criterios técnicos adecuados, debido a que el primer código de construcción en Ecuador fue publicado en el año 1977. En el transcurso de los años 1985 al 2000, se suscitaron varios eventos telúricos importantes en todo el mundo, lo que promovió a diversos científicos a investigar más a fondo dicho fenómeno para mitigar sus efectos sobre las estructuras, es por ello que en el año 2001 se implementó en la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC) requisitos más exigentes de diseño sismorresistente, con esto se puede afirmar que toda construcción originada antes de la

publicación de dicho código no tiene las características adecuadas para soportar sismos de cierta magnitud.

Los eventos sísmicos han demostrado que ciertas edificaciones construidas sin ninguna supervisión de profesionales o la inadecuada adaptación de los códigos de construcción de los diferentes países, presentan una vulnerabilidad sísmica que debe tomarse en consideración. Para poder mitigar las pérdidas y daños producidos, estas construcciones deben contemplar reforzamientos estructurales.

La importancia de tener en cuenta parámetros sísmicos en todo proyecto a edificar es de vital importancia para preservar primordialmente la vida y luego los bienes materiales, ya que muchas de las veces las pérdidas económicas son excesivas y es algo que se debe considerar dentro de un diseño sismorresistente. Las metodologías empíricas de construcción y la negligencia de los profesionales que llevan a cabo esta labor puede provocar consecuencias graves e irremediables, tal es el caso de lo suscitado el 16 de abril de 2016, en todo el territorio ecuatoriano, ocurrió un movimiento del suelo importante de magnitud 7.8 Mw, debido al producto de la subducción de la placa de Nazca con la placa Sudamericana que es la causa inicial de los movimientos telúricos en Ecuador, teniendo como resultado una cifra de 761 personas fallecidas.

El presente estudio pretende analizar las metodologías existentes y probadas, para aplicar una evaluación de vulnerabilidad sísmica en estructuras, seleccionando la más adecuada para el caso de inmuebles patrimoniales en el cantón Azogues, y finalmente exponer su aplicación en una edificación patrimonial. Con la finalidad de ejemplificar la aplicación de dicha metodología se contará con la colaboración del GAD Municipal de Azogues, para poder acceder a la información de un inmueble patrimonial, a través de lo cual se expondrá su condición actual y se evaluará la vulnerabilidad que presenta frente a un evento sísmico que es factible que ocurra.

Este tipo de estudios sobre la vulnerabilidad de edificaciones frente a eventos sísmicos son útiles para realizar una propuesta de intervenciones que conlleven a un plan de actuación sobre dicha estructura con la finalidad de que no afecten el valor histórico de la construcción, y de esa manera identificar el comportamiento estructural sismorresistente idóneo acorde con la funcionalidad que se prevea para dicha edificación.

1.1. Antecedentes

Durante el pasar de los años la humanidad ha presenciado severos acontecimientos catastróficos producto de los eventos sísmicos, provocando principalmente el colapso de muchas edificaciones y como consecuencia de ellos cobrando la vida de varios seres humanos. Los estudios que hoy en día existen acerca de la vulnerabilidad sísmica no hubiesen sido posible sin que la humanidad no hubiera presenciado lo peligroso que puede llegar a ser este fenómeno. Los primeros estudios referentes a la vulnerabilidad sísmica en estructuras tienen su origen en las llamadas técnicas de screening durante los años 1960 y 1970. Estas técnicas se basan en el principio de determinar la resistencia de la edificación por aproximaciones, con el fin de cuantificar la capacidad de una estructura existente ante cargas monotónicas. Varias de estas metodologías publicadas en este transcurso fueron el pilar base para el desarrollo de estructuras sismorresistentes, principalmente en el ámbito de estimaciones de ductilidad y control de desplazamientos laterales en una edificación.

Antiguamente en muchas partes del mundo se aprovechaba el recurso natural que es la tierra para levantar edificaciones, al ser de fácil obtención y muy dócil en la construcción. La historia relata que muchas civilizaciones hacían de este recurso como el más importante en la parte constructiva, tal es el ejemplo de ciudades como Jericó, Catal, Huyuk ubicados en el sureste de Europa en Turquía, Harappa en Pakistán o Duheros en

España, entre otras; se narra que sus estructuras fueron totalmente de barro (Yamín, Eduardo, Bernal, Camilo, Reyes, Carlos, & Ruiz, Daniel, 2007).

El Ecuador es un país que goza de un gran valor patrimonial arquitectónico, repartido en la mayoría de provincias a lo largo del país, y es el mismo gobierno el que trata de preservar este valor histórico heredado por los antepasados.

1.2. Justificación

En base a estudios desempeñados por el Ministerio de Cultura y Patrimonio el 30% de la población ecuatoriana habita en edificaciones patrimoniales, al ser viviendas que no garantizan la seguridad de sus moradores el estado está constantemente interviniendo en la rehabilitación de dichos bienes inmuebles. La peligrosidad y las consecuencias que estas edificaciones pueden generar al no ser intervenidas a tiempo, puede cobrar vidas humanas. Es por ello que se ha decidido tomar acciones mediante este trabajo de titulación, seleccionado un bien patrimonial municipal, para identificar las deficiencias que tiene este frente a la acción sísmica, que como bien se sabe el cantón Azogues al igual que todo el país está bajo una constante actividad sísmica, afectando principalmente las edificaciones patrimoniales debido a la falta de criterios técnicos que se desarrollaban en los proyectos de aquel entonces.

El riesgo sísmico es el parámetro principal que valora las consecuencias que las infraestructuras pueden producir en la sociedad. La vulnerabilidad sísmica es una parte esencial que conforma el riesgo sísmico, y que debe ser cuantificada mediante metodologías que se han compatibles con las diversas características tanto de la zona como de la construcción, tratando de representar de forma aproximada las condiciones reales de la edificación, teniendo en cuenta principalmente el uso que se le ha otorgado, para posteriormente proporcionar un criterio técnico, y si requiere de alguna intervención o en el peor de los casos su demolición.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

Definir una metodología aplicable para el análisis y determinación de la vulnerabilidad sísmica y evaluación del índice de daño. Esto se lo hará mediante la indagación de métodos válidos actualmente vigentes, que permita identificar el estado de vulnerabilidad sísmica de una edificación perteneciente al patrimonio del cantón Azogues.

1.3.2. Objetivo Especifico

- Establecer los principales elementos que intervienen en un análisis de vulnerabilidad de edificaciones frente a acciones sísmicas.
- Conocer los principales enfoques existentes para realizar un análisis de vulnerabilidad de edificaciones frente a acciones sísmicas.
- Elegir qué tipo de enfoques son aplicables al caso de las edificaciones patrimoniales del cantón de Azogues.
- Exponer un ejemplo de aplicación de la metodología seleccionada.

2. Marco Teórico

En esta parte del trabajo de titulación se establecerá definiciones básicas necesarias para el desarrollo de la investigación, partiendo desde lo que es un terremoto, la metodología utilizada para medir tanto su magnitud e intensidad, las principales causas para sismos en el Ecuador, y finalmente definiendo el concepto fundamental de este proyecto que es la vulnerabilidad sísmica.

2.1. Terremotos o sismos

Es un fenómeno de la naturaleza que básicamente se define como una liberación de energía dentro de la corteza terrestre en forma de ondas, estas se expanden en todas las direcciones. La palabra terremoto es de origen latín *terraemōtus*, a partir de *terra*, (tierra), y *motus*, (movimiento), que hace referencia a un movimiento del suelo independientemente de que sea de gran o poca magnitud (Estrada, 2008).

Los sismos también pueden producirse en movimientos pequeños, los cuales no tienen definido un principio ni un final, es decir que aparecen débilmente, comúnmente se les conoce como microsismos, estos constan de un aumento progresivo en amplitud. Una de las características de estos es que pueden presentarse por un tiempo prolongado y desaparecen paulatinamente, contrastando con lo repentino y pasajero de un terremoto (Estrada, 2008).

2.1.1. Hipocentro y Epicentro

En el mundo existen diferentes causas que producen el movimiento de la tierra, pero la mayoría son debido a la subducción de placas tectónicas, las cuales tienen un origen dentro de la tierra, dicho punto se le conoce como foco o hipocentro. El Epicentro se define como la proyección vertical en la superficie, donde se origina este fenómeno de la naturaleza dentro de la corteza terrestre, a dicha profundidad donde ocurre la liberación de energía se le conoce como hipocentro (Estrada, 2008).

2.1.2. Origen de un sismo

La respuesta a esta gran interrogante está dada por la tectónica de placas fundamentada en el principio de que el planeta está conformado por dos tipos de capas con distintas propiedades. La parte inferior consta de un espesor aproximado de 700000 m, a los cuales los primeros 100000 m de capa posee menor densidad que los 600000 m restantes, lo que, en conclusión, los primeros kilómetros de este estrato son más deformables y propensos a la ruptura. La capa superior que conforma la Tierra, posee densidades altas, con espesores 50000 m bajo los océanos y 100000 m en los continentes (Estrada, 2008).

La deformación producida por los esfuerzo de compresión, tensión y fricción de las placas que chocan entre sí, adicional a esto la gran variación de temperatura por unidad de distancia, da como resultado una cadena de rupturas a lo largo de un plano de falla, a causa de los esfuerzos ejercidos, los cuales sobrepasan la resistencia elástica de la roca que conforma el estrato, lo que conlleva a la ruptura de la misma, dando como origen a lo que se conoce como sismo. La ruptura se produce comúnmente en el extremo del borde del plano de falla, con una velocidad no inferior a 3000 m/s. La distribución de estas placas tectónicas alrededor del mundo se representa en la (Figura 1) (Estrada, 2008).

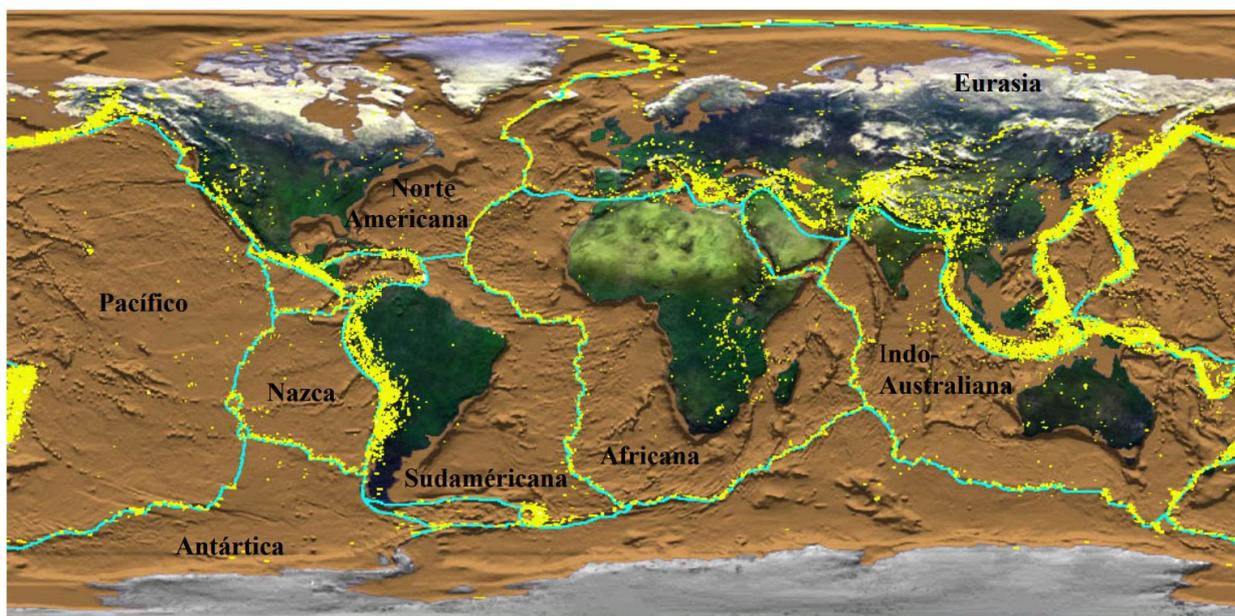


Figura 1. Distribución superficial de las placas Litosféricas.

Fuente: (Estrada, 2008)

2.2. Medición de los sismos

La medición de la cantidad de energía liberada y el impacto que este fenómeno genera, se lo realiza de manera analítica y subjetiva. Los métodos analíticos cuantifican la magnitud del sismo, y se fundamentan en la medición instrumental de la energía elástica liberada durante la actividad sísmica, mientras que los métodos subjetivos describen los daños provocados durante el evento mediante una escala de intensidad.

2.2.1. Medición analítica: Escala de Richter

Para la medición de un sismo a nivel analítico se busca un número que permita cuantificar el tamaño del mismo y la energía liberada dentro del estrato de la Tierra, comúnmente en el Ecuador se mide a partir de la llamada escala de Richter o escala de Magnitud Local que está comprendida entre rangos de 2 a 6.9. Durante un sismo se propagan dos tipos de ondas las cuales determina la magnitud del sismo bajo esta metodología, estas ondas hacen referencia a las denominadas ondas principales (P) y secundarias (S). La escala de Richter determina la

magnitud del sismo en base a la extensión que pueden llegar a tener estas ondas y la diferencia del tiempo entre el accionar de las ondas P hasta la manifestación de las S. Este procedimiento para medir la magnitud de un sismo, posee una gran desventaja que es la saturación de información, por lo que no permite describir de forma adecuada dicho fenómeno en grandes magnitudes (Tarbuck et al., 2005).

2.2.2. Medición analítica: Magnitud de momento, M_w

Es la escala más común alrededor de todo el mundo, debido a que es una forma de medición avanzada para sismos de gran magnitud, que a diferencia de la mayoría de métodos este no se llega a saturar, pero presenta cierta complejidad al momento de cuantificar el valor de magnitud, y no representa de forma concisa y clara la cantidad de energía elástica emitida en forma de ondas originadas en el foco, principalmente debido a que está relacionado directamente con la reducción en la falla de los esfuerzos actuantes, y el momento sísmico se determina para un descenso de esfuerzos periódicos (Peláez, 2011).

2.2.3. Metodología subjetiva: Clasificaciones (EMS-98)

La escala de intensidad macrosísmica, también conocida por sus siglas EMS-98, fue en principio originada por Rossi y Forel, que a lo largo de varios análisis, esta metodología fue mejorada por diversos científicos como son: Mercalli, Cancani y Sieberg, los cuales establecieron 12 grados de intensidad, que describen la severidad de un sismo después de haberse suscitado, en base a lo que se puede identificar en pérdidas humanas y daños materiales, en una zona en específico, en la (Tabla 1) se puede observar dicha clasificación (Comisión Sismológica Europea - ESC, 2008).

Tabla 1. Escala Macrosísmica Europea (EMS-98) resumida

I. No sentido	Para la persona es imperceptible dicha intensidad.
II. Apenas sentido	Las personas que se encuentren durmiendo en zonas altas de edificaciones, pueden llegar a percibirlo generalmente el uno por ciento de las personas.
III. Débil	Las vibraciones son cada vez más amplias, las personas que se encuentran descansando en zonas altas de edificaciones siente un tambaleo.
IV. Ampliamente observado	El sismo es sentido por varias personas dentro de una construcción, pero al mismo tiempo es difícil para aquel que se encuentra en espacios abiertos, los objetos que se encuentran colgados empiezan a tambalear y se puede llegar a escuchar el sonido de elementos como ventanas y puertas traquetear.
V. Fuerte	El sismo es distinguido por la mayoría de personas dentro de una vivienda o edificación, al mismo tiempo la mayoría toma acciones de evacuación a puntos despejados, las personas que se encuentran en áreas abiertas también lo perciben, la vajilla de porcelana suena con intensidad, y los objetos que se encuentran colgando se balancean fuertemente, elementos como puertas de cocina y ventanas se abren y cierran solas.
VI. Levemente dañino	El sismo es sentido por toda la población, a este nivel de intensidad surgen daños a construcciones comunes, como grietas en paredes y desprendimiento de partes pequeñas del mismo.
VII. Dañino	Toda la población percibe el evento telúrico, se toma medidas de evacuación hacia puntos de encuentro, los daños se agravan en edificaciones comunes, las grietas son más grandes, el desprendimiento de trozos de elementos como paredes es mayor y se presenta el colapso parcial en ciertas edificaciones de sus chimeneas.
VIII. Gravemente dañino	Se presenta la posibilidad de un colapso parcial en ciertas estructuras, el daño en elementos estructurales es notable.
IX. Destructor	Las construcciones de orden común colapsan parcial o totalmente, el daño en elementos estructurales es irremediable.
X. Muy destructor	Un gran porcentaje de las construcciones de orden común se vienen abajo
XI. Devastador	La gran mayoría de edificaciones y obras civiles como puentes se viene abajo, las ondas del sismo se pueden ver con claridad en el suelo, se puede apreciar una distorsión del horizonte.
XII. Completamente devastador	Casi todas las estructuras y obras civiles destruidas, las ondas sísmicas pueden ver con claridad en el suelo, se puede apreciar una distorsión del horizonte.

Fuente: (Comisión Sismológica Europea, 1998, p. 17)

2.2.4. Relación entre intensidad, PGA y PGV

Como una metodología que facilita el tráfico de información que se produce durante una actividad sísmica, a través de una ardua investigación han logrado relacionar la intensidad modificada de Mercalli, con los valores correspondientes a la aceleraciones pico presente en el terreno conocido por sus siglas (PGA) y la velocidad pico de tierra (PGV) que son necesarios en la elaboración de los Shake Maps (Bolt, 1993).

Tabla 2. Relación de intensidad, PGA y PGV

Intensidad Modificada de Mercalli	PGA (g= 9.80 m/s²)	PGV (cm/sec)
I	N/A	N/A
II	N/A	N/A
III	N/A	N/A
IV	0.015g-0.02g	1 - 2
V	0.03g- 0.04g	2 - 5
VI	0.06g- 0.07g	5 - 8
VII	0.10g- 0.15g	8 - 12
VIII	0.25g- 0.40g	20 - 40
IX	0.50g- 0.55g	45 - 55
X	> 0.6g	> 60
XI	> 0.6g	> 60
XII	> 0.6g	> 60

Fuente: (Bolt, 1993)

2.3. ShakeMaps

Los Shakemapas son cartografías que representan la intensidad de un sismo en tiempo real, comúnmente llevan registros de sismos de magnitud mayor a 5.5 en la escala de Richter. Este tipo de mapas son generados a través de la interpolación de los datos registrados provenientes de una red de aparatos de medición sísmica, leyes de atenuación y sumada a los efectos del sitio. Generalmente son utilizadas para planear medidas de emergencia, gracias a la velocidad de la información que proporciona, de esa forma se puede tener idea de los daños esperados después del fenómeno sísmico (CSN, 2016).

2.4. Ductilidad

El termino ductilidad abarca diversos conceptos, por lo que es importante definir en qué aspecto se está considerando para identificar la correcta definición del mismo, en la profesión de la ingeniería civil se habla de dos tipos de ductilidad, la una corresponde a un nivel global, la cual establece la capacidad resistente de la estructura sin llegar a tener daños graves, durante un evento sísmico, el otro tipo pertenece a un nivel local, que hace referencia a la capacidad de un elemento de disipar energía, y deformarse dentro de los rangos inelásticos del mismo sin una pérdida sustancial de su resistencia (NEC-SE-DS, 2015).

En el caso de edificaciones patrimoniales estas se les denomina como poco dúctiles debido a que no pueden soportar grandes deformaciones más allá del rango elástico, a causa de las propiedades que presentan sus materiales y su sistema constructivo empírico.

2.5. Histéresis

Según la NEC establece el concepto de histéresis como un fenómeno que depende de las propiedades físicas en relación con el registro de su comportamiento previo a las deformaciones que dicho elemento sufre dentro de un rango inelástico, idealizando de esa forma la capacidad del elemento para disipar energía en un rango plástico que a la vez esto se relaciona con una zona que está comprendida dentro de los ciclos de histéresis (NEC-SE-DS, 2015).

2.6. Funciones de Fragilidad

El tipo y la extensión del daño que experimentará un componente perteneciente a una estructura son inciertos. Las funciones de fragilidad de los componentes son distribuciones del orden estadístico que muestran la probabilidad potencial de caer en daños a un valor dado de la demanda (Aveiga & Carvajal, 2018, p. 35).

2.7. Curvas de capacidad

Las curvas de capacidad hacen referencia a la representación de la capacidad estructural de las edificaciones regulares, las curvas de capacidad permiten identificar la probabilidad de exceder algún estado de daño límite, en base a la representación de un parámetro de la gravedad correspondiente a evento sísmico (aceleración máxima, intensidad sísmica, etc.) o de la respuesta estructural como las derivas, desplazamientos, etc. Estas funciones pueden ser determinadas guiándose en información existente de historiales de daño producto del movimiento del suelo (Oliva, 2017, p. 5).

2.8. Riesgo sísmico

El riesgo sísmico enfocado en las edificaciones, valora la vulnerabilidad y la pérdidas que se pueden llegar a suscitar dentro de una edificación o un cierto número de ellas, que están emplazadas dentro de una zona con presencia de actividad sísmica amenazante para la sociedad (NEC-SE-RE, 2015, p. 8).

El riesgo total hace referencia a las pérdidas humanas, y a la actividad económica que se ve comprometida en este tipo de desastres, debido al daño que sufre las edificaciones su restauración y la parálisis del comercio. El concepto de riesgo total se fundamenta en la multiplicación de tres parámetros fundamentales, que se describen a continuación (H. Barbat et al., 2005).

- **Amenaza, peligro o peligrosidad:** es la posibilidad de presentarse un evento con un gran índice de daño, dentro de un plazo de tiempo y una zona en específico (H. Barbat et al., 2005, p. 5).
- **Vulnerabilidad:** es el magnitud de pérdida de un elemento o grupo de elementos sometidos a un riesgo, debido a la presencia de un evento desastroso (H. Barbat et al., 2005, p. 5).

- **Elementos en riesgo:** hace mención a toda la población, las construcciones, el comercio y los servicios públicos que se ven involucrados en un evento desastroso (H. Barbat et al., 2005, p. 5).

2.8.1. Reducción del Riesgo

Cuando una persona quiere idealizar su vida en cierta zona en específico, siempre tendrá en cuenta que, para poder interactuar en ese entorno tanto social como comercialmente deberá, tener presente que corre un riesgo si la actividad sísmica hace presencia en ese entorno y que estará en función de la magnitud máxima probable a la que puede llegar dicho fenómeno. En consecuencia, para disminuir el riesgo es necesario tomar medidas en cuanto a reducir la vulnerabilidad, el peligro y el costo que abarca todo este tipo de daños (A. H. Barbat et al., 1995).

A continuación se establecen acciones que se podrían tomar en cuenta, para disminuir la vulnerabilidad sísmica, estas obedecen a ciertas actividades desde una perspectiva física y/o funcional de la infraestructura y el entorno que la rodea.(D. O. Cardona, 2008).

- “Integración del riesgo en la definición de usos del suelo y la planificación urbana” (D. O. Cardona, 2008, p. 11).
- “Intervención de cuencas hidrográficas y protección ambiental” (D. O. Cardona, 2008, p. 11).
- “Implementación de técnicas de protección y control de fenómenos peligrosos” (D. O. Cardona, 2008, p. 11).
- “Mejoramiento de vivienda y reubicación de asentamientos ubicados en áreas propensas a los desastres” (D. O. Cardona, 2008, p. 11).

- “Actualización y control de la aplicación de normas y códigos de construcción” (D. O. Cardona, 2008, p. 11).

2.9. Vulnerabilidad sísmica

En este trabajo de investigación este concepto es la base fundamental para su desarrollo, como se ha venido mencionando antes, las edificaciones patrimoniales son de alta vulnerabilidad sísmica por consecuencia de diversos factores. Investigadores han observado que, en zonas específicas con cierto número de edificaciones de la misma tipología, presentan daños más severos unas más que las otras, y lo han relacionado con la vulnerabilidad sísmica.

La vulnerabilidad ante un evento sísmico de características específicas es un atributo intrínseco en todas las estructura es decir no depende de la peligrosidad del lugar donde se emplace, por lo tanto, una determinada edificación puede llegar a ser vulnerable pero no necesariamente encontrarse en riesgo si dicha edificación no se construyen en el lugar donde la presencia de actividad sísmica es persistente (H. Barbat et al., 2005).

2.9.1. Vulnerabilidad sísmica por origen

Esta vulnerabilidad está presente en todas las edificaciones que desde su concepción no se planificaron con bases de diseño y construcción sismorresistente, por lo que requiere de una intervención mediante rehabilitaciones estructurales para combatir este problema, o si darse el caso de daños irremediables, su demolición (Arteaga, 2016).

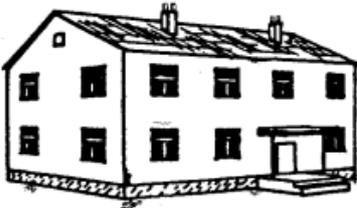
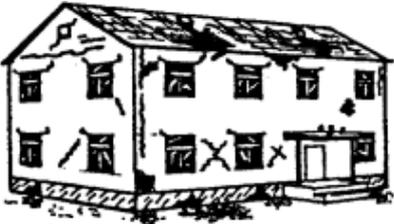
2.9.2. Vulnerabilidad sísmica progresiva

Este tipo de vulnerabilidad hace referencia al deterioro que adquiere las estructuras al pasar los años, ya sea por falta de mantenimiento, mala calidad en sus materiales, factores externos como los climáticos, o se esté sobreesforzando la estructura, es decir, que se le dé una demanda de carga superior para la cual no es operable óptimamente, todo este tipo de factores da como resultado que la edificación sea propensa a recibir más daño durante un sismo (Arteaga, 2016).

2.10. Clasificación del daño

Las deformaciones presentes en una edificación bajo ciertas cargas sísmicas, dependerá en esencia del diseño y construcción de los miembros estructurales que la conforman, en la (Tabla 3) se puede observar la clasificación que se realiza a nivel general en edificios de mampostería, que en su gran mayoría son los sistemas de los cuales están conformados las edificaciones patrimoniales.

Tabla 3. Clasificación del Daño a Edificios de Mampostería no reforzada.

“Clasificación del daño a edificios de mampostería”	
	<p>Grado 1 Daño poco notorio, se puede apreciar en ciertas ocasiones pequeñas grietas en el empastado de las paredes, en pocas palabras el daño en elementos no estructurales es suave, mientras que en los estructurales no se evidencia ningún daño.</p>
	<p>Grado 2 Daño notable dentro y fuera de la edificación, las grietas son de longitud considerable, en varios muros de la edificación, en algunos casos se presenta el colapso total o parcial de chimeneas. El daño en elementos estructurales es moderado, mientras que en los no estructurales no se evidencia ningún daño.</p>
	<p>Grado 3 Las grietas se hacen presentes en casi todos los muros, los elementos estructurales sufren daño, y los no estructurales presentan un daño severo. Hay una gran probabilidad del colapso de ciertas partes de la construcción.</p>
	<p>Grado 4 El daño en elementos estructurales es severo, mientras que en los no estructurales hay un colapso inminente, con daños irreparables.</p>

**Grado 5**

Toda la edificación se viene abajo, prácticamente una pérdida total de la construcción.

Fuente: (Comisión Sismológica Europea, 1998, p. 15)

2.10.1. Índice de daño

Es aquel índice que valora el daño esperado dentro de una estructura, es decir el grado de deterioro que puede llegar a sufrir una edificación durante un evento sísmico, está ligada principalmente a la tipología estructural y a la calidad de los materiales que la conforman. Este parámetro se puede determinar en base a diferentes metodologías y en esencia trata de clasificar a una estructura a partir de los estados de daño que puede recibir durante un sismo, estos estados dependen de cada metodología, pero básicamente todos parten desde un daño leve o ninguno hasta el colapso inminente de la estructura. (Arteaga, 2016).

Las edificaciones patrimoniales presentan altos grados de deterioro a causa del largo tiempo que estas estructuras han estado bajo efectos negativos de factores externos como el viento, humedad, entre otros, por lo que sería de gran ayuda identificar el índice de daño que presenta, para poder realizar una determinada rehabilitación estructural, proporcionando principalmente ductilidad a los miembros estructurales, garantizando que el desempeño que presente sea dentro de los límites de seguridad de vida.

2.11. Amenaza Sísmica – Nacional

Uno de los sucesos que aconteció al país fue el 16 de abril del año 2016, en Ecuador se suscitó un sismo de 7.8 Mw, en la escala de Mw, según la Escala EMS-98 se calificó a este evento con una intensidad de IX asignado como Destructor, afectó las zonas costeras principalmente en la provincia de Manabí, cantón Pedernales al haber presenciado el derrumbe de varias

edificaciones, teniendo como consecuencia fatídica 671 personas fallecidas. En zonas de la costa ecuatoriana como Bahía de Caráquez, Jama, Canoa y las zonas centrales de Manta y Portoviejo, se las catalogó con una intensidad de 8 EMS. (Instituto Geofísico - EPN, 2020).

En la (Figura 2) se muestra como están distribuidos los daños producidos por dicho sismo dentro del Ecuador, afectando principalmente a la provincia de Manabí. En las provincias de Esmeraldas, Santa Elena, Guayas, Los Ríos y parte de Santo Domingo de los Tsáchilas, hubo presencia de grietas en las paredes de viviendas y edificios, que no comprometieron a la integridad de la estructura. En la Sierra ecuatoriana, el sismo fue sentido por la mayoría de la población, pero no tuvo daños significativos, por lo que se le asignó a esta zona con intensidad 4 en la escala EMS, sin daños importantes en las estructuras. Este movimiento telúrico se originó a 20000 m de profundidad, producto de la subducción entre la placa de Nazca con la Sudamericana, con una velocidad de 61mm/año (Singaicho et al., 2016).

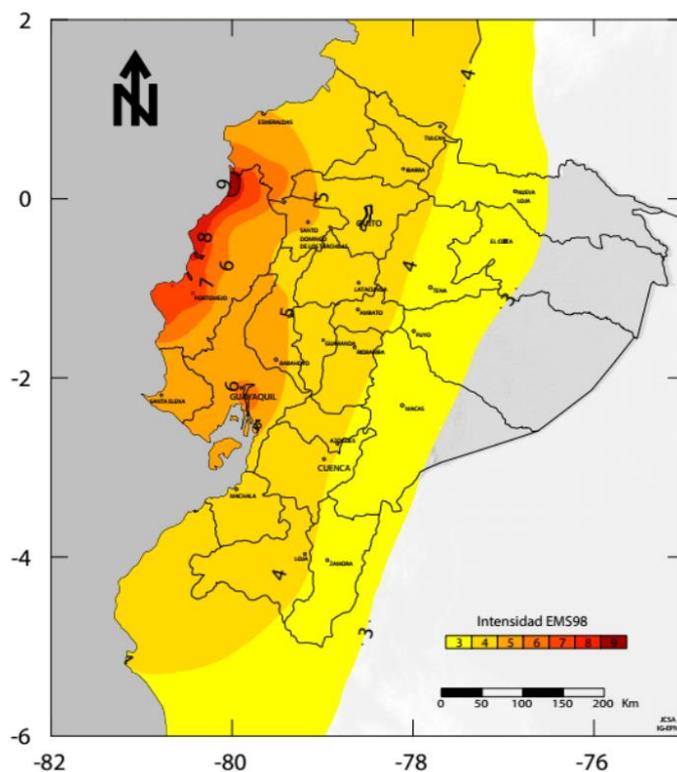


Figura 2. Mapa de intensidades del sismo del 16 de abril de 2016. Actualización del mapa presentado en el informe especial N°18.

Fuente: (Singaicho et al., 2016).

El Ecuador como muchos países cuenta con un mapa que representa las zonas sísmicas, cada una tiene un valor (z) que es denominado como la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g , como se puede apreciar en la (Figura 3). “El mapa de zonificación sísmica para diseño proviene del resultado de estudios de peligro sísmico para un 10% de excedencia en 50 años (periodo de retorno 475 años), que incluye una saturación a 0.50 g de los valores de aceleración sísmica en roca en el litoral ecuatoriano” (NEC-SE-DS, 2015).

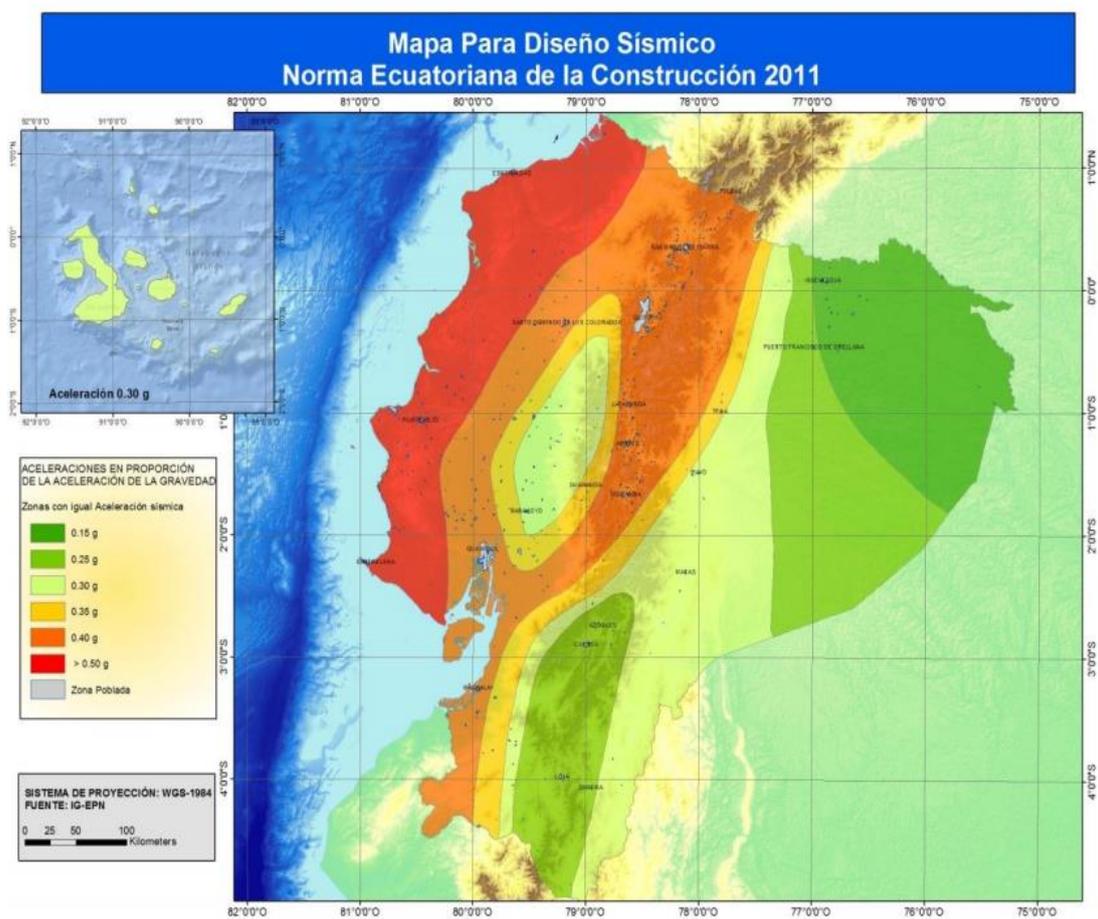


Figura 3. Intensidades Sísmicas del Ecuador.

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015, p. 27)

2.11.1. Historia sísmica del Ecuador

El primer sismo del Ecuador del que se tiene registrado, ocurrió en el año 1541, el epicentro fue ubicado dentro de la provincia del Napo. Este evento da inicio al catálogo de los registros sísmicos suscitados en el país (Rivadeneira et al., 2007, p. 28).

A lo largo de la historia sísmica en el Ecuador han ocurrido miles de movimientos del suelo, los cuales algunos se han podido sentir con gran fuerza por la población, mientras que otros solamente han podido ser identificados por sismógrafos (microsismo). En toda la trayectoria sísmica que el país ha sido testigo, resulta una tarea difícil de estimar las pérdidas materiales, en la cuestión de vidas humanas estas superan las 80.000 muertes (Rivadeneira et al., 2007).

En Ecuador los movimientos telúricos son constantes y de forma permanentemente, los datos que facilitan a la población del monitoreo indican que el promedio anual de actividad sísmica en el país es de aproximadamente 2.600 eventos, de estos alrededor de 300 tienen magnitudes superiores a 4 grados y pudieron ser sentidos por la población (Rivadeneira et al., 2007).

De un análisis se deduce que cada 12 años el Ecuador ha tenido que soportar un terremoto destructor, pero estos datos han sido muy variables y discontinuos, siendo el mayor intervalo de tiempo de 68 años correspondiente a las fechas de 1587 y 1645 que se suscitaron eventos sísmicos de gran intensidad, y el menor intervalo de tiempo de 1 día que hace referencia al primero de agosto de 1868, entre otros, con lo que se concluye que la actividad sísmica es muy variada y poco predecible a pesar de los estudios estadísticos proporcionados a lo largo del tiempo, los períodos más nefastos del país fueron entre 1953-1964 que se produjeron cinco terremotos de intensidad VIII, cinco de VII y cuatro VI, con un total de 14 eventos importantes en 11 años (Rivadeneira et al., 2007, p. 31).

2.11.2. Fallas geológicas en el Ecuador

Este tema es abarcado por la Tectónica de Placas, la cual comprende grandes placas tectónicas que están en constante desplazamiento. La gran parte de los epicentros de los terremotos se encuentran distribuidos en los límites de este cuerpo denominado placa tectónica, donde se produce la acumulación de energía, que luego de ser liberada origina lo que se conoce como sismos, y es aquí también donde se localizan las fallas geológicas. (Benito Oterino, 2013).

Las zonas de falla de la corteza son frágiles, su ruptura produce lo que se conoce como terremoto, por lo que constituyen la fuente u origen del terremoto. En el Ecuador la principal causa para el origen de estas fallas es la interacción de las placas de Nazca y Sudamericana estas generan fuerzas de gran magnitud sobre los bordes de ambas placas, originándose de esa manera fracturas en el interior de ellas (Rivadeneira et al., 2007).

“El principal sistema de fallas activo del Ecuador es el Pallatanga – Chingual, comienza en el Golfo de Guayaquil, pasa por la isla Puná, continúa por la zona de la Troncal, ingresa a la cordillera por Bucay y continúa por Pallatanga” (Rivadeneira et al., 2007, p. 22).

En el borde Subandino de la cordillera Oriental de los Andes, nace la falla Chingual en el sector de la Sofía y se dirige al sur pasando por el lado occidental del volcán El Reventador. Hacia el oriente en el borde Subandino, se identifica además el sistema de fallas inversas que limitan la parte este de los andes de la llanura amazónica, y se extiende desde Colombia, pasando Ecuador y continuando hacia Perú (Rivadeneira et al., 2007, p. 24).

“Sistemas de falla menos extensas que las anteriores, pero que podrían afectar zonas pobladas son: el sistema de fallas Quito, el sistema Pastocalle – Poaló-Saquisilí y el sistema de fallas El Ángel – San Gabriel” (Rivadeneira et al., 2007, p. 24).

A continuación, se detallan datos curiosos de fallas dentro del territorio ecuatoriano.

- “El sistema de fallas más largo del territorio ecuatoriano es el Subandino, que se extiende por unos 200 kilómetros en dirección Norte – Sur en el costado oriental de la Cordillera Real” (Rivadeneira et al., 2007, p. 24).
- “Los sistemas más profundos en el Ecuador ocurren bajo la zona oriental, sobre la corteza oceánica subductada que se encuentra a una profundidad mayor a 200 km” (Rivadeneira et al., 2007, p. 24).
- “El evento más profundo detectado hasta ahora fue a 275 km ocurrido el 9 de noviembre de 2005, a unos 50 km al este de la población de Tena, tuvo una magnitud de 5.3 grados” (Rivadeneira et al., 2007, p. 24).

2.11.3. Falla de Girón

Una de las principales fallas que azota a la parte Austral del Ecuador, es la conocida falla de Girón que tiene una longitud aproximada de 200 km, y representa una alta peligrosidad, en base a investigaciones realizadas por la Red Sísmica del Austro, la cual es la encargada del constante monitoreo de esta falla, manifestó que debido al sismo suscitado en el año 1913 en la provincia del Azuay, con magnitud de 6.7 grados en la escala de Richter, que redujo a escombros gran parte de la ciudad, la falla de Girón puede llegar a convertirse en un posible foco de un sismo con las mismas características. En la actualidad según investigaciones establecen que de suscitarse un suceso como ese acarrearía un colapso del 60 % de estructuras de la ciudad de Cuenca, afectando también a la ciudad de Azogues (Bustos, 2010).

2.12. Norma Ecuatoriana de la construcción (NEC)

La NEC es la respectiva norma de construcción con la que los técnicos de la construcción llevan a cabo sus diseños dentro del Ecuador, esta es una mejora del antiguo Código Ecuatoriano de

la Construcción, y contempla un amplio campo de información, como son estudio y clasificación de suelos de fundación, estructuras de (acero, hormigón, madera y mampostería), de igual forma todos los criterios requeridos para la habitabilidad y operatividad dentro de una estructura., en la (Figura 4) se observa su estructuración (NEC, 2015b).



Figura 4. Composición de la NEC.

Fuente: (NEC, 2015b, p. 1)

2.12.1. Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras

En la Norma Ecuatoriana de la Construcción se considera una guía exclusiva para la rehabilitación estructural de edificios que fueron realizados antes del código de construcción ecuatoriano, esta parte de la norma proporciona los instrumentos necesarios para poder llevar a cabo un análisis de la estructura y posterior a ello, determinar el grado de intervención requerido para que el edificio evaluado, y de esa forma cumpla con los parámetros propuestos por la NEC. Esto puede ser llevado a cabo mediante un programa de inspección por parte de la municipalidad en los edificios patrimoniales, o por intervención privada (NEC, 2015b, p. 5).

2.12.2. Tipos de sismos según la NEC

La NEC establece ciertos tipos de sismos que se ligan al grado de peligro que pueden llegar a tener y el período de retorno tal como se muestra en la (Tabla 4) del cual para estructuras comunes se utiliza como base de diseño el sismo raro, y para estructuras esenciales como hospitales se hace uso del sismo severo (NEC-SE-DS, 2015).

Tabla 4. Tipos de sismos según la NEC

Tipo de sismo	Probabilidad de excedencia en 50 años	Período de retorno Tr (años)	Tasa de excedencia (1/Tr)
Frecuente (menor)	50%	72	0.0139
Ocasional (moderado)	20%	225	0.0044
Raro (severo)	10%	475	0.0021
Muy raro (extremo)	2%	2500	0.0004

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015, p. 42)

2.12.3. Tipo de suelo según la NEC

La NEC en el capítulo de diseño sismorresistente, establece seis tipos de suelos, presentes en el Ecuador, con diferentes características, en los 30 m principales del perfil, para los tipos de suelo A, B, C, D y E, como se muestra en la (Tabla 5), el suelo tipo F tiene una consideración especial dentro del diseño sismorresistente, con estudios más avanzados (NEC-SE-DS, 2015).

Tabla 5. Perfiles de suelo según la NEC.

Tipo de Perfil	Descripción
A	Esta categoría pertenece a un perfil de roca competente que es el mejor suelo en el que se puede construir, debió a la los criterios de velocidad de onda de corte en el que está clasificado $V_s \geq 1500$ m/s
B	Esta categoría pertenece a un perfil de roca con una rigidez media, está entre los rangos de velocidad de corte $1500\text{m/s} > V_s \geq 760$ m/s.
C	Esta categoría pertenece a un perfil de suelos con una alta densidad o roca blanda, que entra en el siguiente rango de velocidad de onda de corte 760 m/s $> V_s \geq 360$ m/s (V_s),

	Además, en la categoría C de clasificación de suelos, según la NEC, se puede categorizar dentro de este puesto a los perfiles de suelo que soporten un número mayor a 50 golpes del ensayo de penetración estándar y una resistencia a corte no drenado mayor a 100 KPa.
D	Esta categoría pertenece a un perfil de suelo rígido, entra en los siguientes rangos de velocidad de corte $360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$, requiere tomar consideraciones dentro de un diseño estructural, ya que la pseudo aceleración es mayor y se debe controlar las deformaciones presentes en una edificación frente a un sismo
	En la categoría D también se puede categorizar dentro de este puesto a los perfiles de suelo que soporten un número mayor a 50 golpes y menor a 15 del ensayo de penetración estándar y una resistencia a corte no drenado mayor a 100 KPa.
E	La categoría E es aquella en la que se puede plasmar un diseño estructural sin la intervención a fondo de un geotecnista, siempre y cuando las condiciones del terreno lo permitan, para que un suelo este dentro de esta categoría la velocidad de onda de corte tiene que ser menor a 180 m/s.
	Además, existen otros criterios que pueden clasificar a un suelo dentro de esta categoría como son la resistencia al corte no drenada debe ser menor a 50 KPa, el índice de plasticidad del suelo debe ser mayor a 20 y por último el contenido de humedad debe ser mayor al 40 %.
	Este tipo de suelos requiere de un análisis más detallado por técnicos especialistas en el área de geotécnica, para ello han establecido 6 subclases de este tipo de suelo, en base a las diferentes características que pueden llegar a tener.
F	“F1→ Suelos susceptibles a la falla o colapso causado por la excitación sísmica, tales como; suelos licuables, arcillas sensitivas, suelos dispersivos o débilmente cementados, etc.”
	“F2→ Turba y arcillas orgánicas y muy orgánicas (H >3m para turba o arcillas orgánicas y muy orgánicas).”
	“F3→ Arcillas de muy alta plasticidad (H >7.5 m con índice de Plasticidad IP >75).”
	“F4→ Perfiles de gran espesor de arcillas de rigidez mediana a blanda (H >30m).”
	“F5→ Suelos con contrastes de impedancia α ocurriendo dentro de los primeros 30 m superiores del perfil de subsuelo, incluyendo contactos entre suelos blandos y roca, con variaciones bruscas de velocidades de ondas de corte.”
	“F6→ Rellenos colocados sin control ingenieril.”

Fuente: (NEC-SE-DS, 2015, p. 30)

3. Caracterización de la zona de estudio

3.1. Descripción de la zona

El cantón Azogues está emplazado al sur de la provincia del Cañar, cuenta con un área aproximada de 1.224,71 Km², en la cual en toda esa extensión habitan 70.064 personas según el censo realizado en el año 2010. El entorno en el que se emplaza es delimitado al norte con el cantón Alausí, al sur con los cantones Cuenca y Paute, al este con Sevilla de Oro y Paute, al Oeste con la ciudad de Cañar, cantón Biblián y Déleg (GAD Municipal de Azogues, 2012).

Regionalmente el cantón Azogues se encuentra localizado en la litología perteneciente al Grupo Paute (Laramidico) constituida por rocas metamórficas de bajo grado. En el sitio de estudio se pueden encontrar suelos que se caracterizan por derivarse de materiales piroclásticos, alofánicos, francos, con gran capacidad de retención de agua, con saturación de bases menor al 50% y densidad aparente superior a 0.85 g/cc. Estos suelos tienen la característica de ser muy negros en régimen frígido, mésico y negros en régimen térmico, las formaciones geológicas se representan en la (Figura 5) (GAD Municipal de Azogues, 2012, p. 51).

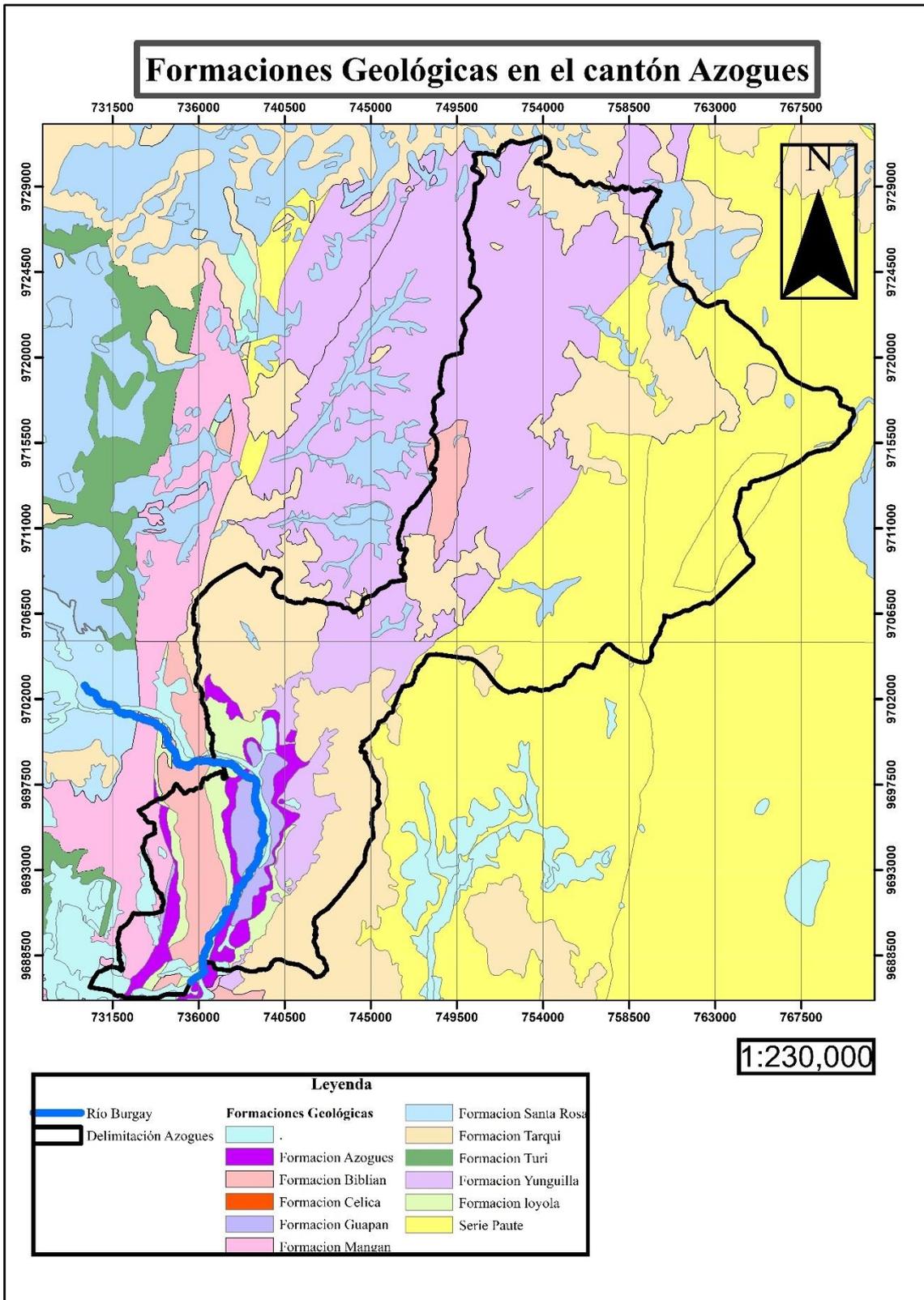


Figura 5. Distribución de las formaciones geológicas del cantón de Azogues

Elaborado: Autor

3.2. Patrimonio de la ciudad de Azogues

El cantón Azogues fue declarado en el año 2000 como Patrimonio Cultural y Urbano del Ecuador, esta ciudad plasma en sus casas, balcones, calles, plazas e iglesias, una herencia histórica que está fuertemente ligada a sus tradiciones, costumbres y a su entorno natural. Es acreedor de ser preservado a través del tiempo por una correcta planificación referente al patrimonio, por lo que es necesario aplicar un plan estratégico y, además, participativo con el fin de conservar a toda costa su legado, según el Código Orgánico Penal, en el artículo 237 sobre la destrucción de bienes del patrimonio cultural, establece que la persona o servidor público que dañe, deteriore o dé la autorización de intervención del bien declarado como patrimonial será castigado con prisión entre uno a tres años.

Parte de este trabajo de titulación es describir la diversidad del patrimonio edificado de la ciudad de Azogues, y los principales parámetros que influyen sobre dichos inmuebles en el campo de la construcción, a continuación, se dará a conocer la categorización de las edificaciones patrimoniales, clases de fachadas, los principales materiales que las constituyen, las características del material de fundación y los parámetros necesarios para posteriormente fundamentar un análisis sísmico sobre una de ellas.

La arquitectura de la zona histórica de Azogues, se mantiene intacta y es reconocida por ser Arquitectura Tradicional Selectiva, se caracteriza por poseer un valor arquitectónico, estético, tecnológico y de conjunto; estas construcciones o también conocidas con el nombre de casas Republicanas o Patrimoniales fueron edificadas aproximadamente al finaliza el siglo XIX, e principios del XX (Quituisaca, 2015).

En la zona central histórica de Azogues se encuentra inventariado un total de 135 edificaciones y 8 conjuntos urbanos. La mayoría de estas edificaciones son antiguas que datan entre los años de 1820 a 1950; gran parte mantiene algunos rasgos únicos especialmente, por el uso de

materiales y técnicas constructivas tradicionales; como los arreglos decorativos de sus vanos y zócalos elaboradas de madera, y la continuidad de las mismas en sus balcones; la persistencia de formas sencillas; gran parte de estas edificaciones han sido rehabilitadas, pero todavía conservan su valor histórico, para mantener un conjunto de tipo colonial (Quituisaca, 2015).

Las edificaciones y conjuntos urbanos del recuento de bienes inmuebles patrimoniales según la valoración arquitectónica estética y urbana realizada por el Instituto Nacional de Patrimonio Cultural en conjunto con el GAD municipal del cantón Azogues se clasifican como: Arquitectura Tradicional Selectiva, Arquitectura Relevante, Arquitectura Monumental Religiosa - Civil y Conjuntos Urbanos. Las edificaciones inventariadas en principio tenían como finalidad ser viviendas, pero con el pasar del tiempo se han adentrado en el ámbito comercial, esto probablemente debido al desarrollo económico y urbano de la población (GAD Municipal de Azogues, 2012)..

Según el GAD Municipal de Azogues, estable los siguientes conceptos de la categorización de los bienes inmuebles patrimoniales:

Monumental, Religiosa y Civil: “son aquellos edificios que por su tamaño, legado histórico y emplazamiento representan en el patrimonio, iconos de la arquitectura civil, religiosa e institucional” (“Ordenanza para el manejo y administración del Patrimonio Cultural y urbano de Azogues”, 2011, p. 2), ver (Figura 6) .



Figura 6. Catedral de la ciudad de Azogues.

Elaborado: Autor

- **Arquitectura Relevante:** “son aquellas edificaciones que representan una época; un estilo o legado especial de la historia del lugar” (“Ordenanza para el manejo y administración del Patrimonio Cultural y urbano de Azogues”, 2011, p. 2) , ver (Figura 7).

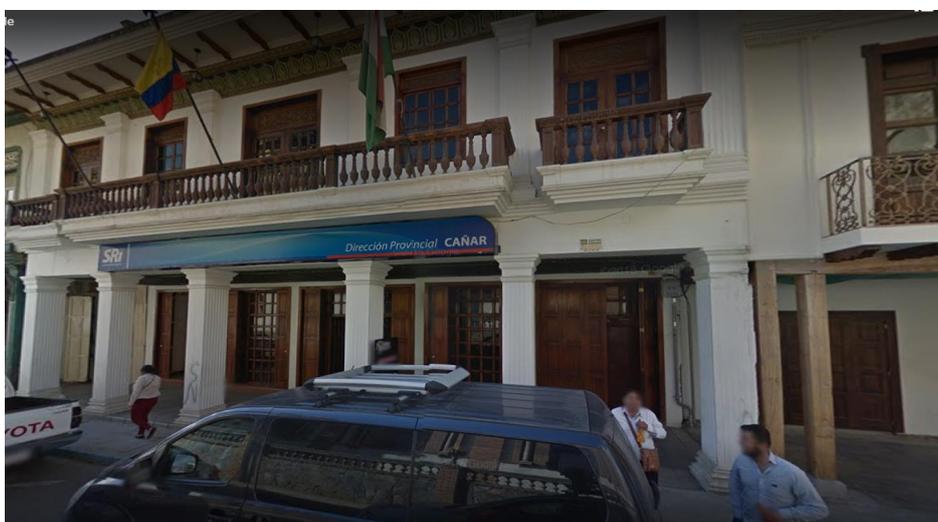


Figura 7. Establecimiento del Servicio de Rentas Internas de la ciudad de Azogues

Elaborado: Autor.

- **Arquitectura Tradicional selectiva:** “son aquellas edificaciones que están conformando el área protegida patrimonial y su presencia pasa a ser un aporte al patrimonio edificado sin perjuicio del estilo, o fecha en la que fue construida” (“Ordenanza para el manejo y administración del Patrimonio Cultural y urbano de Azogues”, 2011, p. 2), ver (Figura 8).



Figura 8. Dirección Distrital de la ciudad de Azogues.
Elaborado: Autor

- **Conjuntos Urbanos:** “son grupos de edificaciones emplazadas alrededor de un espacio urbano que presentan características especiales y generan valores estéticos de interés que se encuentran ubicados a lo largo de las calles o avenidas” (“Ordenanza para el manejo y administración del Patrimonio Cultural y urbano de Azogues”, 2011, p. 2), ver (Figura 9).



Figura 9. Conjunto Urbano Patrimonial de la ciudad de Azogues.
Elaborado: Autor

- **Trama Urbana:** “es la estructura vial del área urbana considerada de singulares características” (“Ordenanza para el manejo y administración del Patrimonio Cultural y urbano de Azogues”, 2011, p. 2), ver (Figura 10).



Figura 10. Banco Nacional de Fomento de la ciudad de Azogues.

Elaborado: Autor

En la (Figura 11) se representa la distribución de las edificaciones patrimoniales según su clasificación dentro de la zona urbana de Azogues.



Figura 11. Distribución de edificaciones patrimoniales en la ciudad de Azogues.

Fuente: Autor

3.3. Componentes de las edificaciones Patrimoniales

En esta parte del trabajo investigativo se pretende identificar los diferentes tipos de fachada de las edificaciones patrimoniales que se pueden apreciar en la ciudad de Azogues, en las tres primeras clasificaciones propuestas de fachada se puede aplicar para la gran mayoría de estas construcciones, a diferencia de las de valor religioso que se identifican con una arquitectura totalmente diferente. Luego se describirá sus componentes principales comenzando de la parte superior (cubierta) hasta finalizar con la parte inferior (cimientos).

3.3.1. Fachada

Fachada principal con portal

Esta clase de fachada comprende en su gran mayoría, una forma de la edificación rectangular, en elevación, con una apertura en el primer y segundo nivel, lo que hace de esta construcción algo liviana a comparación de las otras tipologías, sus elementos estructurales pueden ser vistos en la parte delantera, casi todas las edificaciones en esta denominación constan de dos niveles (A. Romero & Zhindón, 2017).



Figura 12. Edificación de la ciudad de Azogues con fachada principal de portal.

Elaborado: Autor

Fachada frontal con volúmenes cerrados y un portal central

Se puede observar una estructura que mezcla los muros portantes y la madera. Se puede catalogar en un primer tipo de fachada a una planta en L y la combinación de portales con

volúmenes cerrados tanto en planta baja como en planta alta, ver (Figura 13). En ocasiones se forma un cuerpo cerrado lateral, en la fachada principal, que se combina con vacíos (A. Romero & Zhindón, 2017, p. 22), a continuación se describen cada una de ellas:

- “Combinación de portal con volumen cerrado, similar en las dos plantas” (A. Romero & Zhindón, 2017, p. 22)..
- “Combinación de portal con volúmenes cerrados” (A. Romero & Zhindón, 2017, p. 22)..
- “Combinación de portal en una de las plantas y volumen cerrado en la otra” (A. Romero & Zhindón, 2017, p. 22).
- “Combinación de portal con volúmenes cerrados manteniendo la simetría Esta tipología permite una resolución dinámica en planta. La materialidad se destaca en el volumen lleno por el uso del adobe, a diferencia del vacío o portal” (A. Romero & Zhindón, 2017, p. 22).



Figura 13. Tipo de fachada con volumen cerrado y portal en la parte superior frontal

Elaborado: Autor

Fachada principal con volúmenes cerrados

Este tipo de fachada hace referencia a construcciones en las cuales su parte frontal es completamente cerrada. Esta tipología que como se puede observar en la (Figura 14), se caracteriza por su forma elemental constructiva, su sencillez geométrica y por la ubicación de los módulos realizados con adobe. Estas edificaciones al ser cerradas representan un peso mayor a las descritas anteriormente (A. Romero & Zhindón, 2017).



Figura 14. Edificación de la ciudad de Azogues de fachada principal con volúmenes cerrados.

Elaborado: Autor

Facha de Edificaciones de valor Religioso

Las edificaciones de valor religioso en la ciudad de Azogues como en gran parte del país están conformadas principalmente de cantera labrada, de volúmenes generalmente cerrados, con plantas en forma de cruz, con un eje definido y torres o cúpulas centrales y laterales de gran

altura, una de las principales características en este tipo de edificaciones son sus accesos de forma arqueada de gran dimensión y los detalles característicos de sus puertas y ventanas, ver (Figura 15).



Figura 15. Santuario de la Virgen de la Nube.

Elaborado: Autor

3.3.2. Cubierta

Las cubiertas de las edificaciones construidas en la época Republicana están constituidas generalmente por madera que su uso principal era actuar como vigas de soporte para el tipo de cubierta a realizar. En algunos casos como una forma de incorporar un toque más arquitectónico se hacía uso de dinteles y marcos de madera, la configuración común de esta parte de las edificaciones se puede observar en la (Figura 16).

La forma más sencilla y utilizada en esta parte de las estructuras patrimoniales es la implementación de tejas con concavidades, las cuales tenían un agujero por el cual se pasaban hilos de cabuya, para acoplar estos elementos a la estructura de madera, que constaba de vigas principales de madera y tiras del mismo material, en la parte del cielo raso se utilizaba en algunos caso carrizos, tablas de madera, o algún tipo de pasta, dependiendo de los recursos económicos del propietario (Rivas, 2017).

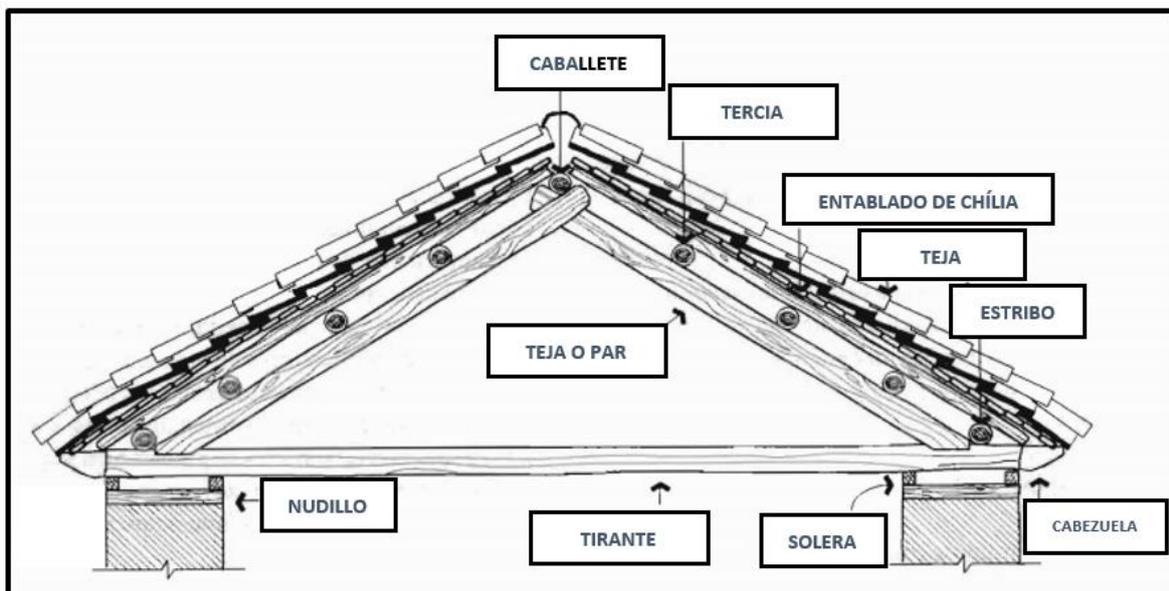


Figura 16. Cubierta típica de viviendas patrimoniales.

Fuente: (Rego Sanmartín et al., 2000, p. 11)

3.3.3. Estructura

En la parte estructural la madera es implementada en casi toda la vivienda principalmente en columnas, vigas, estos elementos se conectaban mediante “espigas” en los extremos de la columna. Además, era empleada para la construcción de la cubierta o de aleros. La madera utilizada como armazón, también constituye en ciertos tipos de edificaciones patrimoniales como elemento principal de muros y pisos, que generalmente le otorgan a la edificación un toque más distinguido, ver (Figura 17). La manera propia del medio era la más utilizada por su

fácil obtención y el ahorro económico. Antiguamente se colocaba grasa u otra sustancia que evite el deterioro de vigas y columnas ante plagas a las que frecuentemente estaban expuestos.



Figura 17. Armazón de madera de edificaciones de la Época Republicana.

Fuente: (Rivas, 2017, p. 43)

3.3.4. Muros

Estos generalmente suelen ser de adobe, pero dependiendo de la tipología de cada edificación se ha podido observar que se han empleado también con bahareque y madera. Para la realización de los muros de adobe estos se unían mediante mortero de barro, de cal hidráulica o altamente hidráulica. Además, se agregaba algún tipo de protección para evitar el deterioro del mismo. Antes de la construcción de los muros de adobe es recomendable sumergir los bloques en agua, estos al estar reblandecidos se colocaban y al secarse quedan pegados unos a otros, como se muestra en la (Figura 18) (Minke, 2005).



Figura 18. Muro con bloques de Adobe.

Fuente: (De La Peña, 1997, p. 56)

3.3.5. Cimentaciones

Como componentes que transmiten las cargas de la estructura hacia el terreno, generalmente el elemento principal que conformaban las cimentaciones en edificaciones antiguas se le conocía como "basa" pieza troncocónica de piedra que debía tener por lo menos sesenta centímetros de alto con cuarenta centímetros de ancho, y que incluía en su parte central superior un agujero con la forma del pilar que se incrustaba en dicho elemento, ver (Figura 19). Además, se utilizaba cimientos corridos de piedra si se trataba de levantar muros, para ello se seleccionaban cantos rodados, limpios, grandes y con al menos una cara plana, para que quedasen al aire libre (Rego Sanmartín et al., 2000).

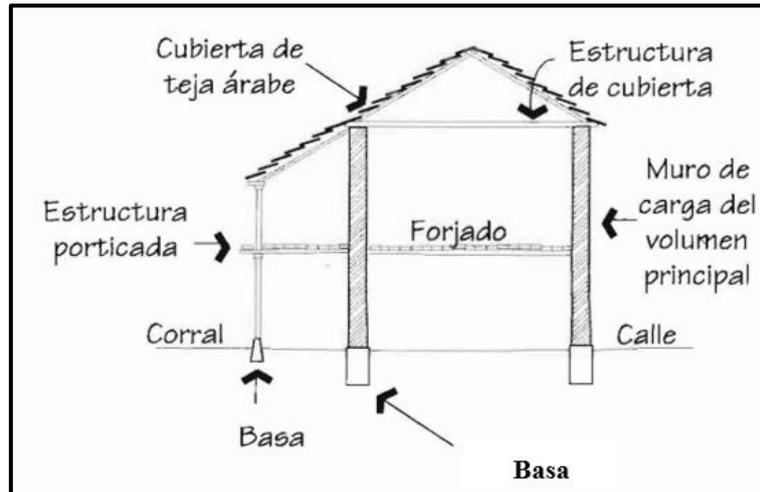


Figura 19. Corte en elevación de estructura Adobe-Madera.

Fuente: (Rego Sanmartín et al., 2000, p. 8)

3.4. Materiales de construcción en edificaciones patrimoniales

3.4.1. Adobe

Los elementos tipo bloque constituidos de barro, elaborados manualmente, utilizando moldes de determinadas dimensiones, y secados a la intemperie se les conoce con el nombre de adobes, este material es el principal constituyente de los muros que conforman las edificaciones antiguas en el Ecuador, para la realización de estos elementos se debe extraer la materia prima que es la tierra del sector de emplazamiento u otro lugar, que garantice las propiedades de plasticidad adecuadas para su correcta elaboración. La tierra debe ser humedecida hasta un cierto punto para posteriormente ser amasada mecánica o manualmente.

El adobe en la mayoría de edificaciones patrimoniales corresponde un alto porcentaje del material empleado en su construcción, sirviendo como muros de fachada y elementos divisorios de espacios.

La construcción en adobe es amigable con el medio ambiente, no requiere de altos recursos económicos, es fácil de obtener y su proceso constructivo es relativamente sencillo; una de las ventajas que caracteriza las construcciones de adobe son sus propiedades térmicas. La tierra

tiene una gran capacidad de acumular energía térmica y cederlo posteriormente, además, presenta ventajas como el aislamiento acústico y la transpiración natural de su estructura, regulando así el interior de la edificación.

Hoy en día las construcciones con este tipo de material se han ido reduciendo debido a ciertas limitaciones que presenta a comparación de otros materiales de construcción existentes en el mercado; una de sus principales desventajas es su mantenimiento constante, debido a que es de gran vulnerabilidad frente a factores externos, presentando frecuentemente fisuras y erosión en sus elementos.

La dosificación adecuada requiere de un gran porcentaje de arcilla con el fin de obtener una resistencia óptima luego de ser quemado, con una curva granulométrica que presenta 14% arcilla, 22% limo, 62% arena y 2% grava, como se puede observar en la (Figura 20); con estas proporciones se ha evidenciado que no generan problemas de fisuramiento por expansión y retracción al mojarse o secarse. El adobe debe tener las cantidades suficientes de arena gruesa que le permitan llegar a un nivel alto de porosidad (y por ende alta resistencia a las heladas) y una alta resistencia a la compresión con un mínimo de retracción (Minke, 2005).

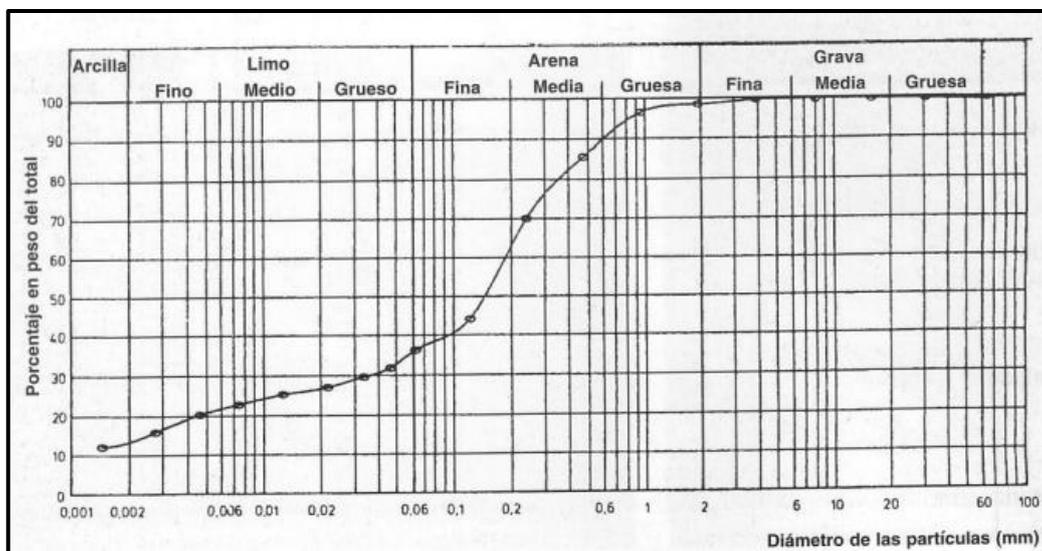


Figura 20. Curva de distribución granulométrica óptima para adobes.

Fuente: (Minke, 2005, p. 78)

Los estudios realizados a estos materiales no son frecuentes en el medio, el adobe tiene un comportamiento muy irregular y diferente en cada espécimen, su parte elástica no está claramente definida. Al pasar de los años es una incertidumbre el comportamiento estructural que presentan, debido a que el adobe está directamente relacionado con la materia prima utilizada, la fabricación, secado, efectos externos del entorno. edad entre otros parámetros más. Se puede concluir que las propiedades del adobe no son constantes a diferencia los diversos materiales hoy presentes en el mercado para la construcción como el hormigón o acero, a continuación, se presente en la (Tabla 6). las propiedades mecánicas de tres muestras de adobe de un mismo entorno con diferentes características, y suponiendo aproximadamente la edad de cada una.

Tabla 6. Propiedades de la albañilería de adobe en la ciudad de Cuenca

Albañilería de Adobe				
Propiedades	Unidad	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Edad	Años	0.3	87	97
Módulo de Elasticidad	MPa	28.92	17	68.5
Límite Líquido	%	54.95	49.71	44.06
Límite Plástico	%	31.85	27.62	33.83
Índice de Plasticidad	%	23.1	22.08	10.23
Resistencia a la compresión	MPa	1.24	0.62	1.44
Resistencia a la flexión	MPa	3.00E-01	5.34E-05	1.18E-01
Resistencia al corte	MPa	0.029	0.021	0.018

Fuente: (Aguilar & Quezada, 2017)

3.4.2. Bahareque

Este material es una mezcla de barro plástico amasado combinado con elementos como paja, aserrín o cualquier otra fibra que ayude a mejorar la resistencia en el proceso de amasado se agrega estiércol de caballo o de vaca, luego es colocado en una malla estructurada de elementos de madera o bambú, dependiendo de la zona. Se trata en lo común que la malla este recubierta tanto frontal como posteriormente 2 cm de la mezcla, en diferentes países de Europa existen varios métodos para la construcción de bahareque con fines de mejorar la capacidad de la estructura y aprovechar los materiales existentes (Minke, 2005), en la (Figura 21) se presenta un ejemplo de este sistema constructivo de forma deteriorada.



Figura 21. Construcción de bahareque en malas condiciones.

Fuente: (Minke, 2005, p. 100)

3.4.3. Madera

En las viviendas con agregado histórico, la madera es utilizada principalmente en el ámbito estructural en traveses y columnas, y en la parte arquitectónica como pasamanos y mobiliarios. El tipo de madera típica era el pino y el eucalipto, ya que en la zona de la provincia del Cañar predomina este tipo de árboles; al igual que el adobe es un material renovable y además es

reciclable, el consumo energético que se genera al construir con madera es relativamente bajo. La madera es un material ligero y puede soportar grandes cargas, lo que puede compensar en el ahorro de construir cimentaciones más profundas, pero a diferencia de los otros materiales su principal desventaja es su vulnerabilidad al fuego, por otra parte requieren de un mantenimiento constante debido a diferentes plagas a las que está expuesto, en la (Tabla 7) se puede apreciar las propiedades que presentan estos dos tipos de madera en una etapa inicial de construcción.

Tabla 7.Propiedades Mecánicas de la Madera típica usada en las edificaciones

Madera			
Propiedades	Unidad	Pino	Eucalipto
Módulo de Elasticidad	MPa	12500	20580
Resistencia a la compresión	MPa	40.6	71
Resistencia a la tracción	MPa	102	-----
Resistencia a la flexión	MPa	105.7	130
<i>Fuente</i>		(Maderas Medina S.L, 2020)	(Bermúdez et al., 2011)

3.4.4. Roca

Este material es el componente principal de las cimentaciones de edificaciones patrimoniales, comúnmente se contaba con cimientos corridos, el tipo de piedra se conocía como basa, donde se requería levantar las columnas, se realizaba un orificio central sobre dicho elemento rocoso para acoplar los pilares que conformaban la estructura, y sobre estos elementos se colocaban la madera llamada soleras que cumplían con la función de cadena. En la actualidad las

cimentaciones en piedra siguen estando presentes debido a las grandes propiedades físico-mecánicas que presentan, ayudando como un soporte general entre el suelo y la estructura. Además, este material es comúnmente utilizado como muros al ser tallados como adoquines o ciertas formas que conforman un atractivo único en las edificaciones y caminos.

En la zona del cantón Azogues el tipo de roca más utilizada es la lutita y andesita debido a que en la litología del lugar predomina dicho material, a continuación, en la (Tabla 8) se presentan sus propiedades.

Tabla 8. Propiedades físico-mecánicas de la lutita y andesita

Roca			
Propiedades	Unidad	Andesita	Lutita
Densidad	gr/cm ³	2.61	2.88
Peso específico	KN/m ³	25.65	28.25
Porosidad Abierta	%	3.96	6.35
Absorción	%	1.60	2.2
Resistencia a la compresión	MPa	152.52	35.22

Fuente: (Torres & Poterico, 2013)

3.4.5. Ladrillo

El ladrillo también constituye en ciertas edificaciones patrimoniales como elementos principales de muros y tabiquería, la principal ventaja del uso de estos elementos es que permite ajustar la temperatura interior de las edificaciones, es decir que en invierno las paredes ofrecen calidez, mientras que en días calurosos ofrece un ambiente refrescante. Los ladrillos están conformados principalmente de arcillas sedimentarias constituidas por diferentes minerales; este elemento es producto de su cocción a una temperatura de 350 °C.

Los valores de esfuerzo–deformación conseguidos del ensayo a compresión llevado a cabo en 25 muestras de ladrillos de tipo panelón que es el comúnmente utilizado en edificaciones antiguas, en la ciudad de Cuenca, y por medio de una aproximación presentan el módulo de compresión E_c , obtenido para un esfuerzo normal de 10 Kg/cm², y el módulo de elasticidad E (Neira & Ojeda, 1992).

$$E_c = 1961 \frac{Kg}{cm^2} \text{ con una desviación de } \pm 310 \frac{Kg}{cm^2}$$

$$E = 2156 \frac{Kg}{cm^2} \text{ con una desviación de } \pm 354 \frac{Kg}{cm^2}$$

Usando un sistema que consiste en que la unidad de ladrillo no está sometida a flexión ni compresión, obligando a fracasar por planos obligados, se obtiene la resistencia del ladrillo a corte (Neira & Ojeda, 1992).

$$\tau = 13.31 \frac{Kg}{cm^2} \text{ con una desviación de } \pm 1.42 \frac{Kg}{cm^2}$$

En la (Tabla 9) se puede apreciar las propiedades mecánicas de tres muestras de ladrillos, realizadas en la ciudad de Cuenca, que a pesar de ser elaborados en otra parte técnicamente son aplicables en las edificaciones de la ciudad de Azogues, debido a que las propiedades de la materia prima de este elemento son similares y a la corta distancia entre las dos ciudades; estos ensayos fueron realizados en una etapa inicial de construcción.

Tabla 9. Propiedades mecánicas de Ladrillos

Ladrillo Panelón				
Propiedades	Unidad	MUESTRA 1	MUESTRA 2	MUESTRA 3
Resistencia a la compresión	Kg/cm2	91	55	103
Resistencia a la flexión	Kg/cm2	11	7	11

Fuente: (Bravo & Flores, 2015)

3.4.6. Mortero

El mortero es el material conformado por barro, cal hidráulica o altamente hidráulica, que permite unir los elementos de adobe, en ocasiones se le adiciona cemento, pero uno de los principales materiales que deben conformarlo es la arena gruesa, con el fin de evitar fisuras a causa de la retracción durante el secado. La cantidad de arcillas que este elemento debe poseer puede variar entre el 4% al 10%. El origen de las fisuras por retracción también puede ser evitados si la capa de mortero es delgada. Las principales ventajas de trabajar con mortero de barro es que al momento de construir este no es perjudicial para la piel a diferencia del mortero de cal que puede provocar alergias (Minke, 2005).

En la (Tabla 10) se presenta las propiedades mecánicas realizadas a dos muestras de mortero de un mismo entorno.

Tabla 10. Propiedades mecánicas de mortero de adobe de la ciudad de Cuenca

Mortero			
Propiedades	Unidad	MUESTRA 1	MUESTRA 2
Módulo de Elasticidad	MPa	174.52	74
Resistencia a la compresión	MPa	4.59	2.46
Limite líquido	%	49.71	44.06
Limite Plástico	%	27.62	33.83
Índice de Plasticidad	%	22.08	10.23

Fuente: (Aguilar & Quezada, 2017)

Se establece mediante ensayos y la carta de plasticidad que la muestra 1 de mortero está compuesto de un suelo tipo CL, es decir un material de granulometría fina con presencia de arcillas inorgánicas de plasticidad media, mientras que la muestra 2 está compuesto de un suelo tipo ML, es decir un material fino con limos inorgánicos de compresibilidad regular y arcillas de denominación orgánica (Aguilar & Quezada, 2017).

3.5. Sismicidad en la Ciudad de Azogues

Gracias a la información proporcionada por la Red de Monitoreo Sísmico Ecuatoriano (RENSIG), se tiene registrado y caracterizado todo evento sísmico en Ecuador; esta red está bajo la supervisión que desempeña el Instituto Geofísico, desde los años setenta. A partir de 1990 provee soluciones de adquisición de datos para terremotos, en el año 2008 comenzó su actualización, con el objetivo de adquirir una red más avanzada que puede abastecerse de información de todo el territorio ecuatoriano, con ese motivo poner obtener con un mejor detalle las características de los sismos dentro del país (N. Romero, 2016).

En (ANEXO 1) se puede observar el sismo de mayor importancia registrado instrumentalmente en la ciudad de Azogues, tiene una magnitud 5.1 grados en la escala de Richter, el día 3 de marzo de 1999.

En el catálogo sísmico histórico se revela un sismo de importancia en el sector del Austro Ecuatoriano, en diciembre de 1970, que afectó los templos de la ciudad, y algunas viviendas. Sobre los efectos de este sismo se ha hecho investigaciones partiendo de la documentación disponible de los registros municipales de la ciudad de Azogues, sin encontrar documentos que relaten de forma más detallada dicho movimiento telúrico, personas residentes del lugar, no recuerdan de algún sismo fuerte en los últimos 50 años, (N. Romero, 2016).

Un estudio de vulnerabilidad sísmica en edificaciones realizado anteriormente en la ciudad de Azogues con la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, que es representado por los índices de vulnerabilidad tipológico que depende en esencia del sistema constructivo de la edificación a analizar, el índice regional que hace referencia a las características propias de la zona de construcción como materiales o procesos constructivos y el índice de vulnerabilidad el cual está categorizado en letras desde la A hasta la F con sus correspondientes valores siendo los tonos rojo y naranja vulnerabilidades altas mientras que los colores claros como el verde de vulnerabilidad baja o media, como se puede apreciar en la (Tabla 11).

Tabla 11. Vulnerabilidad sísmica de edificaciones en la ciudad de Azogues por el método de Giovinazzi y

Lagomarsino

RESUMEN DEL CALCULO DE LA VULNERABILIDAD Y SU PERTENENCIA						
Tipologías de la ciudad de azogues	VULN. TIPOLÓGICO	VULN. REGIONAL	MODIF. SÍSMICO	ÍNDICE DE VULN.	CLASES DE VULN.	COLOR
Mampostería	VI*	ΔVR	ΔV_m	VI		Clase vuln.
Adobe (estado bueno)	0.84	0.02	-0.04	0.82	A	
Adobe (estado malo)	0.84	0.02	0.04	0.9	A	
Ladrillo no reforzado piso de hormigón	0.616	0.02	0.12	0.76	B	
Roca masiva	0.616	0.02	0.16	0.8	A	
Hormigón armado	VI*	ΔVR	ΔV_m	VI		CLASE VULN.
Armazón sin diseño sismo resistente						
Edificación de dos pisos tipo villa	0.644	0.08	0.06	0.784	A	
Edificación de 3, 4 o 5 pisos	0.644	0.08	0.06	0.784	A	
Edificaciones más de 5 pisos	0.644	0.08	0.1	0.824	A	
Diseño medio sismorresistente	0.484	0.08	0.05	0.614	B	
Acero	VI*	ΔVR	ΔV_m	VI		
Estructuras de acero	0.324	0.08	0	0.404	D	

Fuente: (N. Romero, 2016, p. 136).

Se puede apreciar en la (Figura 22) la representación gráfica de los resultados plasmados de la (Tabla 11), sin tomar en cuenta el índice regional debido principalmente a que gran parte de

las edificaciones emplazadas en la ciudad de Azogues corresponden a tipologías construidas con adobe y bahareque, los cuales son altamente vulnerables, sin importar cualquier calibración que se le haga a dicho método, demostrando así que la gran mayoría presentan la clase de vulnerabilidad “A y B” es decir vulnerabilidad sísmica alta según GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO, desde el año de 1970 en adelante, se realizaron construcciones de hormigón armado con las diferentes tipologías; sin control de diseño sismorresistente, ni cuidado en la metodología constructiva; en los últimos años se han construido edificios de hormigón armado con un criterio moderado de sismo resistencia, teniendo diseños a carga lateral, (N. Romero, 2016).

El factor de regionalidad es un parámetro requerido para calibrar la metodología de Giovinazzi y Lagomarsino, tiene el fin de corregir los rangos de vulnerabilidad sísmica relacionados con las distintas tipologías estructurales presentes en este método. Este factor considera las variaciones que se presentan en edificaciones de la misma tipología, pero que fueron concebidos con diferentes materiales y procedimientos constructivos, los cuales pueden influir dentro de la determinación de la vulnerabilidad sísmica. Para cuantificar el índice regional se debe pedir la opinión de expertos en el área y contar con historiales sísmicos de la zona de interés (N. Romero, 2016).

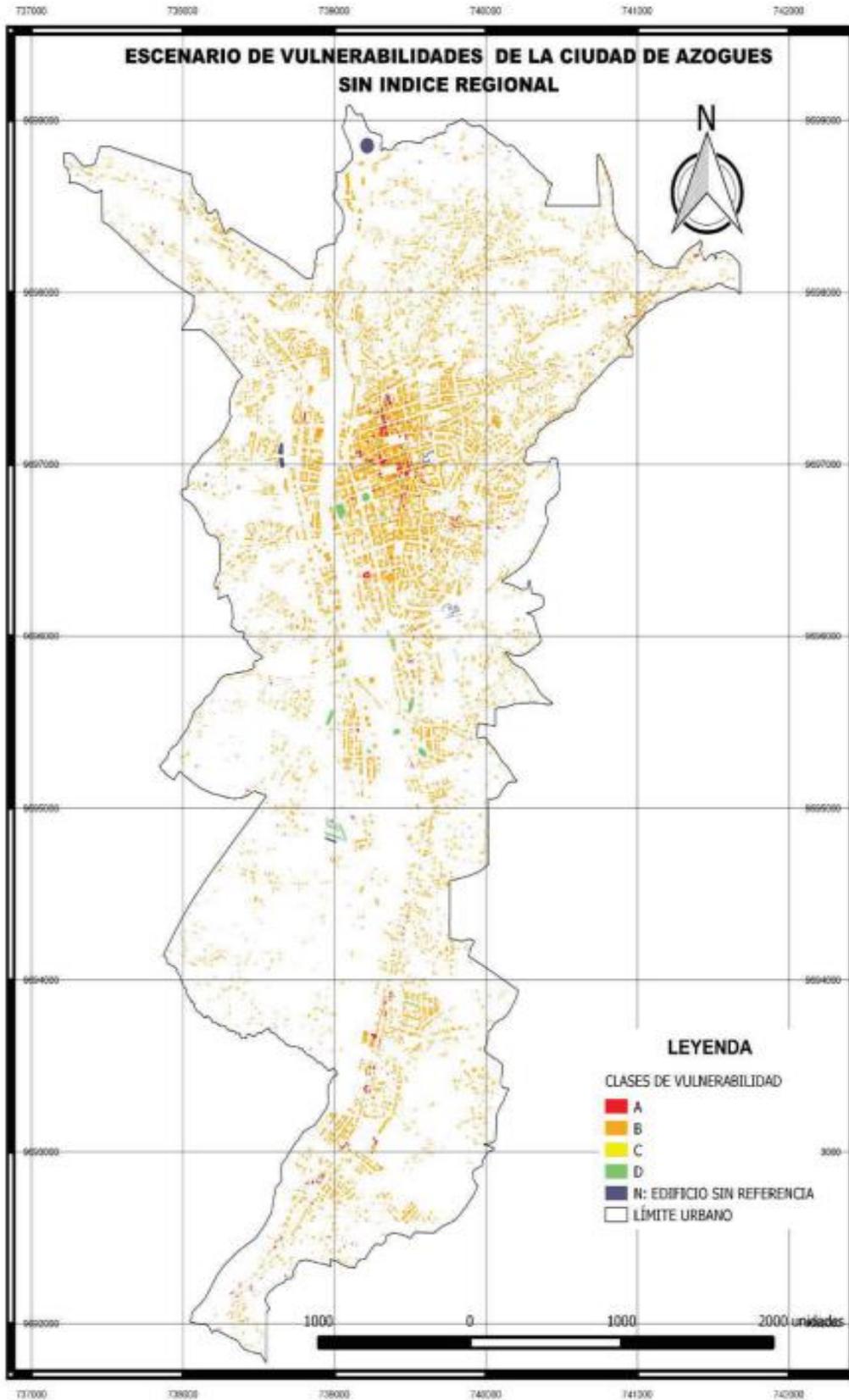


Figura 22. Escenarios de vulnerabilidad sísmica según GIOVINAZZI Y LAGOMARSINO.

Fuente: (N. Romero, 2016, p. 139).

3.5.1. Propiedades del suelo de la zona

Las zonas de mayor concentración de bienes inmuebles patrimoniales están emplazadas en las formaciones geológicas Azogues, Guapán y Biblián, ambas presentan propiedades litológicas similares, a continuación, se describirá cada una de ellas.

La siguiente información es obtenida del estudio de nombre PRECUPA que contiene datos detallados de las formaciones geológicas y aspectos geotécnicos de la provincia del Azuay y Cañar.

3.5.2. Formación Guapán (Mg)

3.5.2.1 Descripción geológica

“Facies superior de la Fm. Azogues. Nombrada por vez primera por geólogos del Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo en 1965 – 1969” (Basabe et al., 1998, p. 29) .

Afloramientos: “ocurrencia restringida a la parte Norte del sinclinal Azogues. Aflora en las laderas del valle de Azogues, forma el subsuelo de esta ciudad” (Basabe et al., 1998, p. 29)

Litología: “parecida a Fm. Loyola, pero con más aporte volcánico. Consiste en lutitas de color café oscuro a negro y cremas. Localmente se observan tobas y areniscas tobáceas, así como bentonitas y estratos de yeso. Hay abundantes plantas fósiles” (Basabe et al., 1998, p. 29).

Espesor y tectónica: “en la parte Este – Central se le atribuye 350 m. Formación afectada por deformaciones y fallas post-sedimentarias en pliegues de arrastre” (Basabe et al., 1998, p. 29).

Edad y génesis: “como miembro superior de la Fm. Azogues se le asigna edad de Mioceno Tardío como depósitos continentales” (Basabe et al., 1998, p. 29).

3.5.2.1 Comportamiento geotécnico

Condiciones geodinámicas. - “erosión y movimientos del terreno al estar expuestas y saturación de materiales, observándose mayor influencia por la conjunción de juntas (estructuras y en especial la estratificación) favorecidas por la pendiente” (Basabe et al., 1998, p. 29).

Condiciones hidrogeológicas. - “baja permeabilidad del macizo que mantiene húmedo al material y flujos guiados por las discontinuidades” (Basabe et al., 1998, p. 29).

Condiciones estructurales. - “materiales con repartición heterogénea de discontinuidades. Zonas físis y otras competentes. A su vez el macizo sufrió importantes deformaciones” (Basabe et al., 1998, p. 29).

En la (Tabla 12) se puede observar el tipo y las características del suelo correspondiente a esta formación geológica.

Tabla 12. Valores estimados a partir de las características físicas del tipo de suelo en la formación Guapán

Clasific.S UCS	Parámetros físico-mecánicos							Clasificac. Bieniawski
	K (m/s)	γ (KN/m ³)	C' (MN/m ²)	ϕ' (°)	C _u (MN/m ²)	ϕ_u (°)	σ_c (MN/m ²)	
ML-CL principal.	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁸	18 -21	0.01- 0.03	25	0.3	15		IV

Fuente: (Basabe et al., 1998, p. 29)

Donde:

(CS –CL-SW) = Suelos aluviales.

(GW)= Depósitos coluviales con predominio de gruesos.

K= Permeabilidad.

γ = Peso específico natural.

C' = Cohesión en condiciones drenadas.

ϕ' = Angulo de fricción en condiciones drenadas.

C_u = Cohesión en condiciones no drenadas.

ϕ_u = Angulo de fricción en condiciones no drenadas.

σ_c = Resistencia a la compresión uniaxial en roca.

3.5.2.1 Susceptibilidad a terrenos inestables

“La Fm. Guapán es susceptible a roturas controladas por las discontinuidades y estratos físiles en condiciones húmedas. Materiales fragmentados propensos a la erosión laminar. La heterogeneidad de comportamiento del macizo condiciona el desarrollo de profundas superficies rotacionales de rotura” (Basabe et al., 1998, p. 30).

3.5.3. Formación Azogues (Maz)

3.5.3.1 Descripción geológica

Afloramiento: “la zona de estudio está presente en la cuenca sedimentaria, en los flancos del anticlinal de Cuenca, sinclinal de Azogues y de Cruz Loma. Grandes cortes en areniscas de la Fm. Azogues se ven en la nueva autopista Cuenca – Azogues” (Basabe et al., 1998, p. 32).

Litología: “Secuencia sedimentaria típicamente clástica. Areniscas tobáceas de grano medio a grueso café amarillentas con capas de lutitas, limolitas y pocas intercalaciones de conglomerados. Se encuentra fauna de moluscos y restos de plantas” (Basabe et al., 1998, p. 32).

Espesor y tectónica: “En el centro Oeste espesor aproximado 600 m. Formación afectada por deformaciones post-sedimentarias, plegada fuertemente, fallas” (Basabe et al., 1998, p. 32)..

Edad y génesis: “Recientes dataciones de trazas de fisión determinan edad del Mioceno Medio – Tardío. Según un estudio palinológico indica un ambiente de agua dulce. Estructuras sedimentarias como marcas de herramienta y algunos canales rellenos de conglomerados indican depósitos en un ambiente deltaico” (Basabe et al., 1998, p. 32).

3.5.3.1 Comportamiento geotécnico

Condiciones geodinámicas. E normal observar desprendimientos de bloques dentro de esta formación, “los deslizamientos involucran principalmente a la facie fina incompetente de los sedimentos Azogues, así como a sedimentos finos de la Fm. Loyola en condiciones saturadas (cond. geológico-geotécnicas)” (Basabe et al., 1998, p. 32).

Condiciones estructurales. “Las areniscas conglomeráticas se presentan medio rotas y las juntas cerradas a abiertas, rellenas de arena y bordes rugosos deleznable, las tobos y limolitas están muy fracturadas con aperturas < 10 mm, con relleno limo arenoso”. (Basabe et al., 1998, p. 32)..

Condiciones hidrogeológicas. “Permeabilidad media a alta por fracturación. Macizos poco húmedos a secos” (Basabe et al., 1998, p. 32).

Comportamiento geotécnico, en resumen. “Macizos competentes calificados como rocas IV-III, estables en pendientes > 30° caída de bloques en fuertes pendientes o taludes de corte. Algunos niveles lutíticos son poco competente y disminuyen su resistencia al corte en condiciones húmedas a través de planos de debilidad preferenciales”. (Basabe et al., 1998, p. 32).

Alta expansibilidad en materiales re trabajados de Azogues, en la (Tabla 13) se puede apreciar las propiedades físico-mecánicas del tipo de suelo en esta formación (Basabe et al., 1998, p. 32).

Tabla 13. Valores estimados a partir de las características físicas del tipo de suelo en la formación Azogues

Clasific. SUCS	Parámetros físico-mecánicos							Clasificac. Bieniawski
	K (m/s)	γ (KN/m ³)	C' (MN/m ²)	ϕ' (°)	C _u (M N/m ²)	ϕ_u (°)	σ_c (MN/m ²)	
	10 ⁻⁴ -10 ⁻⁶	13 - 26	0.1 – 0.15	35 - 45				III
	10 ⁻⁶ -10 ⁻⁸	19 - 21	0.05 – 0.1	30			4.5	IV

Fuente: (Basabe et al., 1998, p. 32).

3.5.3.1 Susceptibilidad a terrenos inestables de la Fm. Azogues

“Macizos heterogéneos de baja a mediana susceptibilidad a terrenos inestables en fuertes pendientes. Son propicios a caídas de bloques. Deslizamientos por fractura del macizo y la rotura de niveles de lutitas saturados de la misma o de la Fm. Loyola” (Basabe et al., 1998, p. 33).

3.5.4. Formación Biblián

“En esta formación hay presencia de argilitas, limolitas rojizas interestratificadas con areniscas tobáceas con grano fino a grueso y conglomerado con cantos subangulares de la Fm. Yunguilla, se encuentra yeso secundario en grietas” (Basabe et al., 1998, p. 36).

3.5.4.1 Andesita del Descanso

“Al inicio del encañonado del río Paute, sector del Descanso con coordenadas (UTM 9686000 737000), se ubica un antiguo complejo dómico formado por gruesos paquetes de lavas andesíticas y riolíticas” (Basabe et al., 1998, p. 37)..

“Las andesitas se observan en la parte occidental y las riolitas hacia el oriente. Por su cercanía, es posible que exista una relación genética entre estos domos y los volcánicos gruesos que se presentan en el borde oriental de la cuenca y que pertenecen a la formación Biblián. Dataciones efectuadas sobre las andesitas dieron edades de $19,7 \pm 0,5$ Ma y $21,0 \pm 0,6$ Ma” (Basabe et al., 1998, p. 37).

3.5.4.1 Comportamiento geotécnico, en resumen.

Las características que presentan ciertos materiales en condiciones mal drenadas provocan la reducción de la resistencia al corte del material, facilitando la fractura del macizo en los horizontes más débiles, en la (Tabla 14) se presenta un resumen de las propiedades físico-mecánicas producto del análisis realizado en esta formación (Basabe et al., 1998, p. 37).

Tabla 14. Propiedades físico-mecánicas de la formación Biblián.

CLASI FIC. SUCS	Parámetros físico-mecánicos						
	K (m/s)	γ (KN/m ³)	C' (MN/m ²)	ϕ' (°)	C _u (MN/m ²)	ϕ_u (°)	σ_c (MN/m ²)
ML-CL CH-SM	10 ⁻⁶ – 10 ⁻⁸	17 - 19	0.02- 0.05	18 - 25	0.05 – 0.1	10 - 15	

Fuente: (Basabe et al., 1998, p. 37).

3.6. Clasificación del tipo de suelo según la NEC

La NEC establece una serie de suelos que presentan diferentes características, las cuales son de vital importancia conocer para formalizar un análisis sísmico en el lugar donde se requerirá llevar a cabo una construcción. Por medio de la información proporcionada por los desarrolladores del proyecto PRECUPA se podrá categorizar el tipo de suelo que establece la NEC, para formaciones geológicas mencionadas anteriormente. Tanto formación Guapán, Azogues y Biblián según lo estipulado en los estudios realizados en el Proyecto PRECUPA, la resistencia al corte en condiciones no drenadas redondea los 300 a 50 KPa, concluyendo que la categorización perteneciente a los suelos que conforman la zonas donde se encuentran las edificaciones del centro urbano de la ciudad de Azogues corresponde a un tipo C para la formación Guapán y Azogues, que estable velocidades de onda cortante de suelo mayores o iguales a 360 m/s y menores a 760 m/s ($360 \text{ m/s} \leq V_s < 760 \text{ m/s}$), mientras que para formación Biblián se establece un suelo tipo D con velocidades de onda de corte ($180 \text{ m/s} \leq V_s < 360 \text{ m/s}$).

Como se puede observar en este último apartado del presente trabajo de titulación, el suelo donde se emplazan las edificaciones patrimoniales según la clasificación geomecánica RMR Bieniawski, realizada por el proyecto PRECUPA, mostrada en la (Tabla 12) y (Tabla 13), concluyen que estos estratos pertenecen a las categorías III y IV denominadas de calidad media y mala respectivamente. además, entra en la clasificación tipo C y D según la NEC, por lo que a diferencia de los suelos tipo A y B, estos pueden afectar a la estructura a través de un evento sísmico de determinada magnitud si no se toma en consideración un diseño sismorresistente adecuado, el cual no contemplan las edificaciones patrimoniales.

3.7. Fallas geológicas de la zona

En la zona de estudio referente al cantón Azogues, se puede identificar dos tipos de fallas geológicas como se muestra en la (Figura 23), que corresponden a las fallas de Cojitambo y Peltetec, a continuación, se detallan cada una de ellas.

3.7.1. Falla Cojitambo

Corresponde a un lineamiento orientado en dirección N-S, que gradualmente cambia de sentido E-O, culminando en las rocas volcánicas ubicadas al este del cantón Biblián. La Falla del Cojitambo probablemente es el resultado de la transpresión local operada mediante la actividad dextral de la Falla Taray en los alrededores de Biblián, el cual hizo el papel de un conducto por donde tuvo origen la intrusión del Cojitambo, además es la culpable del afloramiento superficial de rocas volcánicas del Grupo Saraguro (Verdezoto, 2006)

3.7.2. Falla Peltetec

La Falla Peltetec es reconocida como una de las estructuras principales del basamento metamórfico, se une en dirección norte en un lineamiento visible en imágenes satelitales, que sigue el curso del río Chambo. Esta antigua falla divide las zonas Guamote y Alao (Litherland et al., 1994).

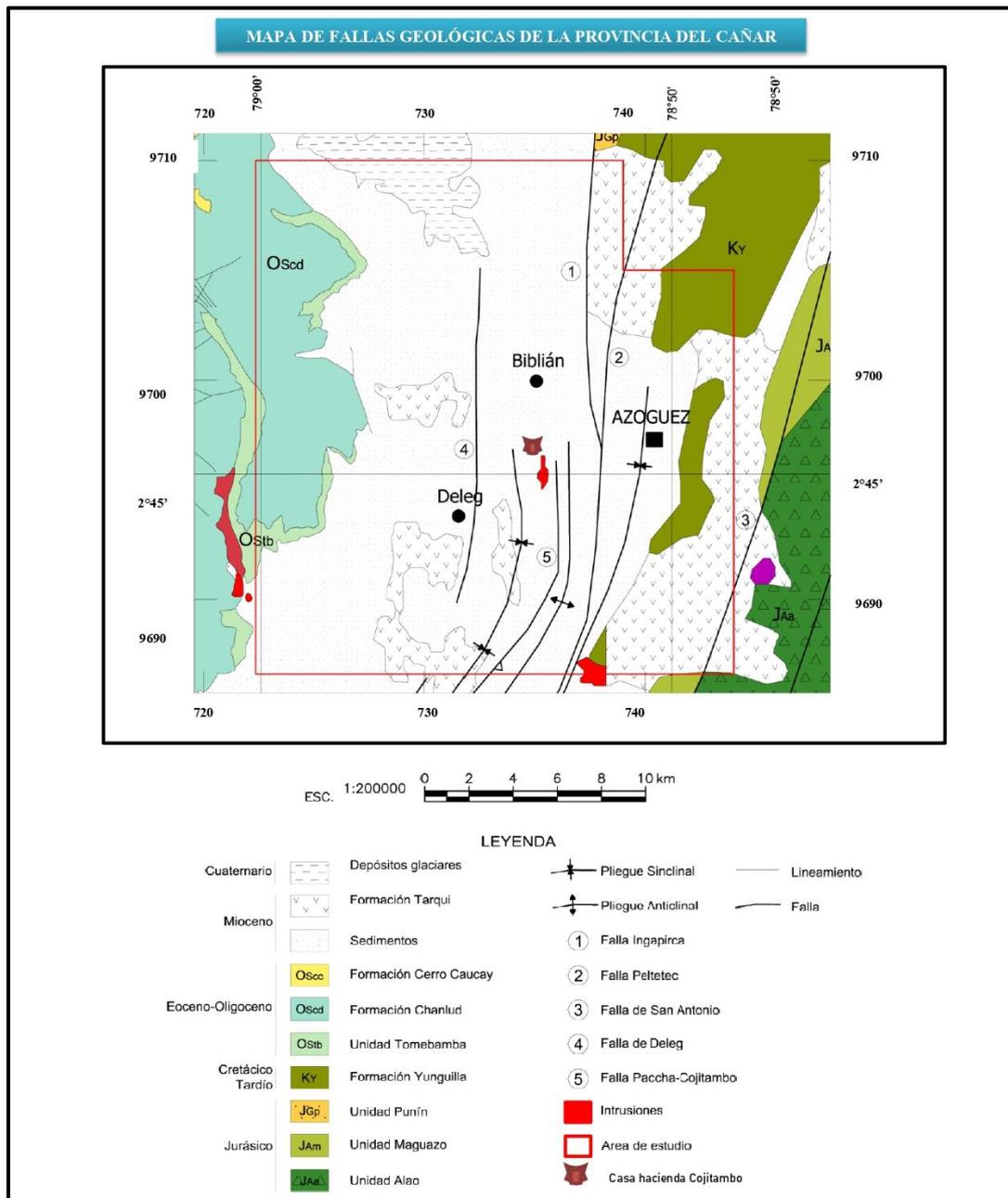


Figura 23. Fallas geológicas presentes en la provincia del Cañar.

Fuente: (Verdezoto, 2006, p. 19)

3.8. Descripción de edificación patrimonial seleccionada

La Casa-Hacienda ubicada en la provincia del Cañar, cantón Azogues, esta edificación conforma tiempos memorables de la parroquia Cojitambo, se desconoce el año en que fue

edificado la Casa – Hacienda, pero en base a los testimonios de moradores de la zona se estima que esta entre fines siglo XIX y principios del XX. Este inmueble perteneció a los estratos de la alta clase y a la iglesia católica en la cual el Dr. Eulogio Astudillo Cordero nombrado como primer párroco del sector, celebraba las misas en este establecimiento. Además, esta edificación es recordada principalmente por varios moradores de Cojitambo como el centro de educación donde personas recibían su título escolar y de bachiller, el estado actual de la edificación es deficiente, debido a que no se ha realizado ninguna intervención para conservar la integridad de la misma, por lo que la municipalidad de Azogues, tiene como objetivo aplicar una intervención tanto estructural como arquitectónica para preservar el gran valor histórico que representa esta inmueble patrimonial.

Gracias al GAD Municipal de Azogues, la cual fue la entidad que facilitó, información clave para el desarrollo de este trabajo de titulación, principalmente proporcionando estudios previos realizados a este inmueble, con lo que se pudo identificar principalmente el estado actual de los materiales que componen este inmueble.

3.8.1. Ubicación

La Casa-Hacienda Pillcomarca se emplaza en la parroquia de Cojitambo a unos 15 minutos de la ciudad de Azogues, específicamente en las coordenadas WG584Z17S. Norte: 735249.00, Este: 96953399.00, Altura: 2822.00, ver (Figura 24).

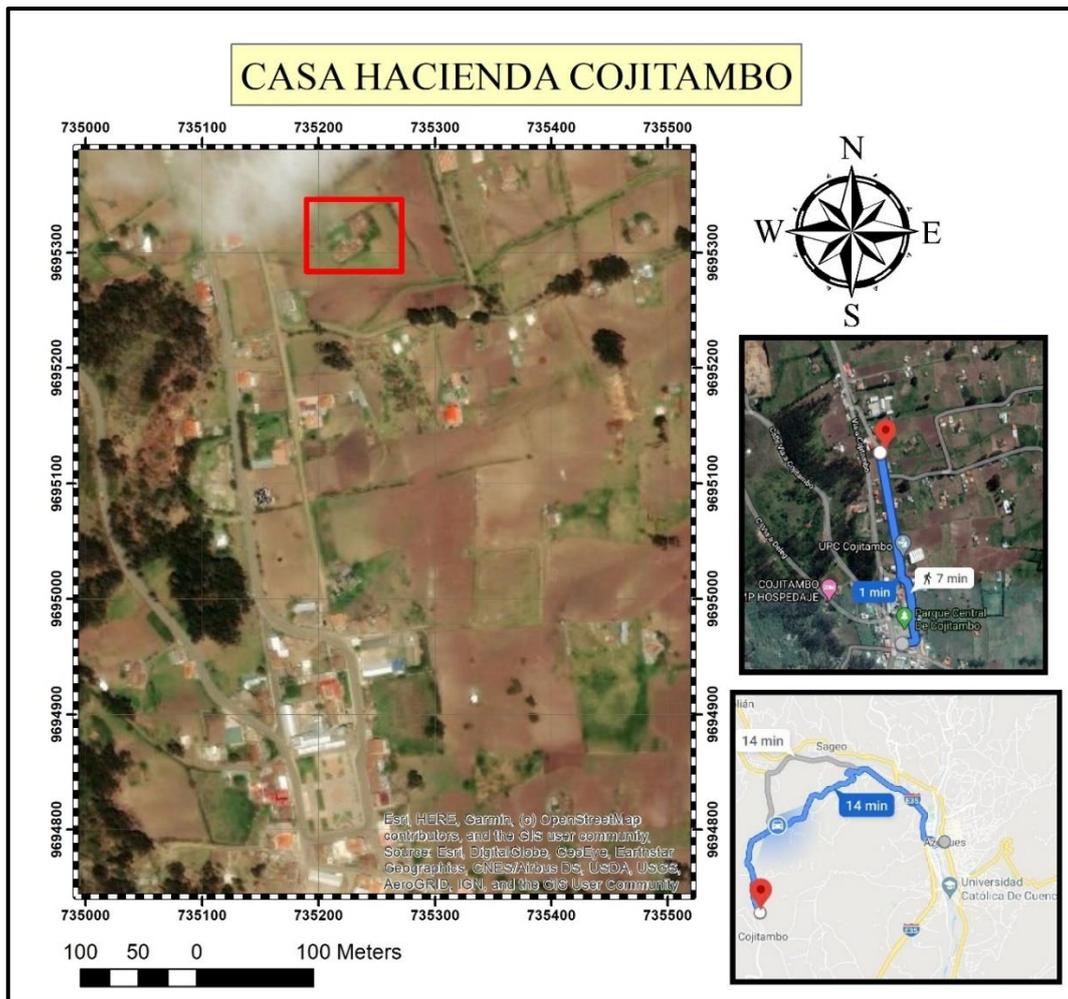


Figura 24. Ubicación específica de Casa-Hacienda Cojitambo

Elaborado: Autor

3.8.2. Áreas

Las áreas que corresponden a la Casa- Hacienda se plasman en la (Tabla 15).

Tabla 15. Áreas de la Casa-Hacienda Cojitambo

Predio	6481.29 m²
Sótano	22.41 m ²
Planta baja	378.28 m ²
Planta alta	77.32 m ²
Área total construida	478.01 m ²

Fuente:(Cabrera, 2011)

3.8.3. Usos y funciones

Como primer uso desde su construcción esta edificación fue utilizada para habita familiar, posteriormente la demanda de carga que se empleó sobre él fue aumentando al ser usado como espacio comunitario para celebrar misas, y por último fue utilizado como un centro de educación para las personas de la zona, hoy en día sigue en uso, por los moradores de Cojitambo como zona de almacenaje de cultivos, pero la municipalidad de Azogues tiene como propósito recrear este establecimiento como un centro cultural con salas de exposiciones de piezas arqueológicas del sector, con el fin de promover el turismo y dar a conocer a todas las personas que visitan la parroquia de Cojitambo las raíces de la cultura que representa el sector.

3.8.4. Materiales para la estructura

- Madera (Eucalipto)
- Adobe
- Bahareque
- Piedra andesita
- Teja cocida artesanal
- Mortero de barro
- Carrizos
- Bloque

3.8.5. Descripción exterior

La Casa-Hacienda está compuesta principalmente de dos bloques que forman un volumen en geometría de L. En la parte principal denominado en esta investigación como bloque 1 se muestra en la (Figura 25). El bloque 1 consiste de un marco doble, central de dirección este a oeste, cuenta con una cubierta de teja artesanal, es de un solo nivel. El bloque siguiente

denominado bloque 2 que se muestra en la (Figura 26) presenta una configuración de planta rectangular, con dos corredores y un balcón, cuenta con dos niveles.

El sistema constructivo general implementado en esta edificación son muros realizados en bloques de adobe y madera que genera los portales, con referencia a las ventanas, barandas, dinteles y contraventanas, los mismos que están conformados de madera, el bahareque también es uno de las materias utilizados en la edificación, los miembros que están construidos con este componente son los muros traseros del bloque principal, la cimentación está formada por basas de andesita y muros de piedra pegadas con barro.



Figura 25. Casa Hacienda Cojitambo bloque 1

Elaborado: Autor



Figura 26. Casa Hacienda Cojitambo bloque 2

Elaborado: Autor

3.8.6. Valor patrimonial

La edificación entra a la categoría de arquitectura selectiva, la Casa-Hacienda es una construcción sólida que cumple con los criterios de autenticidad e integridad que se necesita para conseguir la denominación de edificación patrimonial, al haber evidenciado hechos importantes y estar emplazada en uno de los lugares con mayor valor arqueológico de la provincia del Cañar (Cabrera, 2011).

3.8.7. Descripción de muros, paredes y tabiques

En el bloque 1 se puede observar que están conformadas por muros de adobe de 60 a 90 cm de espesor, además se puede evidenciar la presencia de muros realizados con bahareque. En cuanto a los muros correspondientes al bloque 2 estos presentan secciones más robustas entre 55 a 130 cm contruidos con mampostería de adobe acortándose a lo largo de la pared y piedra con tabiquería principalmente de madera. Cabe recalcar que en la parte se encuentra un material distinto, el cual es el bloque pómez, que a simple vista se ve que es una ampliación que la ha realizado al pasar de los años.

3.8.8. Descripción de la cimentación

El sistema de cimentación con el que cuenta de la Casa Hacienda está conformado principalmente por piedra propia de la zona que es la andesita, estas piedras están colocadas una encima de la otra y unidas por barro. La profundidad máxima es de 135 cm, además la piedra empleada en esta construcción se la ha utilizado como medio para salvar las pendientes discontinuas que presenta el terreno ayudando a lograr hasta 2 m de altura, permitiendo así poder colocar a la edificación en un solo nivel.

3.8.9. Descripción de cubierta

Conformada principalmente en ambos bloques por madera de eucalipto y teja artesanal forman entre 3 a cuatro aguas, su configuración cuenta principalmente con teja, barro, vigas y viguetas de madera.

3.8.10. Descripción de pilares

Los pilares conformados por eucalipto, de dimensiones aproximadas del fuste el cual hace referencia a la parte entre la basa y el capitel de 20 x 20 cm, con una característica en particular la cual es un chaflán en la parte superior del elemento estructural. La edificación cuenta con 9 pilares en total, estos se usan principalmente como soporte de los aleros, de esa forma se puede concluir que los muros son la parte principal del sistema de soporte de cargas.

3.8.11. Patologías estructurales principales en la edificación

Se establece que el 65.75 % de los muros de la planta baja presentan un valor alto de deterioro. Se desglosa este apartado según el material que los constituyen y en el nivel que se encuentren ubicados. Con lo que respecta a la primera planta los muros de adobe presentan porcentajes de 15.92 % en buen estado, 37.66 % regular y malo 12.16 %, en cuanto a los muros de bahareque 14.63 % en estado bueno, 11.26% regular y 1.52 % en mal estado (Cabrera, 2011).

En la planta alta al ser constituida principalmente con muros de bahareque se estima que el 81.72% de estos miembros están en buen estado y el resto en mal estado concluyendo que la primera planta está en buenas condiciones (Cabrera, 2011).

En la parte de los pilares y las vigas, estos elementos presentan deterioro debido a que no se ha dado un mantenimiento adecuado, y al pasar del tiempo por efecto de factores externos, han perjudicado el estado de la madera del cual están compuestos todos los elementos de este tipo.

La cimentación de la Casa-Hacienda presenta algunos problemas siendo perjudicial para la seguridad de sus habitantes, en la parte trasera se encuentra colapsado cierta para de la

estructura de cimentación, generando inestabilidad y deficiencia de la estructura para transmitir las cargas hacia el suelo, en la (Figura 28), (Figura 29), (Figura 30) se puede observar el estado de los miembros estructurales de la Casa-Hacienda.

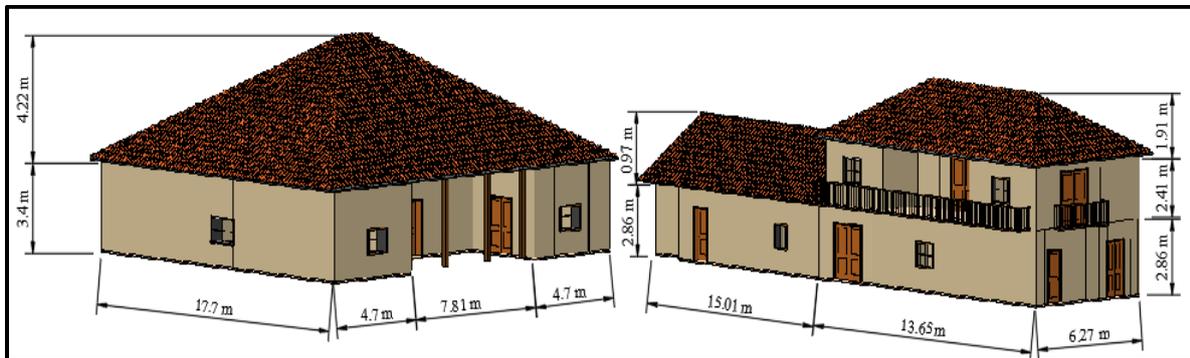


Figura 27. Modelado 3D de Casa-Hacienda Cojitambo

Elaborado: Autor

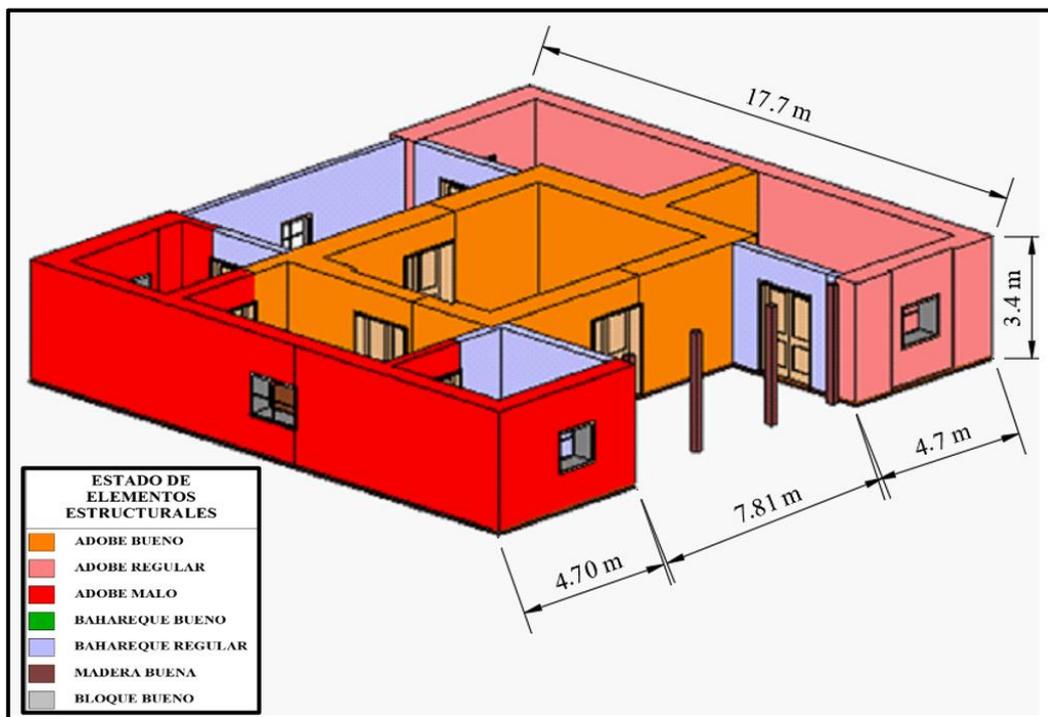


Figura 28. Estado estructural del bloque1 Casa-Hacienda Cojitambo.

Elaborado: Autor

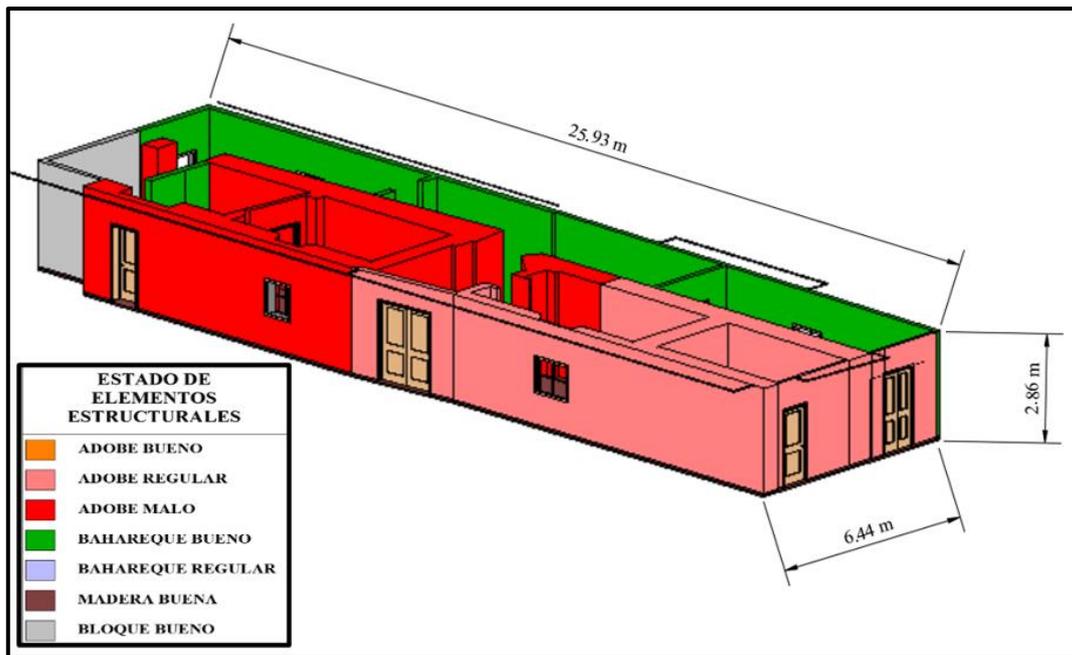


Figura 29. Estado estructural del bloque 2 primera planta Casa-Hacienda Cojitambo.

Elaborado: Autor

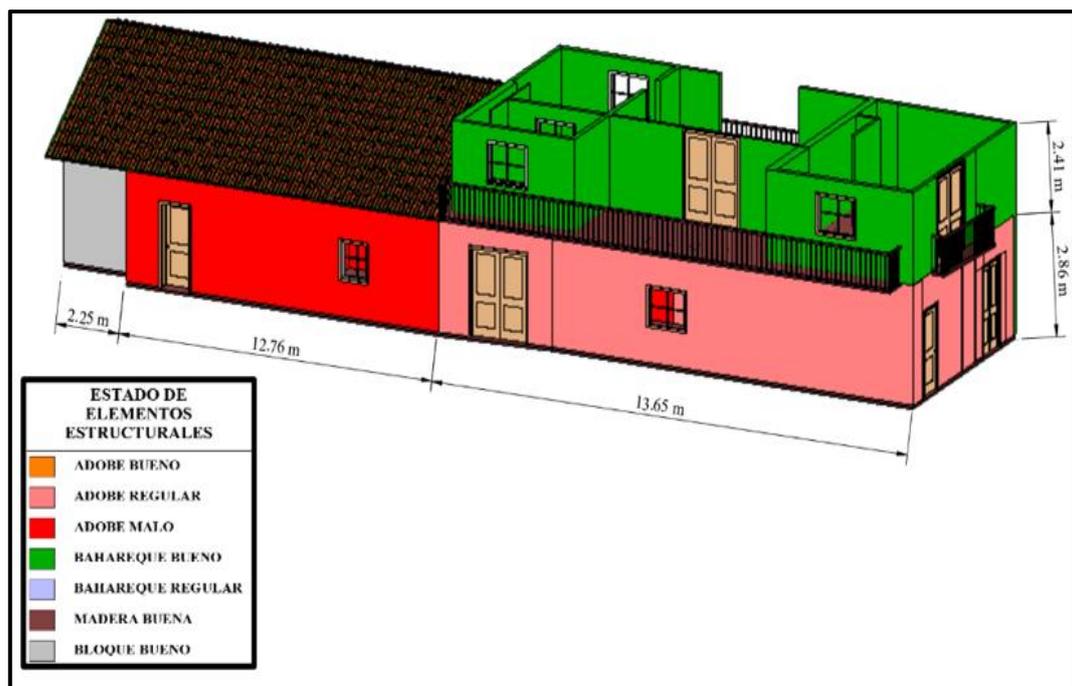


Figura 30. Estado estructural del bloque 2 segunda planta Casa-Hacienda Cojitambo.

Elaborado: Autor

4. Metodología para determinar la Vulnerabilidad Sísmica y el Índice de Daño

A lo largo de la historia diversos investigadores en la rama de la ingeniería han desarrollado varias metodologías que tienen como fin determinar las condiciones que presentan edificaciones en particular con referencia a parámetros específicos relacionados con su caracterización estructural y comportamiento en función de sus solicitaciones. En el trabajo de titulación **Metodología aplicable para el análisis y determinación de vulnerabilidad de edificaciones patrimoniales en el cantón Azogues frente a un evento sísmico**, se pretende indagar y seleccionar una metodología que permita cumplir con los objetivos propuestos de tal manera que se ajuste de la mejor forma a las características y condiciones que presentan las edificaciones patrimoniales del lugar. Para ello se ha optado por analizar varias alternativas de metodologías tanto analíticas como subjetivas empleadas actualmente, para identificar cuál tipo de método es el más conveniente, y de esa forma poder direccionar esta investigación al caso que mejor se ajusta al tema objeto de la investigación.

Al final de la presente sección también se aborda el concepto de índice de daño, y se trata sobre algunas metodologías empleables para su estimación, con el fin de reforzar la metodología que se seleccione en el caso de vulnerabilidad y tener una idea generalizada del riesgo que puede llegar a tener, si no se realiza una pronta intervención estructural

4.1. Métodos analíticos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una edificación

Los métodos analíticos son la evaluación más confiable para determinar la vulnerabilidad de edificaciones frente a eventos sísmico con características muy particulares y en general, son desarrollados mediante modelos matemáticos complejos. Estos análisis requieren de verificaciones de derivas máximas según la normativa vigente en cada país, análisis dinámicos en el rango plástico que permiten conocer el comportamiento de la estructura previo al colapso, entre otros, dependiendo del nivel de detalle e información

que se requiere obtener del análisis. Estos métodos conllevan una gran complejidad y requieren mayor trabajo, por ello muchas profesionales toman distintas alternativas según las condiciones para cada caso.

Toda estructura sismorresistente debe pasar por complejos análisis que garanticen que sus elementos y sus propiedades sean idóneos para asegurar una estructura funcional para el papel que desempeñará dentro de su lugar de emplazamiento, ya que es incierto, pero no descartado que se puede someter a movimientos sísmicos fuertes, y que algunas de sus vigas y columnas experimenten deformaciones inelásticas importantes. “El modelo mecánico utilizado para analizar dicha estructura debe ser capaz de reproducir las deformaciones cíclicas inelásticas experimentadas por sus elementos debido a las cargas dinámicas aplicadas” como se puede observar en (Figura 31) (Arteaga, 2016, p. 18).

La selección de este modelo se basa en dos ideales muy importantes:

- La calidad de los resultados en cuanto a precisión.
- El costo que llegará a tener el análisis referente al ámbito computacional.

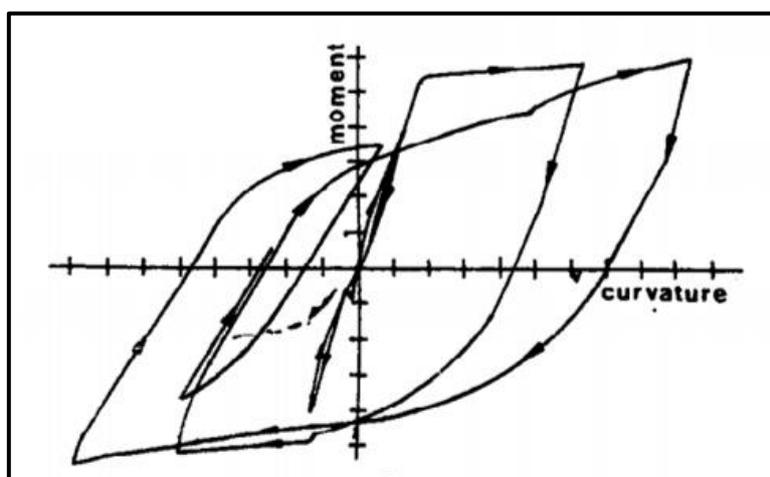


Figura 31. Curva de histéresis esfuerzo-deformación de un elemento estructural.

Fuente: (Park & Ang, 1985)

4.1.1. Metodología Hazus

Esta metodología fue creada y desarrollada, mediante una cooperación entre las instituciones americanas Agencia Federal para el Manejo de Emergencias (FEMA) y el Instituto Nacional de la Construcción y Ciencia (NIBS). La metodología Hazus que viene de la abreviatura de Hazard US, fue desarrollada como un proyecto para estimar las pérdidas potenciales debido a los terremotos (N. Romero, 2016).

Dentro de las variables que se contemplan para la aplicación de la metodología Hazus se recalca las más relevantes:

- Desarrollo de escenarios sísmicos, con los cuales se pueden llevar a determinar cartográficas del PGV, que posterior a ello se pueden relacionar con la metodología EMS. (N. Romero, 2016).
- El desarrollo y la implementación de ecuaciones de atenuación sísmica del terreno necesarias para llevar a cabo el análisis (N. Romero, 2016).
- Se obtiene un registro de todas las edificaciones afectadas por el sismo, se apoyan en la información disponible sobre la caracterización de la zona en relación a la actividad sísmica (N. Romero, 2016).

Como se puede observar en la (Figura 32) esta metodología no tiene limitantes referentes a los tipos de edificaciones, por lo que es ampliamente aplicable a todo sistema estructural, de manera que se puede utilizar en edificaciones patrimoniales, siempre y cuando se disponga de toda la información y se lleve a cabo todos los análisis que requiere para su pleno desarrollo. Al tratarse de una metodología extensa que exige una recopilación basta de información para poder obtener los resultados esperados.

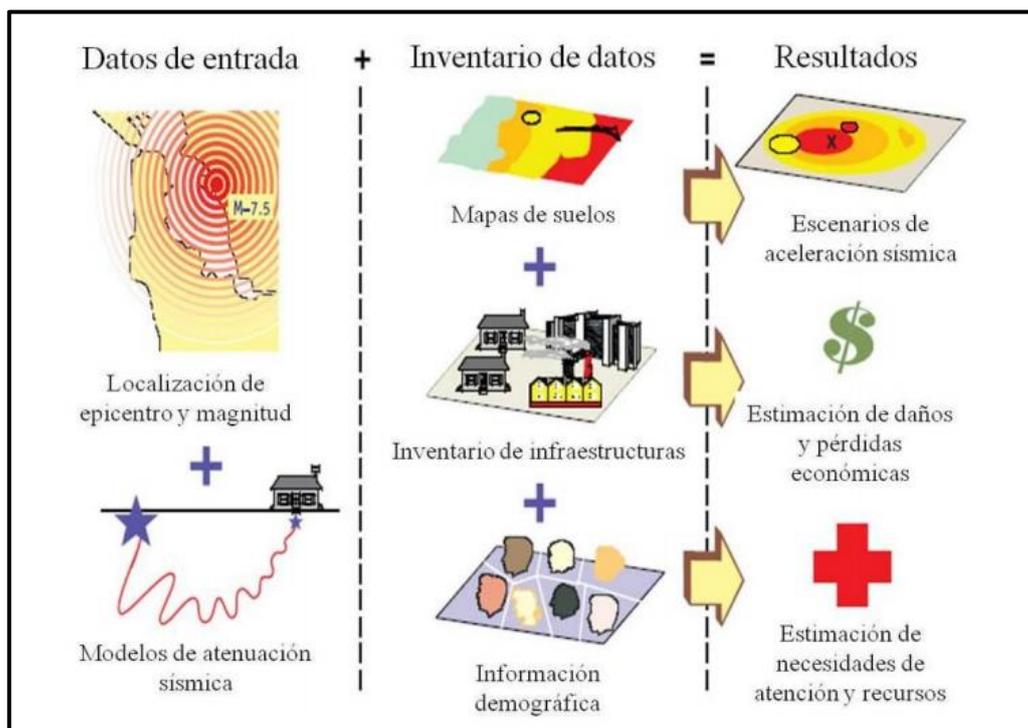


Figura 32. Estructura resumen del método Hazus

Fuente: (FEMA, 2002)

Para que este método sea aplicado a otras urbes que no sea EEUU, se necesita de la investigación de funciones de fragilidad y curvas de capacidad, que sean calibradas para la zona que se va a estudiar.

4.1.2. Método NSR-10

Según la norma colombiana referente al diseño sismorresistente de estructuras de 2010, específicamente en el capítulo A.10.7, titulado análisis de vulnerabilidad, se enfoca principalmente en la determinación del grado de vulnerabilidad de las estructuras edificadas antes de la publicación de los primeros reglamentos de construcción. Por ello este método está relacionado con edificaciones patrimoniales en esencia.

Para desarrollar una evaluación referente a la vulnerabilidad utilizando esta metodología, se debe llevar a cabo análisis dinámicos de la estructura, en base a esto se podrá llegar a un entendimiento claro de la capacidad de disipar energía sísmica, y en base a este proceso

se obtiene los índices de flexibilidad y sobre-esfuerzos, necesarios para categorizar el grado de vulnerabilidad sísmica que tiene una construcción (Llanos & Vidal, 2003).

4.1.3. Método FEMA 178

La Agencia Nacional Federal para el Manejo de Emergencias es un departamento de los Estados Unidos, que ha establecido una metodología capaz de determinar la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones, en virtud a ello se podría direccionar a construcciones de orden patrimonial que presentan una edad avanzada y un deterioro a considerar. Este método se limita a identificar si la estructura presenta cierto peligro frente a una actividad sísmica o no. En el caso de edificaciones patrimoniales es un método eficaz para garantizar que las construcciones con cierta edad se las pueda calificar como habitables y garantizar la seguridad de las personas frente a un evento sísmico (Llanos & Vidal, 2003).

La metodología propuesta por el FEMA -178 aborda un conjunto de preguntas que hacen mención a la composición estructural de la edificación, y que son necesarias para identificar las zonas propensas a ser más vulnerables, es decir puntos débiles dentro de una estructura. El análisis ejecutado a través de este método se debe operar por medio de procedimientos simples y en caso de resultar muy vulnerable se deberá desarrollar un estudio, explorando a detalle bajo diferentes metodologías con un extensión más compleja del caso como son las de NSR – 10 o la del FEMA -273 (Palomino, 1999).

4.1.4. Método ATC-14

Método desarrollado por el Applied Technology Council o también conocido con sus siglas ATC, en su volumen 14 hace referencia a estudios de evaluación sísmica en edificaciones existentes "Evaluating the Seismic Resistance of Existing Buildings", publicado en 1987. Esta metodología se enfoca fundamentalmente en la determinación

de los “puntos débiles de cualquier estructura en general que representen un riesgo potencial de colapso, como podría ser las denominadas edificaciones patrimoniales que tienen cierta edad y no fueron concebidas con ningún criterio técnico o regidas bajo la supervisión de un profesional de la construcción, para la ejecución de este método se requiere observar los daños en edificios similares, generados por la actividad sísmica suscitada en tiempos anteriores (Llanos & Vidal, 2003).

Para evaluar la vulnerabilidad sísmica dentro un conjunto de estructuras o una sola, es necesario determinar en primer lugar los esfuerzos cortantes que actúan en los elementos estructurales y las deformaciones horizontales presentes en cada entrepiso. Una vez obtenido estos parámetros se prosigue a cuantificar el esfuerzo promedio V_{av} de los elementos resistentes, para ello referirse a la ecuación (1), la cual se compara con el esfuerzo estimado del material, el esfuerzo promedio actuante en columnas con el esfuerzo promedio estimado del material (4.26 kg/cm^2 según lo establecido por ATC-14); esta relación nunca debe ser menor a uno, si se diera el caso de que esta condición no se cumpla, quiere decir que la estructura presenta problemas de corte y que es necesario desarrollar un análisis estructural más avanzado (Llanos & Vidal, 2003).

$$\frac{V_{av}}{4.26} \geq 1 \text{ (Kg/cm}^2\text{)} \quad (1)$$

4.1.5. Método basado en desplazamiento

Llamado también como método directo de diseño fundamentado por el neozelandés Nigel Priestley que propuso un criterio de desplazamiento. Es una metodología que se basa en implementar “el desplazamiento como un indicador importante del daño y una demostración espectral de la demanda sísmica; tiene como objetivo figurar en las infraestructuras con múltiples grados de libertad, como un sistema de un grado de libertad equivalente a un oscilador con una cierta masa efectiva” (Calvi et al., 2006, p. 77).

Principalmente esta metodología contempla la realización de un perfil de desplazamientos presentes en el sistema estructural con múltiples grados de libertad, según se establece la distorsión angular máxima permitida θ_d , la cual en este caso es delimitada generalmente como el 1% de la altura de piso, con lo cual se pueden establecer los desplazamientos Δ_i en las ecuaciones (2) y (3) que estarán en función de un n número de pisos (Pérez, 2014).

Para $n \leq 4$:

$$\Delta_i = \theta_d * H_i \quad (2)$$

Para $n \geq 4$:

$$\Delta_i = \theta_d * H_i * \left(\frac{1 - H_i}{4 * H_n} \right) \quad (3)$$

En donde:

Δ_i : desplazamiento lateral de diseño del nivel i de la estructura en m.

θ_d : distorsión angular máxima de diseño permitida

H_i : altura del nivel i desde la base en m.

H_n : altura total de la estructura en m

4.2. Métodos cualitativos para evaluar la vulnerabilidad sísmica de una edificación

Esta metodología no tiene como finalidad alcanzar una evaluación detallada de la vulnerabilidad sísmica de las infraestructuras, al contrario, más bien, sirven para proporcionar una visión general sobre el comportamiento sísmico que se puede generar

en un lugar determinado, es una herramienta muy importante en los planes de mitigación de desastres. Una de los parámetros fundamentales de los que se compone este método es la implementación de criterios técnicos por parte de personal capacitado, además se hace uso de información empírica como la principal base de información para determinar la vulnerabilidad sísmica. Generalmente los métodos cualitativos implementan el uso de formularios, encuesta para obtener información in situ, los cuales son realizados por personal capacitado durante las investigaciones de campo.

4.2.1. Método de evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones (EVSE)

Formulario destinado a evaluar y estimar la vulnerabilidad que tienen las edificaciones de conformidad con la Norma Ecuatoria de la Construcción y el FEMA 154. Siendo esta evaluación importante para calificar a las estructuras de baja, media y alta vulnerabilidad. Constituyéndose un importante punto de partida para la toma de decisiones relacionadas con la rehabilitación o demolición de edificaciones, además de proporcionar información útil para la anticipación de desastres y diseñar programas de mitigación de riesgos, se centra en tres actividades principales: planificación, recopilación de datos (formulario) e interpretación, en la guía 5 de evaluación sísmica y rehabilitación de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción se implementa este formulario mostrado en la (Tabla 16) para construcciones realizadas antes de la vigencia de las normas de construcción, y es un implemento útil para determinar la vulnerabilidad y dar una idea clara del grado de intervención estructural que requiere la edificación analizada, por lo que sería una guía valiosa en la evaluación de edificaciones patrimoniales ya que no solo se enfoca a estructuras de hormigón o acero si no a todas en general (Osorio, 2017).

Tabla 16. Formulario evaluación visual rápida de vulnerabilidad sísmica de edificaciones.

Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica de la Edificación													
	Datos de edificación												
	Dirección												
	Nombre de la edificación												
	Tipo de uso												
	Año de construcción												
	Área construida												
	Fecha de evaluación												
	Año de remodelación												
	Nombre del evaluador												
	No. De identificación												
Tipología del sistema estructural													
Pórtico de hormigón armado													C1
Pórtico de H.A con muros estructurales													C2
Pórtico de H.A con mampostería confinada sin refuerzo													C3
Hormigón armado prefabricado													PC
Pórtico de acero laminado													S1
Pórtico de acero laminado con diagonales													S2
Pórtico de acero doblados en frío													S3
Pórtico de acero laminados con muros estructurales de H.A													S4
Pórtico de acero con paredes de mampostería de bloque													S5
Madera													W1
Mampostería sin refuerzo													URM
Mampostería reforzada													RM
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón													MX
Puntaje básico, modificadores y puntajes finales													
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5
Puntaje básico	4.4	1.8	2.8	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2
Altura de la edificación													
Baja altura (menor a 4 pisos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	N/A	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	N/A	0.4	0.4
Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	N/A	N/A	0.3	0.6	0.8	0.3	0.4	0.6	0.8	Nn/a	0.8	0.8
Irregularidades de la edificación													
Irregularidad vertical	-3	-1	-1	-2	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Irregularidad en planta	-1	-1	-1	1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Código de la construcción													
Pre-códigos antes de 1977	-	-0	-1	-1	-1	-1	-0	-1	-1	-1	-1	-1	-0
Etapas de transición 1977 - 2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Post código moderno a partir 2001	1	N/A	2.8	1	1.4	2.4	1.4	1	1.4	1.4	1	1.6	1
Suelo													
Tipo de suelo C	-	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0	-0
Tipo de suelo D	-	-1	-1	-1	-1	-1	-0	-1	-1	-1	-1	-1	-0
Tipo de suelo E	-	-1	-0	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
Puntaje final													
Grado de vulnerabilidad													
S menor a 2	Alta vulnerabilidad												
S entre 2 y 2.5	Media vulnerabilidad												
S mayor 2.5	Baja vulnerabilidad												

Fuente: (NEC, 2015a, p. 125)

4.2.3. Escala macro sísmica europea EMS-98 (1998)

La siguiente clasificación hace referencia al tipo de vulnerabilidad que presentan edificaciones de acero, Hormigón armado, madera y mampostería, identificándolos mediante las denominaciones alfabéticas que empiezan desde la A hasta la F siendo “A” la de menor capacidad de disipación de energía sísmica y “F” la de mayor.

Concediendo el derecho de elegir al evaluador responsable, de acuerdo a su experiencia y conocimiento, para que proporcione un criterio adecuado de la vulnerabilidad que presenta la estructura, en la (Tabla 17) se puede observar dicha clasificación.

Tabla 17. Clases de Vulnerabilidad según tipología estructural – EMS-98

Tipologías	Sistemas constructivos	A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERIA	Paredes de peña viva/roca de cantera	O					
	Adobe (ladrillo de tierra)	O——I					
	Roca simple	I-----O					
	Roca masiva		I——O-----I				
	Unidades de roca manufacturada	I	I-----O-----				
	Ladrillo no reforzado, piso de HA		I	I——-O-----			
	Reforzado o confinado				I----- O——I		
HORMIGÓN ARMADO	Armazón sin diseño sismorresistente (DSR)		I-----O-----I				
	Armazón con un nivel moderado de DSR			I--- —O—— I			
	Armazón con alto nivel de DSR				I-----O——I		
	Paredes sin DSR		I-----O——I				
	Paredes con un nivel moderado de DSR				I----- O——I		
	Paredes con un nivel alto de DSR				I-----O——I		
ACERO	Estructuras de acero				I-----O---		
MADERA	Estructuras de madera		I-----				
O Clase de vulnerabilidad más probable —— Rango probable							
----- Rango de clases excepcionales, menos probables							

Fuente:(Comisión Sismológica Europea, 1998, p. 14)

4.2.4. Metodología macrosísmica de Giovinazzi y Lagomarsino

La metodología de evaluación de la vulnerabilidad sísmica de Giovinazzi y Lagomarsino se le puede considerar como un convenio entre el método EMS 98 y la metodología italiana descrita anteriormente, se cuantifica cada edificio en base a un índice de vulnerabilidad. Este método califica a las edificaciones en un rango de letras de la A hasta la F siendo la A vulnerabilidades altas y la F vulnerabilidad baja. Fue desarrollado en la Universidad de Génova por los profesores Lagomarsino y Giovinazzi es reconociendo por la homogeneidad tipológica de cada sistema estructural que posee, haya sido construido o no, contemplando códigos de construcción. Por lo general esta metodología es apta para la aplicación en edificaciones antiguas, comúnmente las categoriza con vulnerabilidades altas. El método proporciona un gran nivel de detalle, y permite captar la calidad estructural, la misma que se deriva de su geometría y de su posición. (N. Romero, 2016).

4.3. Índice de Daño

La evaluación y el entendimiento de los desastres causados por un sismo en las estructuras, dan como origen la necesidad del ser humano de cuantificar y explicar los efectos de este fenómeno sobre las diferentes tipologías estructurales existentes. Generalmente este daño viene relacionado con las deformaciones que sufre una estructura que son irreversibles, es decir, las que se producen en el rango plástico, por lo que diversos autores han tratado de debatir que estas deformaciones son producto de la influencia de la mala calidad de construcción (Corsanego, 1995).

El enfoque de esta investigación en este apartado es **estimar las consecuencias de una determinada vulnerabilidad** mediante una metodología que proporcione una idea de las condiciones que presenta la estructura de la forma más simplificada posible, y que pueda ser desarrollada en base a la información recopilada de la estructura a analizar. Se

presentan en esta parte diversas metodologías las cuales serán evaluadas para posteriormente elegir la más óptima y que se ajuste a los objetivos a los cuales se dirige este trabajo de titulación.

Para cuantificar el daño esperado dentro de una edificación es relevante reconocer con anterioridad los sistemas que se encuentran vulnerables dentro de una estructura. Estos se pueden identificar en 4 clases importantes de elementos, los cuales se describen a continuación (Bonnett, 2003).

- **Elementos estructurales:** “son los elementos que componen los sistemas resistentes de cargas verticales (gravitatorias) y cargas laterales (sísmicas)” (Bonnett, 2003, p. 20).
- **Elementos arquitectónicos:** son los elementos que no participan en el sistema de cargas, y que se limitan a la paraciencia de la edificación, como son ventanas, puertas, balcones, paredes, cielo rasos, etc.(Bonnett, 2003, p. 20).
- **Instalaciones:** “se trata de elementos que suministran servicios como, por ejemplo; tuberías de agua, redes de electricidad, alcantarillado y conducciones de gas” (Bonnett, 2003, p. 20).
- **Contenidos:** “son los elementos que están dentro del edificio, pero no hacen parte de la estructura, tales como: maquinarias, equipos, mobiliario, artículos de decoración, etc” (Bonnett, 2003, p. 20).

A lo largo de la investigación referente a estructuras sismorresistentes se ha venido discutiendo varias propuestas de índices de daño, llegando a distinguirlos en tres diferentes una a nivel específicamente de los elementos estructurales, una a nivel general de la estructura y por último una intermedia. (Bonnett, 2003).

4.3.1. Tipos de Índice de Daño

Índice de daño a nivel de elementos

Este tipo de índices hacen relación específicamente a un miembro estructural, como una viga o columna, que puede llegar a sufrir daños muy variables, estos pueden ser acumulativos o no, dependiendo si consideran las cargas cíclicas. Para cuantificar el deterioro de estos elementos, es necesario llegar a calcular las relaciones de deformación, momento- curvatura o rotación – momento, que son fundamentales en la determinación de la capacidad de disipación de energía sísmica, estos análisis son complejos por ende son más extensos de realizar pero de igual forma se obtiene resultados más precisos de los índices de daño, una de las principales ventajas es que en algunos casos se puede analizar únicamente los elementos que se observan o intuyen que son deficientes dentro de una estructura, ahorrando significativamente el tiempo (Bonnett, 2003).

Índice de daño a nivel de la estructura

Existen distintas formas de cuantificar este tipo de índices, que a diferencia de las anteriores, son más rápidas, pero tienen menos precisión en sus resultados, para llegar a determinar este parámetro, se puede hacer uso de los índices de daño local, o en base a los daños globales, que comúnmente se determinan con los parámetros modales del tipo de edificación a analizar, para ello es necesario identificar tanto la composición geométrica, mecánica de la estructura y la caracterización de la zona en relación a los parámetros sísmicos (Bonnett, 2003).

4.3.2. Métodos para evaluar el índice de daño localizado de una estructura

Relaciones demanda - capacidad de deformación (a nivel de elementos)

Para cuantificar el índice de daño en base a esta relación, es necesario identificar las diversas normativas presentes en todo el mundo, con respecto a los rangos límites de deriva del edificio y de igual forma la ductilidad del mismo. A pesar de ser un método avanzado, presenta un obstáculo importante, que consisten en que las relaciones de ductilidad de los miembros estructurales no consideran la histéresis ocasionado por los efectos sísmicos (Bonnett, 2003).

Relaciones demanda - capacidad de resistencia (a nivel de elementos)

Esta es una metodología que propone utilizar los diafragmas bilineales del esfuerzo a corte con los desplazamientos producidos dentro de una edificación o las relación momento - curvatura, para llegar obtener el índice de daño ID, este método se requiere del desarrollo de las ecuaciones (4), (5) y (6) (Bonnett, 2003, p. 26).

$$ID = \frac{d_m}{d_y} \quad (4)$$

$$ID = \frac{\phi_m}{\phi_y} \quad (5)$$

$$ID = \frac{\theta_m}{\theta_y} \quad (6)$$

Este método básicamente está en función de los desplazamientos d , curvatura ϕ y por último de la rotación θ , en las ecuaciones anteriores los subíndices (m) e (y) representan principalmente el mayor valor alcanzado por la sección del elemento analizado con relación a la fuerza del sismo al que estuvo expuesto y al momento de cedencia al que llego dicho elemento (Bonnett, 2003, p. 26).

Degradación estructural (a nivel de elementos)

Cuando los elementos estructurales de una edificación incursionan en el rango plástico, debido a una actividad sísmica eventual, su rigidez se ve afectada por consecuencia del agrietamientos que llegan a tener, debido a las cargas que no necesariamente tienen que ser altas, esto principalmente será relativo a la capacidad de cada miembro estructural. Uno de los primeros índices son los que relacionan “la rigidez a flexión del elemento ante cargas monotónicas con la rigidez a flexión correspondiente a la máxima deformación que alcanza el elemento durante la respuesta dinámica”, la ecuación (7) fundamenta este método (Bonnett, 2003, p. 28).

$$ID = \frac{\phi_m * M_y}{\phi_y * M_m} \quad (7)$$

donde M_m y M_y son el momento máximo y de cedencia y ϕ_m , ϕ_y son la curvatura máxima y de cedencia respectivamente.

Basados en la deformación (a nivel de elementos)

Los métodos orientados hacia este enfoque utilizan una rotación acumulada normalizada (NCR). Para llegar a obtener este tipo de parámetros, se realizó diversos estudios de carga cíclica, predominando principalmente fenómeno de la flexión y en algunos casos el efecto de las cargas axiales, pero a pesar de esto se encontró poca relación entre los valores determinados del índice ID, a continuación, se muestra en la ecuación (8) el cálculo del índice de daño (Bonnett, 2003).

$$ID = NRC = \frac{\sum_{i=1}^n |\theta_{im} * \theta_y|}{\theta_y} \quad (8)$$

“n corresponde al número de ciclos histerético y θ_{im} es la rotación máxima a la que llega la sección en el ciclo histerético (i). Este indicador fue examinado para un gran intervalo de ensayos aplicando cargas cíclicas” (Bonnett, 2003, p. 30).

4.3.3. Métodos para evaluar el índice de daño global de una estructura

Índices globales con factores de ponderación (a nivel de la estructura)

Para la determinación de los índices de daño enfocados a nivel global, es necesario utilizar factores de ponderación, obtenidos de los índices de daño local, ubicándolos en las zonas que a simple vista o bajo algún tipo de análisis representen un peso mayor a la de los elementos más resistentes y con mayor ductilidad. Este método está directamente relacionado con los criterios de energía de absorción a nivel local, en la ecuación (9) se puede observar el índice de daño por esta metodología (Bonnett, 2003, p. 39).

$$ID_{global} = \sum_{j=1}^n \frac{E_j}{\sum E_j} * ID_j \quad (9)$$

“Donde n es el número de pisos e ID_j es el índice de daño del piso j, E_j es la energía absorbida del piso j y $\sum E_j$ la energía absorbida por todos los pisos, es decir, en toda la estructura” (Bonnett, 2003, p. 39).

Índices globales basados en los parámetros modales

Una forma más de determinar los índices de daño a nivel de la estructura es en base a los parámetros modales, que se pueden determinan en base a un escenario sísmico probable, con esto a diferencia del método anterior, se evita la promediar los índices locales, y se llega a resultados más directos, en base un período de vibración que es una propiedad única de cada estructura, y depende de varios factores como la geometría de la misma o el tipo de suelo en el que se emplaza. (Bonnett, 2003).

Uno de los métodos más comunes es la propuesta por Cardona & Hurtado, 1990 que básicamente categoriza los daños de una edificación en base un índice, para ello se detalla a continuación un resumen del proceso (Arteaga, 2016).

- Determinar el coeficiente sísmico (CSR), que en pocas palabras hace referencia al peso de la estructura en el sentido más vulnerable, todo esto es en base a porcentajes (Arteaga, 2016).

$$CSR = \frac{(VR)}{(W)} \quad (10)$$

- “Calcular el coeficiente sísmico exigido CSE de la estructura a partir del espectro de respuesta escogido ecuación (11)” (Arteaga, 2016).

$$CSE = Sa \quad (11)$$

$$Sa = \eta ZFa \quad (NEC, 2015) \quad (12)$$

- “Por último, se calculada la demanda de ductilidad DD, para poder clasificar al grado de vulnerabilidad que tiene la edificación, esta parte se desarrolla en la ecuación (13)” (Arteaga, 2016).

$$DD = \frac{CSE}{CSR} \quad (13)$$

En las ecuaciones anteriores VR representa el cortante en la base, W la carga sísmica reactiva y Sa la aceleración obtenida en el espectro de respuesta.

4.4. Análisis de las metodologías

Las diversas metodologías existentes acerca de la vulnerabilidad sísmica, requieren de diversos procesos y por lo tanto información de entrada que permita llevarlas a cabo.

Algunas llegan a resultados más precisos que otras, pero el objetivo principal de estos métodos es una concepción clara de la sensibilidad que una estructura puede llegar a tener frente a un evento sísmico. Para el profesional de ingeniería es de gran utilidad la aplicación de estas metodologías, ya que le permite llegar a cuantificar el grado de reforzamiento que quiere la estructura, para que sea completamente ocupacional.

4.4.1. Análisis de métodos referentes a vulnerabilidad sísmica

Hoy en día las metodologías de vulnerabilidad sísmica han venido complementándose en base a diferentes descubrimientos con respecto al fenómeno del sismo, para ello se ha considerado el uso de métodos no lineales que al principio fueron metodologías para reforzar las estructuras en base a la deficiencia de ductilidad y falta de capacidad de disipación de energía sísmica de sus miembros estructurales. En la actualidad todo diseño estructural de gran envergadura concibe estos criterios técnicos que permiten salvaguardar la vida de las personas y la preservación de la edificación manteniendo la inactividad del mismo en el menor período de tiempo posible, con el objetivo de que las pérdidas económicas sean mínimas. Además, la calidad de los materiales y los procesos constructivos de una edificación sin duda son parámetros de gran importancia que se deben considerar durante una evaluación de vulnerabilidad sísmica, ya que de ellos depende la buena operabilidad de la estructura.

Hay que tener en cuenta que cierto tipo de evaluaciones se las hace a estructuras que ya tienen un cierto grado de deterioro que se puede detectar a simple vista, por lo que algunas metodologías establecen un análisis de las patologías presentes, para así poder identificar las zonas más propensas a colapsar dentro de la estructura bajo la acción un sismo. Algunas metodologías contemplan también la probabilidad de ocurrencia de un sismo dentro de una zona determinada de estudio, que está afectada por la tectónica de placas u algún otro fenómeno que genere actividad sísmica, mediante el uso de sistemas de

información geográfica, con las cuales se puede analizar los diferentes parámetros que pueden estar involucrados en la vulnerabilidad sísmica de ciertas construcciones dentro del área de interés.

En el trabajo de titulación **Metodología aplicable para el análisis y determinación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones patrimoniales del cantón Azogues**, se pretende realizar un análisis de los diferentes métodos considerados en este trabajo, para ello en la (Tabla 18) se detalla los parámetros tomados en cuenta, y la (Tabla 19) que presenta la respectiva calificación, todo ello con el fin de poder seleccionar la metodología aplicable a las edificaciones patrimoniales del cantón Azogues, considerando los objetivos y alcances del presente trabajo, así como la disponibilidad de información.

Tabla 18. Parámetros de análisis para la calificación de las metodologías de vulnerabilidad sísmica.

Ítem	Parámetros de análisis	Descripción
1	<i>Análisis complejos y extensos</i>	Análisis no lineales estáticos o dinámicos.
2	<i>Es aceptado por la comunidad científica</i>	Los resultados provenientes del método no deben haber sido refutados por alguna otra constitución en la misma área de investigación.
3	<i>Materiales de construcción</i>	Hace referencia a las diferentes propiedades mecánicas de los materiales empleados en el sistema de soporte de cargas estáticas y dinámicas.
4	<i>Criterios técnicos</i>	Requiere de información referente a si se aplicó códigos técnicos durante el diseño estructural y construcción de la edificación
5	<i>Contempla Escenarios sísmicos</i>	Requiere de la creación de situaciones sísmicas que se pueden suscitar en un determinado lugar en base a los mapas de peligrosidad, con el objetivo de predecir los daños que pueden generar en un lugar con una determinada intensidad sísmica.
6	<i>Contempla la tipología constructiva</i>	Analiza el tipo de sistema constructivo que soporta las sollicitaciones de las cargas vivas, muertas y sísmicas.

7	<i>Considera el tipo de suelo donde se emplaza la edificación</i>	Analiza la capacidad portante del suelo, la velocidad de onda de corte, coeficiente de balasto y la interacción suelo estructura.
8	<i>Considera irregularidades en planta y elevación</i>	Analiza las diferentes irregularidades establecidas en las normativas de construcción, las cuales conllevan a problemas de torsión y desplazamientos.
9	<i>Requiere de sistemas de información geográfica</i>	Analiza la zona donde se emplaza la estructura y su entorno, con las diferentes variables de interés en el estudio de vulnerabilidad sísmica como (tipos de suelo, topografía, población, desarrollo económico, etc.)
10	Patologías en la edificación	Analiza los defectos presentes en los miembros estructurales, tales como humedad, agrietamiento, corrosión, deformaciones excesivas, etc.

Elaborado: Autor

En la (Tabla 18), se consideró de forma simplificada los parámetros más relevantes que están involucrados en una evaluación de vulnerabilidad sísmica, por lo que es recomendable antes de su aplicación en un caso en particular referente a este tema, identificar el grado de información disponible relacionadas a las edificaciones a analizar, o el nivel de importancia de las mismas para idealizar los estudios y análisis que se requieren para cuantificar la vulnerabilidad.

En la (Tabla 19) se puede apreciar de forma detallada y en base a un análisis de las metodologías consideradas, si cada una de ellas contempla o no los ítems plasmados en la (Tabla 18).

Tabla 19. Calificación de las diferentes metodologías en función de los parámetros considerados

Metodologías de vulnerabilidad sísmica											
Método	Tipo	Ítems									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<i>Hazus</i>	Cuantitativa	✓	✓		✓	✓	✓	✓		✓	
<i>NSR-98</i>	Cuantitativa	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓		✓
<i>FEMA 178</i>	Cuantitativa		✓		✓		✓	✓	✓		✓
<i>ATC-14</i>	Cuantitativa	✓	✓	✓							✓
<i>Basado desplazamiento</i>	Cuantitativa	✓	✓	✓	✓				✓		
<i>EVSE</i>	Cualitativa		✓	✓	✓		✓	✓	✓		
<i>Italiano</i>	Cualitativa		✓	✓					✓		✓
<i>EMS-98</i>	Cualitativa		✓	✓			✓				
<i>Giovinazzi y Lagomarsino</i>	Cuantitativa y Cualitativa		✓	✓		✓	✓			✓	

Elaborado: Autor

En la (Tabla 19) se puede apreciar que las metodologías Hazus, NSR-98 cubren el mayor número de parámetros para la evaluación de vulnerabilidad sísmica, mientras que la metodología EMS-98 es la que cubre el menor número de parámetros establecidos, pero

es un excelente método para relacionar estados de vulnerabilidad sísmica en base a la tipología estructural, además no requiere de mucha información, lo que agiliza su desarrollo. En base a estos análisis y la información disponible del caso de aplicación, se llegará a determinar que metodología que mejor se ajuste.

En Ecuador al igual que en la mayoría de países existen códigos de construcción que establecen criterios sismorresistentes, las exigencias de dichos códigos en el diseño estructural dependen del lugar de emplazamiento de la estructura, ya que todos los códigos de construcción, disponen de un mapa de peligro sísmico. El mapa de peligro sísmico es realizado en base a la información de registros sísmicos a lo largo del tiempo, en el caso de Ecuador, La NEC establece dichos mapas los cuales son elaborados por el Instituto Geográfico Militar (IGM), como se puede observar en (Figura 3). Por lo que mediante la NEC se puede identificar zonas de alto y bajo riesgo sísmico dentro del Ecuador, en el caso del cantón Azogues se establece una aceleración máxima en roca de 0.25g, ubicado en el mapa sísmico como un cantón de moderada sismicidad, a diferencia de cantones en donde hay alta peligrosidad sísmica con aceleraciones de 0.5g.

Pero a pesar de que en el cantón Azogues es una zona con un valor moderadamente bajo de sismicidad, no se puede descartar los efectos sísmicos, principalmente en edificaciones patrimoniales las cuales no contemplan un diseño sismorresistente, haciendo de este inmueble potencialmente peligroso.

Mediante la aplicación de una metodología a un bien patrimonial emplazado dentro del cantón Azogues, se pretende evidenciar la vulnerabilidad sísmica que presenta esta edificación, de una forma general y simplificada, debido a que este tipo de estructuras no fueron concebidas bajo las normativas de construcción, y por lo tanto la seguridad de sus moradores se ve comprometida durante un sismo.

4.4.2. Análisis de métodos referentes al índice de daño

Una parte importante de este proyecto, es poder determinar mediante el análisis de metodologías relacionadas con el índice de daño, mencionadas anteriormente en la sección 4.4, de forma igual al análisis de vulnerabilidad sísmica presentado previamente. Se llevará a cabo este análisis a través de la (Tabla 20) y (Tabla 21), las cuales corresponden a los parámetros a considerar de cada metodología y su análisis respectivamente. Con el propósito de poder idealizar el daño esperado en las estructuras patrimoniales del cantón Azogues, se pretende seleccionar una metodología capaz de ser desarrollada en base a la información disponible del caso de aplicación, siempre y cuando se mantenga dentro de los alcances de esta investigación.

Tabla 20. Parámetros de análisis para la calificación de las metodologías de índices de daño.

Ítem	<i>Parámetros de análisis</i>	<i>Descripción</i>
1	<i>Ductilidad</i>	Analiza la capacidad de deformarse un elemento inelásticamente sin llegar al colapso
2	<i>Capacidad de resistencia a corte</i>	Requiere de la resistencia de un elemento estructural al desprendimiento de sus partículas entre sí, frente a una carga externa y su peso propio
3	<i>Capacidad de resistencia a flexión</i>	Requiere de la resistencia de un elemento estructural al estar sometido a una combinación de esfuerzo a compresión y tracción, separadas por un eje neutro.
4	<i>Patologías en la edificación</i>	Analiza los defectos presentes en los miembros estructurales, tales como humedad, agrietamiento, corrosión, deformaciones excesivas, etc.
5	<i>Cargas cíclicas</i>	Analiza las cargas producto del sismo, que sucede repetidas veces durante un intervalo determinado, y que puede aumentar o disminuir su magnitud durante dicho período

6	<i>Sismicidad de la zona</i>	Requiere de información específica del lugar de emplazamiento, como la aceleración máxima en roca, peligrosidad de la zona, etc.
7	<i>Planos estructurales</i>	Considera las dimensiones exactas de la edificación
8	<i>Materiales</i>	Considera las propiedades físicas y mecánicas de los materiales
9	<i>Tipo de suelo</i>	Requiere de la información del suelo donde se emplaza la estructura

Elaborado: Autor

Tabla 21. Calificación de las diferentes metodologías en función de los parámetros considerados

Metodologías de índice de daño										
Método	Tipo	Ítems								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
<i>Relaciones demanda - deformación</i>	Elementos	✓		✓						✓
<i>Relaciones demanda - resistencia</i>	Elementos	✓	✓	✓						
<i>Degradación estructural</i>	Elementos	✓		✓						✓
<i>Basado en la deformación</i>	Elementos	✓	✓	✓	✓	✓				
<i>Índices globales con factores de ponderación</i>	Global				✓				✓	
<i>Índices globales basados en los parámetros modales</i>	Global	✓	✓					✓	✓	✓

Elaborado: Autor

En la (Tabla 21), se muestra que la mayoría de estas metodologías direccionadas al daño específico de elementos como columnas, vigas y muros se basan fundamentalmente en la ductilidad que poseen dichos elementos estructurales. La ductilidad es la parte fundamental de una estructura para soportar las adversidades causadas por un evento sísmico, por lo que hoy en día la ingeniería estructural está orientada a diseñar estructuras resilientes, en vista que se ha priorizado aparte de la vida de los seres humanos que es el principal motivo de implementar estos criterios, las pérdidas económicas que genera tanto la rehabilitación como la inactividad de las edificaciones, principalmente a causa del grado de daño que sufren los elementos estructurales. Por ejemplo, en el caso de hospitales que representa una estructura de alta importancia, se pretende realizar una estructura resiliente, debido al alto impacto que produce tener este tipo de estructuras fuera de servicio por largos períodos de tiempo, al haber sufrido daños estructurales por los movimientos telúricos.

Las metodologías a nivel global están direccionadas a cuantificar de forma generalizada, el daño que puede llegar a tener una estructura frente a un terremoto. La metodología de Cardona & Hurtado, cubre un gran número de parámetros de análisis, como se muestra en la (Tabla 21), aunque sus resultados son muy generalizados y ambiguos, sería una metodología viable desde un punto de vista general del daño que puede sufrir la edificación, ya que analiza los parámetros sísmicos propios de la zona de emplazamiento, la geometría y materiales de los elementos que la conforman, además su desarrollo es de forma ágil y simplificada.

Es importante recalcar que, a pesar del gran avance de estos métodos desarrollados por parte de la comunidad científica, pero en la actualidad no existen criterios unificados, para la aplicación de metodologías analíticas a nivel de elementos y global, principalmente a

causa del gran número de tipologías estructurales existentes, y del comportamiento tan divergente de los diversos materiales que componen una estructura.

4.5. Selección de la metodología aplicable

Uno de los criterios para la selección de la metodología es que permita obtener resultados de forma práctica y rápida, empleando la información recopilada de una edificación patrimonial que comúnmente se podría obtener. Se ha venido analizando entre todas las metodologías propuestas, y se ha elegido tomar en consideración para el análisis a realizar en esta investigación, metodologías cualitativas de vulnerabilidad sísmica, debido principalmente a que los métodos cuantitativos requieren de estudios más avanzados en cuanto a las propiedades de los materiales y análisis que conllevarían costos económicos altos y generalmente son tratados a nivel de especialización, además de un mayor tiempo de investigación.

En zonas en particular, donde se presenta una actividad sísmica constante, los métodos cualitativos a pesar de proporcionar resultados subjetivos, pueden llegar a ser una forma muy representativa de jerarquizar el grado de vulnerabilidad en edificaciones de una misma tipología estructural, en una región especificada, por lo que para un estudio orientado a la idealización general del daño esperado por un sismo de una muestra considerable de edificaciones en este caso las patrimoniales sería viable optar por este camino, permitiendo abaratar costos y tiempo. A diferencia de las metodologías cuantitativas que una de sus principales limitaciones en el análisis con muestras de construcciones considerables, es que para llegar a resultados muy confiables en la zona de interés se requiere de muchos detalles estructurales, del suelo de fundación, sismicidad de la zona, etc. En muchos de los casos para llevar a cabo este tipo de métodos se hace uso de equipos especializados que a menudo se requiere de personal capacitado para su operabilidad y muchas de las veces no se dispone en la región de estudio.

Cada metodología cualitativa propuesta anteriormente presenta ciertas características en particular, pero a diferencia del método de evaluación rápida conforme a la NEC, estos no establecen valores específicos para cada sistema estructural, el tipo de suelo de cimentación y el diseño y construcción bajo regímenes constructivos apropiados, los cuales son parámetros fundamentales en el diseño sismorresistente de edificaciones y en la determinación de la vulnerabilidad sísmica en la edificación a analizar, por esta razón hace de las otras metodologías ambiguas, y con resultados muy generalizados.

La guía 5 práctica para la evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras, de la NEC 2015, es un documento que trata sobre reforzamiento de estructuras, con un capítulo dedicado a las edificaciones patrimoniales que como se ha venido mencionando son construcciones realizadas antes de los códigos que rigen el diseño sismorresistente, y además cuenta con una evaluación post-evento, EVSE, la cual se ha elegido aplicar a esta trabajo de titulación para las edificaciones patrimoniales del cantón Azogues, en la (Tabla 16) se muestra dicho formulario. Este método es viable ya que está directamente relacionado con los parámetros establecidos en la NEC y, por lo tanto, se acerca bastante a la realidad constructiva del país.

Este formulario es además una herramienta muy utilizada entre los profesionales de la ingeniería, especialmente al momento de reforzar edificaciones, gracias a su eficiente y fácil forma de aplicación, permite identificar de forma concisa el grado de vulnerabilidad de la construcción in situ, toma en cuenta los parámetros estructurales fundamentales para identificar el peligro que presenta una edificación para sus moradores.

El desarrollo de programas de mitigación es fundamental dentro de una sociedad que se ve amenazada por la actividad sísmica o algún tipo de desastre natural, para ello el método seleccionado es una vía recomendable para generar este tipo de actividades dentro de cualquier zona en específico, además es posible realizar un registro de las construcciones

que requieren de intervenciones estructurales, y actúa también como una herramienta importante en la planificación de sistemas de emergencia antes y después de un sismo.

La forma de desarrollar esta evaluación es rápida y simplificada, con resultados coherentes, proporcionando una idealización clara de la vulnerabilidad sísmica presente en la edificación. El formulario contempla información sobre parámetros al alcance de este trabajo de titulación por lo que es una forma más de establecer que es el método más viable para las edificaciones patrimoniales del cantón Azogues.

Con el fin de reforzar la metodología cualitativa seleccionada en este caso la EVSE, se ha optado utilizar un método que permita obtener el índice de daño de una edificación, con el propósito de conceptualizar el daño esperado en edificaciones patrimoniales del cantón Azogues frente a diferentes grados de intensidad sísmica.

En la parte de índices de daño las metodologías a nivel global parecen ser las más convenientes a utilizar, al igual que las metodologías cuantitativas en la vulnerabilidad sísmica, los métodos de índice de daño a nivel de elementos requieren de personal y equipo especializado, lo cual no está al alcance de esta investigación.

El método de Cardona y Hurtado, ha resultado ser el más conveniente de aplicar, debido a que esta metodología contempla estructuras que no fueron diseñadas bajo criterios sismorresistentes, como son las patrimoniales, además al ser un proceso rápido y simplificado a diferencia de las metodologías a nivel de elementos que conllevan análisis más complejos, períodos de tiempo elevados y costos elevados entre la capacidad de computador y las licencias de softwares dedicados a estos fines. Cabe mencionar que este trabajo de titulación no pretende profundizar a fondo en este tema, sino proporcionar una idea generalizada de los daños que se pueden llegar a producir en una estructura con un sismo de determinada magnitud, teniendo en cuenta las características sísmicas de la

zona, la tipología estructural de la edificación, y los materiales que la componen, por lo que esta metodología abarca todos estos parámetros.

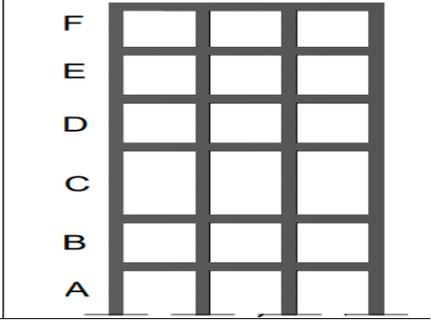
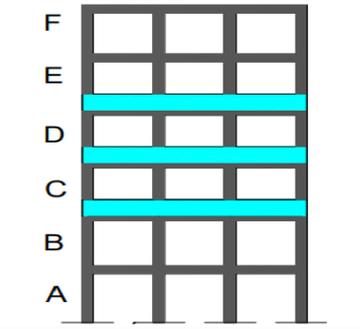
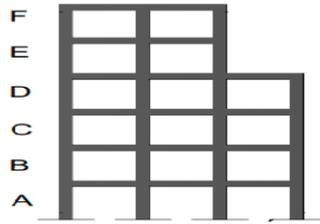
El método de Cardona y Hurtado es un camino viable debido a que se ajusta de forma práctica a los objetivos que se pretenden realizar, requiriendo para su desarrollo información que está al alcance de este proyecto, además evalúa a las estructuras dentro de los rangos elásticos, como es el caso de aplicación, que están edificado en su mayoría con materiales de adobe y bahareque los cuales no sería recomendable analizar en rangos plásticos, debido a que las propiedades mecánicas de sus materiales no pueden absorber grandes cantidades de energía sin primero colapsarse, es decir son de baja ductilidad. Este método analítico puede calificar a la estructura en diferentes intensidades, por lo que se puede reconocer el daño esperado dentro un escenario sísmico intenso y leve, con el objetivo de reconocer que tan propensa es la estructura a sufrir daño, frente a dichos sismos.

4.6. Evaluación de la vulnerabilidad sísmica

Para completar el formulario EVSE primero se debe analizar las irregularidades que presenta la estructura, ya que es de gran importancia para identificar debilidades en planta como elevación.

En el bloque 1 la estructura no presenta mayor irregularidad, a diferencia del bloque dos que presenta una irregularidades únicamente en elevación (Tabla 22), cabe recalcar que las construcciones de antes tenían un configuración geométrica en planta muy regular.

Tabla 22. Análisis de irregularidades en elevación en el bloque 2.

Irregularidades en elevación	PRESENTA
<p>Tipo 1 - Piso flexible</p> <p>$\Phi_{pi} = 0.9$</p> <p>Rigidez $K_c < 0.70$ Rigidez K_D</p> <p>Rigidez $< 0.8 * ((K_D + K_E + K_F) / 3)$</p> <p>“La estructura se considera irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menor que el 80 % del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores.”</p>	 <p data-bbox="1236 638 1284 672">N/A</p>
<p>Tipo 2 - Distribución de masa</p> <p>$\Phi_{pi} = 0.9$</p> <p>$m_D > 1.50 m_E$ ó</p> <p>$m_D > 1.50 m_C$</p> <p>“La estructura se considera irregular cuando la masa de cualquier piso es mayor que 1,5 veces la masa de uno de los pisos adyacentes, con excepción del piso de cubierta que sea más liviano que el piso inferior.”</p>	 <p data-bbox="1252 1086 1284 1120">X</p>
<p>Tipo 3 - Irregularidad geométrica</p> <p>$\Phi_{pi} = 0.9$</p> <p>$a > 1.3 b$</p> <p>“La estructura se considera irregular cuando la dimensión en planta del sistema resistente en cualquier piso es mayor que 1,3 veces la misma dimensión en un piso adyacente, exceptuando el caso de los altillos de un solo piso.”</p>	 <p data-bbox="1236 1512 1284 1545">N/A</p>

Elaborado: Autor

La realización del formulario EVSE se puede observar en los (ANEXO 2) y (ANEXO 3), en donde se realizó uno para cada bloque de la Casa Hacienda, gracias a la información

que se ha venido recopilando a lo largo de este trabajo de titulación, se logró completar con éxito el formulario, disponiendo de toda la información necesaria para obtener el respectivo puntaje de vulnerabilidad sísmica de ambos bloques, para un posterior análisis de los mismos.

4.6.1. Evaluación del índice de daño del bloque 1

Según la información recopilada de la zona, los planos de la edificación (ANEXO 4), y al contar con la norma sísmica ecuatoriana se prosigue a desarrollar este método, por lo que primero se empieza determinando la longitud de los muros y el peso de la misma estructura, para ello se llevó acabo dos análisis independizando cada bloque, en la (Tabla 23) se puede observar las longitudes de los muros y el peso propio correspondiente al bloque 1.

Tabla 23. Longitud de los muros de adobe en dirección (x, y), y peso propio del bloque 1.

Primera planta Bloque 1						
Long. en Y (m)	Altura (m)	E muro (m)	Área (m²)	Vol. (m³)	d Muro (T/m³)	Peso (Ton)
3.2	3.4	0.71	10.88	7.72	1.8	13.90
6.76	3.4	0.78	22.98	17.93	1.8	32.27
2.6	3.4	0.7	8.84	6.19	1.8	11.14
3.85	3.4	0.75	13.09	9.82	1.8	17.67
5.82	3.4	0.9	19.79	17.81	1.8	32.06
2.8	3.4	0.5	9.52	4.76	1.8	8.57
3.65	3.4	0.75	12.41	9.31	1.8	16.75
4.88	3.4	0.2	16.59	3.32	1.8	5.97
2.35	3.4	0.8	7.99	6.39	1.8	11.51
Longitud total de muros en sentido (y) del bloque 1 (m)			35.91			

Peso total en y de muros (Ton)		149.84				
Long. en X (m)	Altura (m)	E muro (m)	Área (m²)	Vol. (m³)	d Muro (T/m³)	Peso Muro (Ton)
4.3	3.4	0.55	14.62	8.04	1.8	14.47
5.61	3.4	0.6	19.07	11.44	1.8	20.60
4.28	3.4	0.6	14.55	8.73	1.8	15.72
2.55	3.4	0.3	8.67	2.60	1.8	4.68
2.36	3.4	0.3	8.02	2.41	1.8	4.33
7.83	3.4	0.6	26.62	15.97	1.8	28.75
7.6	3.4	0.6	25.84	15.50	1.8	27.91
7.16	3.4	0.95	24.34	23.13	1.8	41.63
2.09	3.4	0.75	7.11	5.33	1.8	9.59
2.76	3.4	0.3	9.38	2.82	1.8	5.07
4.31	3.4	0.35	14.65	5.13	1.8	9.23
Longitud total de muros en (x) (m)		50.85				
Peso total en y de muros (Ton)		181.98				

Elaborado: Autor

En el caso del bloque 1 este cuenta con una sola planta y se calculó la carga viva como la más desfavorable, que es la de institución educativa ya que en años pasados fue este al igual que el bloque 2 el lugar donde los habitantes de Cojitambo y sus alrededores impartían sus estudios, las cargas muertas y vivas fueron extraídas de la (NEC, 2015a) y (Nec-Se-Cg, 2015), como se puede ver en la (Tabla 24).

Tabla 24. Cargas sobreimpuestas y vivas en el bloque 1

Cargas muertas bloque 1			
Descripción	Área	Carga (Ton/m²)	Peso (Ton)
Pilares	0.36	3.33	1.20
Cubierta	322.86	0.1	32.29
Cielorraso	234.81	0.0294	6.90
Carga Viva bloque 1			
Descripción	Área	Carga (Ton/m²)	Peso (Ton)
Cubierta	322.86	0.1	32.286
Peso total bloque 1		404.50	Ton

Fuente: (Nec-Se-Cg, 2015)

En el desarrollo de esta metodología, se requiere identificar el cortante en mampostería sin confinar, que según estudios realizados por la Universidad de Cuenca, plasmados en la (Tabla 6), de las 3 muestras se escogerá la menor resistencia a corte, que en este caso resultaría en el valor de 0.18 kg/cm², debido principalmente a que se desconoce la edad exacta de la Casa-Hacienda y de igual forma las propiedades mecánicas exactas de sus materiales, por lo que se escoge dicho valor de forma conservadora, con ello y el análisis realizado a la edificación se prosigue a calcular los tres parámetros importantes para determinar el índice de daño de la estructura, como se mencionó en el apartado 4.3.3, en las (Tabla 25) y (Tabla 26) se puede observar la cuantificación de la metodología propuesta por (O. Cardona & Hurtado, 1990) aplicadas al bloque 1.

Tabla 25. Análisis del bloque 1 en base a la información de campo.

Datos bloque 1			
Descripción	Unidad		
Longitud de muros de adobe en Y	LY	m	35.91
Longitud de muros de adobe en X	LX	m	50.85
Resistencia al corte en mampostería sin confinar	v	Tn/m ²	1.8
Espesor promedio de muro en X	ex	m	0.54
Espesor promedio de muro en Y	ey	m	0.68
Peso de la edificación	W	Tn	404.50

Elaborado: Autor

Tabla 26. Desarrollo de la metodología de Cardona & Hurtado para el índice de vulnerabilidad en el bloque 1 de la Casa-Hacienda

Cálculos Bloque 1			
Descripción	Unidad		
Resistencia al corte de muros en dirección Y	VR _Y	Tn	43.74
Resistencia al corte de muros en dirección X	VR _X	Tn	49.09
Coefficiente sísmico resistente	CSR	Tn/m ²	0.11
Relación entre la relación espectral y el PGA para el período de retorno seleccionado	n		2.48
Tipo de suelo	D		
Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto	Fa		1.4
Aceleración máxima en roca para el sismo de diseño	Z		0.25
Espectro elástico de aceleraciones	Sa		0.868
Coefficiente sísmico exigido	CSE		0.868
Demanda de ductilidad	DD		8.02

Elaborado: Autor

Los valores de n , Z , F_a son extraídos de la NEC de diseño sismorresistente, dichos parámetros dependen fundamentalmente de las características de la zona de emplazamiento.

4.6.2. Evaluación del índice de daño del bloque 2

El desarrollo del índice de vulnerabilidad correspondientes al bloque 2, se muestran en las (Tabla 29) hasta la (Tabla 30).

Tabla 27. Longitud de los muros de adobe en dirección (x,y), y peso propio del bloque 2

Primera planta Bloque 2						
Long. en Y (m)	Altura (m)	E muro (m)	Área (m²)	Vol. (m³)	d Muro (T/m³)	Peso Muro (Ton)
2.67	2.86	0.1	7.64	0.76	1.8	1.37
1.01	2.86	0.1	2.89	0.29	1.8	0.52
3.93	2.86	0.7	11.24	7.87	1.8	14.16
1.72	2.86	0.16	4.92	0.79	1.8	1.42
2.99	2.86	0.6	8.55	5.13	1.8	9.24
4.58	2.86	0.65	13.10	8.51	1.8	15.33
1.3	2.86	0.2	3.72	0.74	1.8	1.34
1.71	2.86	0.45	4.89	2.20	1.8	3.96
2.69	2.86	0.2	7.69	1.54	1.8	2.77
1.44	2.86	0.2	4.12	0.82	1.8	1.48
Longitud total de muros en sentido (y) del bloque 2 (m)		24.04				
Peso total en y de muros (Ton)		51.59				
Long. en X (m)	Altura (m)	E muro (m)	Área (m²)	Vol. (m³)	d Muro (T/m³)	Peso Muro (Ton)
2.25	2.86	0.17	6.44	1.09	1.8	1.97

1.13	2.86	0.1	3.23	0.32	1.8	0.58
8.19	2.86	0.2	23.42	4.68	1.8	8.43
4.08	2.86	0.2	11.67	2.33	1.8	4.20
6.06	2.86	0.2	17.33	3.47	1.8	6.24
7.6	2.86	0.2	21.74	4.35	1.8	7.82
5.17	2.86	1	14.79	14.79	1.8	26.62
4.16	2.86	1	11.90	11.90	1.8	21.42
1	2.86	0.68	2.86	1.94	1.8	3.50
2.69	2.86	0.55	7.69	4.23	1.8	7.62
4.86	2.86	0.7	13.90	9.73	1.8	17.51
4.03	2.86	0.75	11.53	8.64	1.8	15.56
7.53	2.86	0.75	21.54	16.15	1.8	29.07
2.64	2.86	0.4	7.55	3.02	1.8	5.44
4.3	2.86	0.53	12.30	6.52	1.8	11.73
Longitud total de muros en sentido (x) del bloque 2 (m)		65.69				
Peso total en y de muros (Ton)		167.71				

Segunda planta bloque 2

Long. en Y (m)	Altura (m)	E muro (m)	Área (m ²)	Volumen (m ³)	d Muro (T/m ³)	Peso Muro (Ton)
1.95	2.41	0.15	4.70	0.70	1.8	1.27
6.28	2.41	0.15	15.13	2.27	1.8	4.09
4.72	2.41	0.15	11.38	1.71	1.8	3.07
2.28	2.41	0.25	5.49	1.37	1.8	2.47
1.42	2.41	0.25	3.42	0.86	1.8	1.54
0.76	2.41	0.3	1.83	0.55	1.8	0.99
1.85	2.41	0.17	4.46	0.76	1.8	1.36
3.53	2.41	0.17	8.51	1.45	1.8	2.60

Peso total en (y) de muros (Ton)							17.40
Long. X (m)	Altura (m)	E muro (m)	Área (m²)	Volumen (m³)	d Muro (T/m³)	Peso Muro (Ton)	
4.03	2.41	0.15	9.71	1.46	1.8	2.62	
3.13	2.41	0.15	7.54	1.13	1.8	2.04	
2.12	2.41	0.15	5.11	0.77	1.8	1.38	
1.15	2.41	0.15	2.77	0.42	1.8	0.75	
2.06	2.41	0.15	4.96	0.74	1.8	1.34	
3.03	2.41	0.15	7.30	1.10	1.8	1.97	
2.8	2.41	0.15	6.75	1.01	1.8	1.82	
2.4	2.41	0.15	5.78	0.87	1.8	1.56	
1.69	2.41	0.2	4.07	0.81	1.8	1.47	
4.16	2.41	0.17	10.03	1.70	1.8	3.07	
1.44	2.41	0.2	3.47	0.69	1.8	1.25	
Peso total en y de muros (Ton)				19.27			

En el bloque 2 al ser una estructura de dos plantas, a simple vista se puede suponer que es más vulnerable a diferencia del bloque 1, debido a que este tuvo que soportar más cargas vivas, en la (Tabla 28) se plasma dicha hipótesis.

Tabla 28. Cargas sobreimpuestas y vivas en el bloque 2

Cargas muertas bloque 2			
Descripción	Área (m²)	Carga (Ton/m²)	Peso (Ton)
Cubierta	230.8	0.1	23.08
Entrepiso madera	105	0.0294	3.087
Cielorraso	210	0.0294	6.174
Carga Viva bloque 2			

Descripción	Uso	Área	Carga (Ton/m ²)	Peso (Ton)
Primera planta	Colegio	105	0.48	50.4
Cubierta	0.1	230.8	0.1	23.08
Peso total bloque 2		361.78	Ton	

Fuente: (Nec-Se-Cg, 2015)

Tabla 29. Análisis del bloque 2 en base a la información de campo.

Datos bloque 2			
Descripción	Unidad		
Longitud de muros de adobe en y	LY	m	24.04
Longitud de muros de adobe en X	LX	m	65.69
Resistencia al corte en mampostería sin confinar	v	Tn/m ²	1.8
Espesor promedio de muro en X	ex	m	0.50
Espesor promedio de muro en Y	ey	m	0.34
Peso de la edificación	W	Ton	361.78

Elaborado: Autor

Tabla 30. Desarrollo de la metodología de Cardona & Hurtado para el índice de vulnerabilidad en el bloque 2 de la Casa-Hacienda

Cálculos Bloque 2			
Descripción	Unidad		
Resistencia al corte de muros en dirección Y	VR _Y	Ton	14.54
Resistencia al corte de muros en dirección X	VR _X	Ton	58.57
Coefficiente sísmico resistente	CSR	Ton/m ²	0.04
Relación entre la relación espectral y el PGA para el período de retorno seleccionado	h		2.48
Tipo de suelo	D		
Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto	F _a		1.4
Aceleración máxima en roca para el sismo de diseño	Z		0.25
Espectro elástico de aceleraciones	S _a		0.868

Coefficiente sísmico exigido	CSE	0.868
Demanda de ductilidad	DD	21.59

Elaborado: Autor

4.7. Índice de daño para diferentes intensidades

Como se trató en el apartado 2.2.4, se puede relacionar la intensidad con la aceleración máxima esperada en roca (Z), por lo que sería conveniente analizar este inmueble patrimonial para una aceleración relativamente ligera como se puede ver en la (Tabla 31) y (Tabla 32), para identificar la vulnerabilidad de la edificación con sismos de magnitud relativamente baja, bajo la metodología de O. Cardona & Hurtado

Tabla 31. Cálculo de la demanda de ductilidad para una aceleración en roca baja en el bloque 1 de la Casa – Hacienda.

Cálculos Bloque 1			
Descripción	Unidad		
Resistencia al corte de muros en dirección Y	VR _Y	T _n	43.74
Resistencia al corte de muros en dirección X	VR _X	T _n	49.09
Coefficiente sísmico resistente	CSR	T _n /m ²	0.11
Relación entre la relación espectral y el PGA para el período de retorno seleccionado	h		2.48
Tipo de suelo	D		
Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto	F _a		1.4
Aceleración máxima en roca para el sismo de diseño	Z		0.015
Espectro elástico de aceleraciones	S _a		0.05208
Coefficiente sísmico exigido	CSE		0.05208

Demanda de ductilidad	DD	0.48
------------------------------	----	------

Fuente: Autor

Tabla 32. Cálculo de la demanda de ductilidad para una aceleración en roca baja en el bloque 2 de la Casa – Hacienda.

Cálculos Bloque 2			
Descripción	Unidad		
Resistencia al corte de muros en dirección Y	VR Y	Tn	14.54
Resistencia al corte de muros en dirección X	VR X	Tn	58.57
Coefficiente sísmico resistente	CSR	Tn/m ²	0.04
Relación entre la relación espectral y el PGA para el período de retorno seleccionado	h		2.48
Tipo de suelo		D	
Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto	Fa		1.4
Aceleración máxima en roca para el sismo de diseño	Z		0.015
Espectro elástico de aceleraciones	Sa		0.05208
Coefficiente sísmico exigido	CSE		0.05208
Demanda de ductilidad	DD		1.29

Fuente: Autor

La NEC en su capítulo de diseño sismorresistente establece una capacidad de ductilidad (CD) en estructuras de mampostería no confinada con un valor de 1, en esta normativa este coeficiente es conocido con la letra R, con lo que a partir de este parámetro se establece la relación en la categorización de daño bajo la metodología de (O. Cardona & Hurtado, 1990), mostrado en la (Tabla 33).

Tabla 33. Categorización del índice de vulnerabilidad en función de la demanda de ductilidad.

Categoría y estado de daños	Criterio con relación al valor de la demanda de ductilidad (DD)
1. Ninguno	$DD < 0.50 CD$
2. Menores	$0.50 CD < DD < 0.75 CD$
3. Moderados	$0.75 CD < DD < 1.00 CD$
4. Mayores	$1.00 CD < DD < 1.50 CD$
5. Totales	$1.50 CD < DD < 2.00 CD$
6. Colapso	$2.00 CD < DD$

Fuente: (O. Cardona & Hurtado, 1990)

5. Análisis de resultados

En este trabajo de titulación se pretende identificar el grado de vulnerabilidad y el daño esperado en una edificación patrimonial frente a un sismo, con el fin de determinar la probabilidad de habitabilidad o en todo caso una pronta intervención estructural. Al evaluar este inmueble podemos garantizar a simple vista un margen de inseguridad alta, debido al deterioro de su estructura, tanto en la parte estructural como arquitectónica.

5.1. Vulnerabilidad sísmica valorada por la metodología de evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras de conformidad con NEC 2015

Como se pudo observar en el (ANEXO 2) y (ANEXO 3) ambos bloques presentan una vulnerabilidad alta, debido en esencia a la estructuración de muros no confinados y además de la falta de mantenimiento a lo largo de la vida útil de la misma, por lo que, en base a la evaluación realizada, se obtuvo una denominación para la Casa – Hacienda, como una edificación de alta vulnerabilidad sísmica, en la (Figura 34) se puede observar de forma gráfica los resultados obtenidos bajo esta metodología en ambos bloques. Cabe recalcar que la mayoría de los inmuebles patrimoniales caen en esta denominación, básicamente debido al déficit de criterios sismorresistentes de la época, del deterioro de la edificación a lo largo de su uso y a la falta de mantenimiento de la estructura, también se establece una relación entre los resultados obtenidos bajo esta metodología y del método indicado en la sección 3.5 del presente trabajo, realizado en la ciudad de Azogues, calificando a las edificaciones de adobe y bahareque como altamente vulnerables a la actividad sísmica.

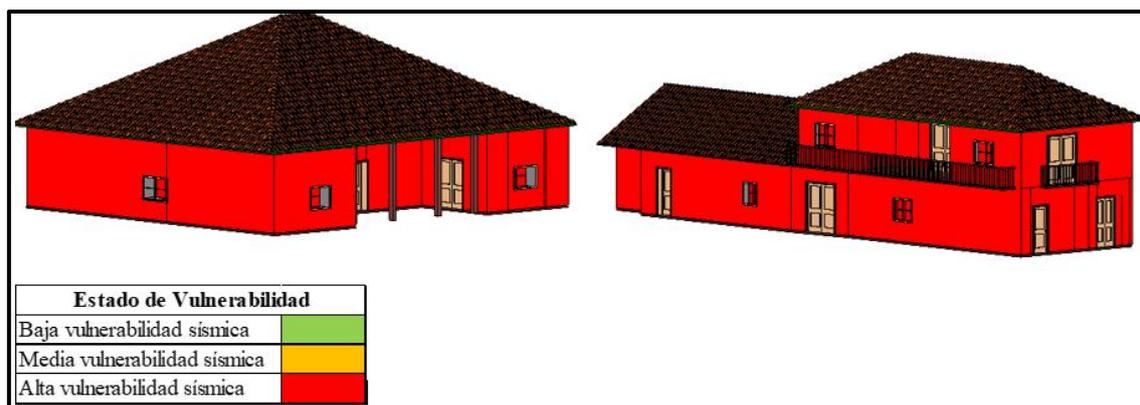


Figura 34. Representación gráfica de la vulnerabilidad sísmica en la Casa-Hacienda bajo la metodología EVSE

5.2. Índice de Daño

En las (Tabla 26) y (Tabla 30) se plasman los resultados obtenidos del análisis bajo la metodología de Cardona & Hurtado, de lo cual se obtuvo el parámetro fundamental que es la demanda de ductilidad, necesaria para poder categorizar el grado de daño esperado ante un determinado sismo de forma subjetiva como se muestra en la (Tabla 33). Ambos bloques tienen una probabilidad alta de colapsar durante un sismo. Se puede concluir una cierta relación con la clasificación de daño en edificaciones de mampostería no reforzada de la Comisión Sismológica Europea presentes en la (Tabla 3) colocando al bloque 1 y bloque 2 en un grado 5. Como se ha venido mencionando estos resultados son básicamente producto de las malas técnicas de construcción del aquel entonces, con ello se puede establecer un criterio razonable de que dicha edificación requiere de una inmediata intervención estructural, ya que espera un porcentaje alto de daño durante un sismo.

En la (Tabla 31) y (Tabla 32), se puede observar el análisis de ambos bloques con una actividad sísmica de intensidad baja, determinando que La Casa – Hacienda bloque 1 es una estructura que si hubiese estado emplazada en un lugar donde no se presenta actividad sísmica fuese funcional, siempre y cuando se tome en cuenta los diferentes criterios

técnicos que pueden influir con el uso que se le dé, mientras que el bloque 2 incluso con una actividad sísmica muy leve es propenso a sufrir daños en su estructura, en las (Figura 35) y (Figura 36), se plasma de forma gráfica los resultados obtenidos bajo esta metodología.

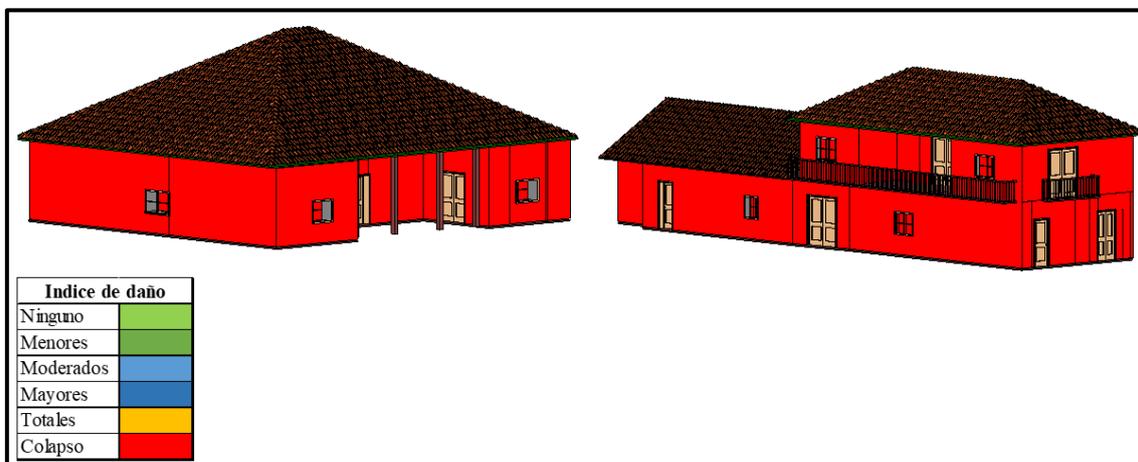


Figura 35. Representación del índice de daño de la Casa-Hacienda para la aceleración en roca propia del cantón Azogues establecida por la NEC

Elaborado por: Autor



Figura 36. Representación del índice de daño de la Casa-Hacienda para la menor aceleración en roca establecida por la NEC

Elaborado por: Autor

6. Conclusiones y Recomendaciones

6.1. Conclusiones

Es cierto que el desarrollo de estudios referentes al fenómeno sísmico, y su incidencia sobre las edificaciones ha ido evolucionando conforme al pasar de los años, en base a la experiencia de sucesos sísmicos originados en diferentes partes del mundo. Para ello la comunidad científica ha contribuido a la rama de la ingeniería, metodologías capaces de identificar el grado de vulnerabilidad de edificaciones existentes frente a la actividad sísmica, con el fin de identificar la acción a tomar, siendo principalmente el mantenimiento, reforzamiento o en el peor de los casos su demolición.

La realización de este trabajo de titulación analiza de forma eficiente una metodología capaz de identificar el grado de vulnerabilidad en edificaciones no solo patrimoniales, sino la gran mayoría de sistemas constructivos en el Ecuador. Los diversos parámetros que contempla esta metodología proporcionan, aunque sea de forma cualitativa resultados de vulnerabilidad sísmica que aporta con información sobre el grado de inseguridad que se puede llegar a tener dentro de una edificación durante una actividad sísmica.

El formulario EVSE de vulnerabilidad sísmica proporcionado por la Fema 154 y disponible en la NEC, es una metodología práctica, eficiente que emplea información disponible en el medio, a un bajo costo económico.

Alrededor de todo el Ecuador existen muchas construcciones empíricas habitadas, concebidas sin ningún criterio técnico, por lo que la metodología EVSE podría ser aplicada para diversos lugares del país con motivo de identificar las edificaciones más vulnerables y concientizar a las personas que residen en ellas, que no están seguros durante una actividad sísmica determinada, que es muy probable que suceda.

Cabe recalcar que la metodología empleada, EVSE, se limita a calificar a la tipología de inmuebles patrimoniales de una forma generalizada, ya que no toma en consideración parámetros de calibración específicos del sistema constructivo, puesto que no todas las estructuras de este tipo fueron edificadas con los mismos materiales y técnicas constructivas, en este caso se pudo observar en la (Tabla 6) que el adobe es un material de propiedades mecánicas muy variadas, que depende esencialmente de la zona de donde se extraiga la materia prima.

Los autores (Calvi et al., 2006), establecen en su artículo científico, que la mayoría de estas metodologías deben estar siempre abiertas a nuevas modificaciones, principalmente destacan que un método de vulnerabilidad sísmica debe considerar los siguientes aspectos: el primero es complementarse siempre con los sismos más recientes suscitados en la zona, manifestar de forma explícita todos los imprevistos que se puedan presentar, el modelo estructural debe llegar ser compatible con las técnicas de construcción del lugar, debe existir un balance entre el la capacidad computacional y la magnitud de la información a detalle que se necesita.

Las metodologías presentadas en esta investigación, son unas cuantas de todas las desarrolladas en el mundo, pero se puede concluir mediante la revisión bibliográfica que es poco probable que se pueda crear un método que abarque todos los requisitos de las diversas metodologías de vulnerabilidad sísmica, por lo que es de vital importancia identificar los enfoques principales que se requieren para posterior a eso adaptarlos a un caso en particular.

La Casa – Hacienda utilizada como caso de estudio en esta investigación presenta un alto riesgo frente a un sismo, principalmente en el bloque dos al contar con una segunda planta. Lo cual hace de esta construcción un peligro potencial, debido a la alta demanda que puede llegar a tener en el caso de que se suscite algún evento dentro de esta

edificación y a la falta de concientización de los moradores que siguen interactuando con el inmueble, que desconocen el alto grado de vulnerabilidad presente.

Se puede suponer que el rápido deterioro de la Casa – Hacienda en sus elementos estructurales principalmente en el bloque 2, fue porque estuvo sometida a demandas de carga más allá de las que debería a ver operado, ya que fue construida a finales del siglo XIX y principios del XX, y a ha sido utilizada, como sala de reuniones sociales, iglesia y colegio, generando sobreesfuerzos en toda le edificación, y sumado a ello la falta de mantenimiento.

Cabe recalcar que es de gran importancia regirse a criterios sismorresistentes para garantizar la seguridad de las personas y la economía de las mismas, debido a que el Ecuador ha tenido un silencio sísmico extenso, de manera que la energía sísmica se sigue acumulando, aumentando de esa forma el grado de devastación de este fenómeno de la naturaleza, el cual es incierto el momento en el que se pueda suscitar.

Es de vital importancia que tanto la sociedad Azogueña como todos aquellos que gozan de un entorno patrimonial, sean consecuentes del alto grado de vulnerabilidad al que están expuestos diariamente, debido a la falta de preocupación que se ha venido manejando en el ámbito estructural del patrimonio edificado, ya que cada vez las normativas de construcción son más estrictas en el aspecto sísmico, pero las edificaciones patrimoniales son desde su concepción vulnerables, y a pesar de que la actividad sísmica no sea constante, puede llegar a suscitarse algún movimiento telúrico importante que podría cobrar la vida de muchas personas.

El patrimonio cultural que el cantón Azogues posee, es de alto valor histórico, representa el legado de nuestros antepasados, por lo que cualquier intervención estructural, debe regirse a la ideología de preservar dicho valor, pero siempre poniendo en primer lugar la seguridad de las personas.

6.2. Recomendaciones

Una vez evaluado el grado de vulnerabilidad ya sea de un bien patrimonial u otro, posterior a ello sería de gran ayuda implementar métodos cuantitativos con el objeto de identificar las zonas más vulnerables.

Una recomendación importante sería determinar mediante ensayos en laboratorio las propiedades mecánicas de los materiales, como se pudo observar el método de Cardona & Hurtado para el índice de daño, se fundamenta en la resistencia a corte de la mampostería no confinada, lo cual en la presente investigación se trabajó con el menor valor obtenido de investigaciones por parte de la Universidad de Cuenca en estructuras conformadas de adobe dentro de la ciudad de Cuenca, por lo que es una incertidumbre, si se actuó o no de forma conservadora, o si las resistencias a corte de los muros no confinados de la Casa-Hacienda son mayores a las utilizadas en este análisis.

Las herramientas computacionales han tomado fuerza en el campo de la ingeniería, permitiendo la modelización de las edificaciones, proporcionando resultados muy aproximados a la realidad, por lo que sería de gran aporte obtener el comportamiento estructural en distintos escenarios, considerando eventos sísmicos extremos que puedan ocurrir, con la ayuda de un software estructural, para determinar la ductilidad de las edificaciones patrimoniales.

Uno de los análisis recomendados sería un Pushover para determinar las zonas propensas a formar rotulas plásticas, y de esa forma determinar los elementos que requieren de un mayor reforzamiento y/o mantenimiento, de igual forma sería conveniente realizar este análisis de la edificación con una propuesta de reforzamiento para identificar el punto de desempeño de la misma, y reconocer si está dentro de los rangos de seguridad de vida o prevención de colapso, con el fin de garantizar la seguridad de las personas que interactúen en el inmueble.

En base a las metodologías seleccionadas EVSE y la de Cardona & Hurtado, se podría generalizar dichos resultados, para todas las edificaciones en el cantón Azogues, ya que existen varios predios patrimoniales incluso de uso comercial con la misma tipología constructiva del caso de estudio.

En el caso particular de la Casa-Hacienda sería conveniente que las autoridades pertinentes realicen la valorización necesaria y puedan colocar la marca estipulada por el Ministerio de Desarrollo Urbano y Vivienda, como un inmueble inseguro con el propósito de evitar accidentes por el mal estado de la edificación, pero principalmente generar un plan de intervención.

Uno de los factores de gran importancia dentro de la vulnerabilidad sísmica es la cimentación y el suelo de fundación por lo que sería prudente realizar estudios más detallados, con Ingenieros Geotécnicos, que evalúen a fondo el estado del suelo y si hay posibilidad de licuefacción del mismo durante una actividad sísmica.

Referencias Bibliográficas

- Aguilar, D., & Quezada, R. (2017). Caracterización física y mecánica del adobe en el cantón Cuenca [Universidad de Cuenca]. En *Universidad de Cuenca-Ecuador*. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28143>
- Arteaga, P. A. (2016). *Estudio de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y evaluación del índice de daño de una edificación perteneciente al patrimonio central edificado en la ciudad de Cuenca - Ecuador*. 95. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/26547>
- Aveiga, G., & Carvajal, J. (2018). *Análisis de pérdidas y estimación de daños utilizando la herramienta PACT del FEMA P58, en una edificación ubicada en la ciudad de Quito*. Universidad Central de Quito.
- “Ordenanza para el manejo y administración del Patrimonio Cultural y urbano de Azogues”, (2011).
- Barbat, A. H., Canas, J. A., & Yopez, F. (1995). Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería. En *Monografías de Ingeniería Sísmica* (p. 118).
- Barbat, H., Oller, S., & Vielma, J. C. (2005). Cálculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02. En H. Barbat (Ed.), *Catalònia cultura* (Número 41).
- Basabe, P., Almeida, E., Ramón, P., Zeas, R., & Albarez, L. (1998). *prevención de desastres naturales en la cuenca del río Paute, Proyecto PRECUPA*. Bull. Inst. fr. études andines.
- Bedenetti, D., & Petrini, V. (1984). “Sulla Vulnerabilità Di Edifici in Muratura: Proposta Di Un Metodo Di Valutazione”. *L'industria delle Costruzioni*, 149(1), 66–74.

- Benito Oterino, B. (2013). Geología, terremotos y riesgo sísmico: avances y perspectivas. *Encuentros Multidisciplinares*, 1–6. [http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistanº45/Belén Benito.pdf](http://www.encuentros-multidisciplinares.org/Revistanº45/Belén%20Benito.pdf)
- Bermúdez, J., Touza, M., & Sanz, F. (2011). *Manual de la madera de Eucalipto blanco*.
- Bolt, A. B. (1993). *Earthquakes* (W. Freeman (ed.)).
- Bonnett, R. (2003). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. [Universidad Politécnica de Catalunya]. <http://hdl.handle.net/2117/93542>
- Bravo, D., & Flores, L. (2015). *Análisis estático no lineal de paredes de ladrillo de las casas de Cuenca* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/23119>
- Bustos, J. D. (2010). *Los movimientos telúricos en la ciudad de Cuenca, estrategias de comunicación no convencionales* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/1769>
- Cabrera, C. (2011). *Intervención Casa-Hacienda Pillcomarca*.
- Calvi, G. M., Pinho, R., Magenes, G., Bommer, J. J., Restrepo-Vélez, L. F., & Crowley, H. (2006). Development of seismic vulnerability assessment methodologies over the past 30 years. *ISET Journal of Earthquake Technology*, 43(3), 75–104.
- Cardona, D. O. (2008). Medición de la gestión del riesgo en América Latina. *Revista Internacional Sostenibilidad, Tecnología y Humanismo.*, Número 3, 1–20.
- Cardona, O., & Hurtado, J. (1990). Propuestas metodológicas para los análisis de vulnerabilidad. En *Informe consultoría Proyecto UNDRO / ACD / ONA para la mitigación de riesgos en Colombia*.

- Comisión Sismológica Europea. (1998). *Escala Macro Sísmica Europea EMS - 98* (G. GRÜNTAL (ed.); Vol. 15).
- Corsanego, A. (1995). Recent trends in the field of earthquake damage interpretation. *Proceeding of the 10th European Conference on Earthquake Engineering*.
- CSN. (2016, abril 10). *Shake Maps | Centro Sismológico Nacional*.
<https://www.csn.uchile.cl/shake-maps/>
- De La Peña, D. (1997). *Adobe, características y sus principales usos en la construcción*. Instituto Tecnológico de la Construcción.
- Estrada, L. (2008). *Geofísica para Geólogos*.
- FEMA, N. I. of B. S. and F. E. A. M. (2002). *Earthquake Loss Estimation Methodology. HAZUS 99 and HAZUS MH*. <https://www.fema.gov/>
- GAD Municipal de Azogues. (2012). *Plan Del Buen Vivir y Ordenamiento Territorial*.
- Instituto Geofísico - EPN. (2020, abril 16). *Cuatro años después del Terremoto de Pedernales: Un testimonio sobre el peligro sísmico en el Ecuador - Instituto Geofísico - EPN*. <https://www.igepn.edu.ec/interactuamos-con-usted/1810-cuatro-anos-despues-del-terremoto-de-pedernales-un-testimonio-sobre-el-peligro-sismico-en-el-ecuador>
- Litherland, M., Aspden, J., & Jemielita, R. (1994). The metamorphic belts of Ecuador. *British Geological Survey, Overseas Memoir*, 11–147.
- Llanos, F., & Vidal, M. (2003). *Evaluación de la Vulnerabilidad sísmica de escuelas públicas de Cali: Una propuesta metodológica* [Universidad del valle. Escuela de Ingeniería Civil y Geomática]. repositorio.utea.edu.pe
- Maderas Medina S.L. (2020). *Pino sivebre ficha técnica y características de su madera*.

<https://www.maderasmedina.com/fichas-propiedades/madera-de-coniferas/pino-silvestre.html>

Minke, G. (2005). *Manual De Construccion En Tierra* (Segunda ed). Fin de Siglo.

Nec-Se-Cg. (2015). Cargas no sísmicas. En *Nec: Vol. Capítulo 1*.

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2014/08/NEC-SE-CG.pdf>

NEC-SE-DS. (2015). *Cargas Sísmicas y Diseño Sismo Resistente*.

<https://doi.org/10.1533/9781782420477.27>

NEC-SE-RE. (2015). *Riesgo sísmico, Evaluación, Rehabilitación de Estructuras*.

NEC. (2015a). *Guia-5-Evaluacion-Y-Rehabilitacion de Estructuras*. 5, 1–185.

NEC. (2015b). *Preguntas y Respuestas Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC)*.

<https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2017/11/PREGUNTAS-Y-RESPUESTAS.pdf>

Neira, F., & Ojeda, L. (1992). *Dinteles de ladrillo armado* [Universidad de Cuenca].

<http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/7113>

Oliva, A. (2017). *Curvas de capacidad y fragilidad estructural de tipologías comúnmente usadas en el Salvador*. UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR RECTOR.

Osorio, D. (2017). *Evaluación y diseño para la rehabilitación de la vivienda del Sr.*

Walter Santos en la parroquia Pedernales [Pontificia Universidad Católica del Ecuador]. <http://repositorio.puce.edu.ec/handle/22000/14551>

Palomino, C. (1999). *Metodologías para estudios de Vulnerabilidad Sísmica Estructural de Edificaciones Existentes*. Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica Jornadas Estructurales de la Ingeniería de Colombia.

- Park, Y. ., & Ang, A. (1985). Mechanistic seismic damage model for reinforced concrete. *Journal of Structural Engineering, ASCE, 111(4)*, 722–739.
- Peláez, J. (2011). Fundamentos Conceptuales y Didácticos Sobre las escalas de magnitud. *Enseñanza de las Ciencias de la Tierra*, 267-.
- Pérez, F. J. (2014). *Diseño sísmico basado en desplazamientos (DDBD)*. 301.
- Quituisaca, D. (2015). *Cantón Azogues*. Universidad Católica de Cuenca.
- Rego Sanmartín, T., García Navarro, J., Cañas Guerrero, I., & Ortiz Sanz, J. (2000). Análisis tipológico de las estructuras de las construcciones rurales tradicionales de barro. La casa de corral en el Páramo de León (España). *Informes de la Construcción*, 52(468), 5–17. <https://doi.org/10.3989/ic.2000.v52.i468.697>
- Rivadeneira, F., Segovia, M., Alvarado, A., Egred, J., Troncoso, L., Vaca, S., & Yepes, H. (2007). *Breves Fundamentos sobre los Terremotos en el Ecuador* (I. G. -EPN (ed.)).
- Rivas, P. (2017). *Confort Térmico En Viviendas Vernáculas, Técnica De Construcción De Bahareque En Azogues - Ecuador* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/28746>
- Romero, A., & Zhindón, E. (2017). *Evaluación sísmica de casas de mampostería de tierra vulnerables a modos de falla fuera del plano* [Universidad de Cuenca]. <http://dspace.ucuenca.edu.ec/handle/123456789/27365>
- Romero, N. (2016). *Evaluación de vulnerabilidad sísmica para la ciudad de Azogues* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/15154>
- Singaucho, M., Laurendeau, A., Viracucha, C., & Ruiz, M. (2016). *Informe Sísmico Especial N.- 18 Observaciones del sismo del 16 de abril de 2016 de magnitud Mw*

7.8. *Intensidades y aceleraciones.*

Tarbuck, E. J., Lutgens, F. K., & Tasa, D. (2005). Ciencias de la Tierra. En *Geology* (Vol. 30).

Torres, L., & Poterico, J. (2013). Propiedades físico - mecánicas de las rocas o minerales y su aplicación en el diseño de obras de ingeniería en el Callejón de Huaylas - 2013. *Aporte Santiaguino*, 10(1), 99. <https://doi.org/10.32911/as.2017.v10.n1.186>

Verdezoto, P. (2006). *Levantamiento geológico del sector comprendido entre las latitudes 2§ 37' S y 2§ 50' S, provincias de Cañar y Azuay, con especial enfoque sobre las secuencias miocénicas* [Escuela Politécnica Nacional]. <http://bibdigital.epn.edu.ec/handle/15000/264>

ANEXOS

Anexo 1. Registro de la actividad sísmica en la ciudad de Azogues

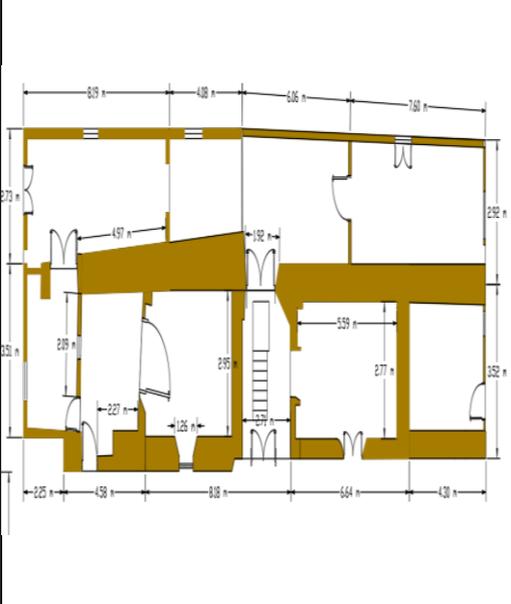
FECHA	LAT.	LONG.	PROF.	Mag.	DIST.	AZIMUT	CIUDAD
09/03/1990	2.85S	78.68W	184.5	4.6	22.19	128.3°	AZOGUES
04/05/1990	2.82S	78.80W	0	4	10.99	155.6°	AZOGUES
14/06/1990	2.82S	78.41W	15.7	4.2	48.58	101.4°	AZOGUES
01/12/1991	2.23S	78.98W	28	4.5	57.59	344.4°	AZOGUES
09/05/1993	2.18S	79.06W	17.3	4.4	66.05	338.0°	AZOGUES
09/09/1993	2.52S	79.02W	95	4	30.9	318.5°	AZOGUES
21/03/1994	2.90S	78.76W	65.1	4.4	20.54	153.4°	AZOGUES
17/06/1995	2.36S	79.05W	47	4.3	47.37	331.0°	AZOGUES
24/09/1995	2.52S	79.18W	95	4.7	44.59	300.9°	AZOGUES
03/10/1995	3.03S	78.59W	16	4.6	43.66	139.7°	AZOGUES
03/10/1995	2.97S	78.28W	16	4.3	68.03	113.4°	AZOGUES
03/10/1995	3.01S	78.42W	15	4.4	55.74	123.4°	AZOGUES
03/10/1995	2.81S	78.54W	16	4.5	34.73	105.2°	AZOGUES
03/10/1995	2.78S	78.58W	16	4.4	29.15	101.2°	AZOGUES
03/10/1995	2.81S	78.42W	16	4.5	47.61	100.9°	AZOGUES
03/10/1995	3.09S	78.65W	50	4.6	44.86	152.4°	AZOGUES
03/10/1995	2.63S	78.66W	16	4.8	22.77	60.5°	AZOGUES
03/10/1995	2.67S	78.68W	16.3	4.4	19.45	69.7°	AZOGUES
03/10/1995	2.74S	78.59W	16	4.2	27.48	91.6°	AZOGUES
03/10/1995	2.61S	78.85W	15	4.9	13.81	356.8°	AZOGUES
03/10/1995	3.16S	78.14W	0	4.4	91.94	121.7°	AZOGUES
03/10/1995	2.99S	78.28W	11	4.6	68.45	115.2°	AZOGUES
06/10/1995	3.11S	78.29W	7.3	5	74.4	124.3°	AZOGUES
19/10/1995	2.54S	78.89W	6.2	4.2	21.43	345.9°	AZOGUES
19/10/1995	2.52S	78.87W	7.6	4.3	23.54	350.7°	AZOGUES
23/10/1995	2.86S	78.36W	2.9	4.8	55.07	105.7°	AZOGUES
20/11/1995	2.81S	78.65W	6.8	4.6	22.89	112.9°	AZOGUES
11/01/1996	3.04S	78.38W	4	4.3	61.43	123.6°	AZOGUES
26/01/1996	3.27S	78.13W	9.8	4.7	99.58	127.4°	AZOGUES
29/01/1996	2.29S	78.80W	46	4.4	48.87	5.5°	AZOGUES
25/04/1996	3.04S	78.27W	0	4.1	71.41	118.5°	AZOGUES
25/05/1996	2.93S	78.81W	23.1	4.4	22.39	170.9°	AZOGUES
07/09/1996	2.53S	78.60W	108.6	4	34.6	49.3°	AZOGUES
24/09/1996	2.69S	78.42W	26	4.3	46.46	84.4°	AZOGUES
11/10/1996	2.72S	78.46W	0	4	41.7	89.1°	AZOGUES
27/10/1996	3.05S	78.30W	9.3	4.7	69.23	120.4°	AZOGUES
15/11/1996	2.72S	78.47W	5	4.2	40.76	88.8°	AZOGUES
20/02/1997	2.61S	78.60W	12	4.1	29.42	62.6°	AZOGUES
03/05/1997	2.30S	78.65W	132.5	4	52.54	23.4°	AZOGUES
01/06/1997	2.86S	78.87W	5	4.1	14.31	192.6°	AZOGUES

19/08/1997	3.08S	78.20W	5	4.1	80.9	118.5°	AZOGUES
20/09/1997	3.18S	78.35W	12	4	73.46	132.4°	AZOGUES
31/10/1997	3.02S	78.27W	12	4.2	71.42	117.1°	AZOGUES
05/11/1997	2.37S	78.94W	101.9	4.7	41.33	343.8°	AZOGUES
30/01/1998	2.33S	79.01W	5	4	48.4	336.9°	AZOGUES
21/05/1998	2.25S	79.11W	7	4.7	61.27	330.7°	AZOGUES
11/08/1998	2.88S	78.69W	82.4	4.2	23.26	135.3°	AZOGUES
23/08/1998	3.07S	78.22W	10	4	78.39	119.2°	AZOGUES
27/10/1998	2.35S	79.25W	48.5	4	62.63	313.0°	AZOGUES
07/12/1998	2.70S	78.54W	97.8	4.3	33.14	84.1°	AZOGUES
01/01/1999	2.38S	78.92W	5	4	40.01	346.9°	AZOGUES
03/03/1999	3.47S	77.93W	120	5.1	130.11	129.0°	AZOGUES
04/09/1999	2.23S	78.81W	20	4.3	56.1	3.0°	AZOGUES
22/10/1999	2.32S	78.75W	10	4.4	46.82	12.8°	AZOGUES
19/02/2001	2.62S	78.99W	115.5	4.5	21.22	306.9°	AZOGUES
04/05/2001	2.40S	78.75W	71.3	4.6	37.52	15.1°	AZOGUES
15/05/2001	2.66S	79.02W	71.9	4.1	21.51	291.9°	AZOGUES
04/06/2001	3.32S	78.25W	50.8	4	92.9	134.9°	AZOGUES
20/08/2001	3.12S	78.51W	26.2	4.2	57.14	139.9°	AZOGUES
10/09/2001	2.30S	78.95W	16	4.1	49.8	345.8°	AZOGUES
10/09/2001	2.23S	79.12W	16	4.1	63.02	330.9°	AZOGUES
06/11/2001	3.43S	78.08W	229.2	4	114.55	132.5°	AZOGUES
23/12/2001	3.02S	78.41W	12	4	57.12	124.1°	AZOGUES
28/01/2002	2.84S	78.39W	12	4.1	51.26	104.4°	AZOGUES
04/07/2002	2.44S	78.54W	103.7	4	46.37	45.8°	AZOGUES

Anexo 2. Aplicación del formulario EVSE en el bloque 1 de la Casa-Hacienda Cojitambo

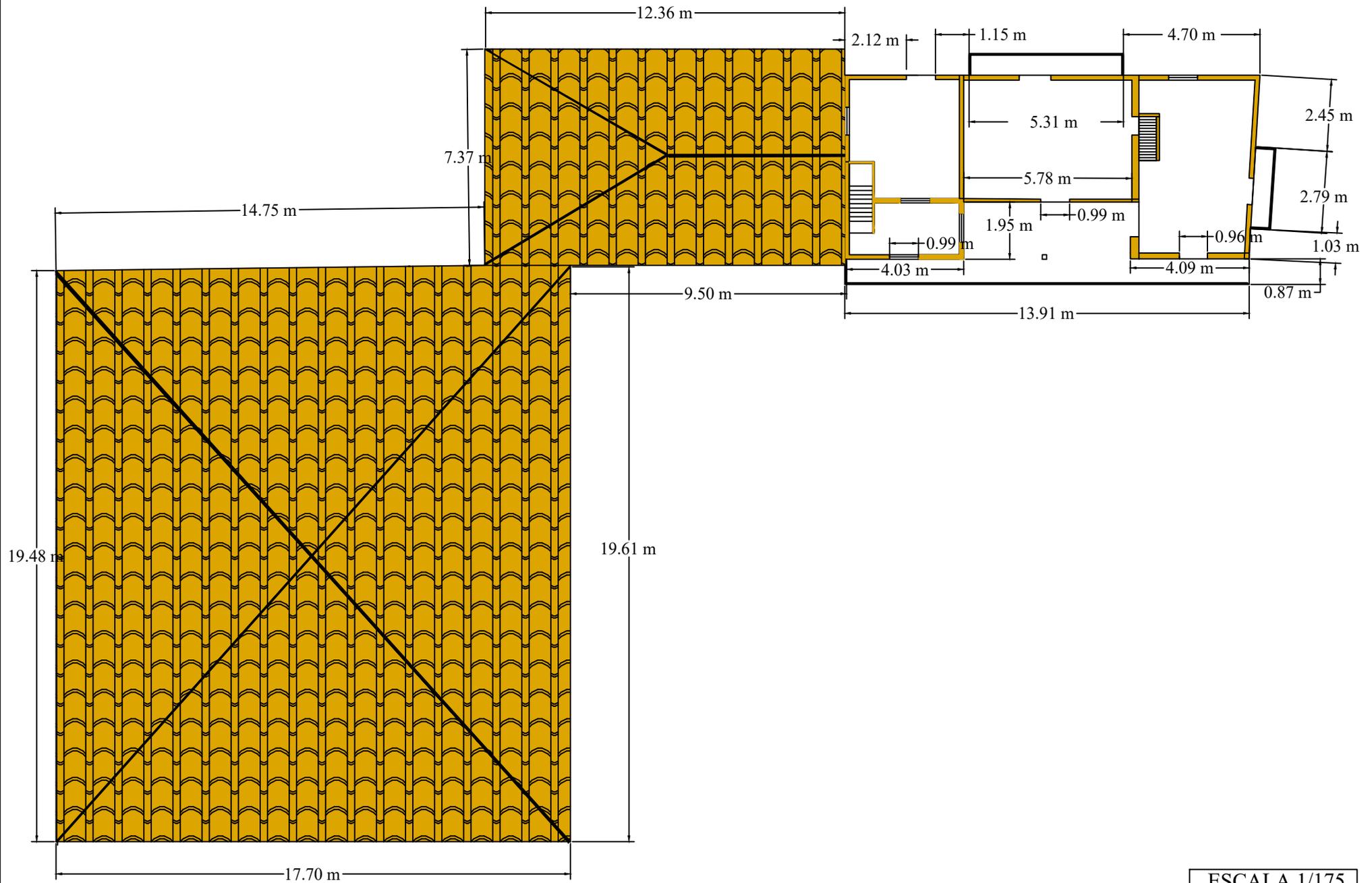
Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica de la Edificación																			
										Datos de edificación									
										Dirección					Ecuador - Cañar - Azogues				
															Parroquia de Cojitambo, junto a la entrada de Pillcomarca				
										Nombre de la edificación					Casa-Hacienda Bloque 1				
										Tipo de uso					Vivienda/Iglesia/Institución educativa				
										Año de construcción					Entre siglo XIX y XX				
										Área construida					234.22 m ²				
										Fecha de evaluación									
Año de remodelación					N/A														
Nombre del evaluador					Francisco Vazquez														
No. De identificación					0107205247														
Tipología del sistema estructural																			
Pórtico de hormigón armado														C1					
Pórtico de H.A con muros estructurales														C2					
Pórtico de H.A con mampostería confinada sin refuerzo														C3					
Hormigón armado prefabricado														PC					
Pórtico de acero laminado														S1					
Pórtico de acero laminado con diagonales														S2					
Pórtico de acero doblados en frío														S3					
Pórtico de acero laminados con muros estructurales de H.A														S4					
Pórtico de acero con paredes de mampostería de bloque														S5					
Madera														W1					
Mampostería sin refuerzo														URM					
Mampostería reforzada														RM					
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón														MX					
Puntaje básico, modificadores y puntajes finales																			
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5						
Puntaje básico	4.4	1.8	2.8	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2						
Altura de la edificación																			
Baja altura (menor a 4 pisos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	N/A	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	N/A	0.4	0.4						
Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	N/A	N/A	0.3	0.6	0.8	0.3	0.4	0.6	0.8	Nn/a	0.8	0.8						
Irregularidades de la edificación																			
Irregularidad vertical	-2.5	-1	-1	-1.5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1					
Irregularidad en planta	-0.5	-0.5	-0.5	1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5					
Código de la construcción																			
Pre-códigos antes de 1977	-	-0.2	-1	-1.2	-1.2	-1	-0.2	-0.8	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2					
Etapa de transición 1977 - 2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Post código moderno a partir 2001	1	N/A	2.8	1	1.4	2.4	1.4	1	1.4	1.4	1	1.6	1						
Suelo																			
Tipo de suelo C	-	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4					
Tipo de suelo D	-	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4					
Tipo de suelo E	-	-0.8	-0.4	-1.2	-1.2	-0.8	-0.8	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-0.8					
Puntaje final																			
1																			
Grado de vulnerabilidad																			
S menor a 2														Alta vulnerabilidad	X				
S entre 2 y 2.5														Media vulnerabilidad					
S mayor 2.5														Baja vulnerabilidad					

Anexo 3. Aplicación del formulario EVSE en el bloque 2 de la Casa-Hacienda Cojitambo

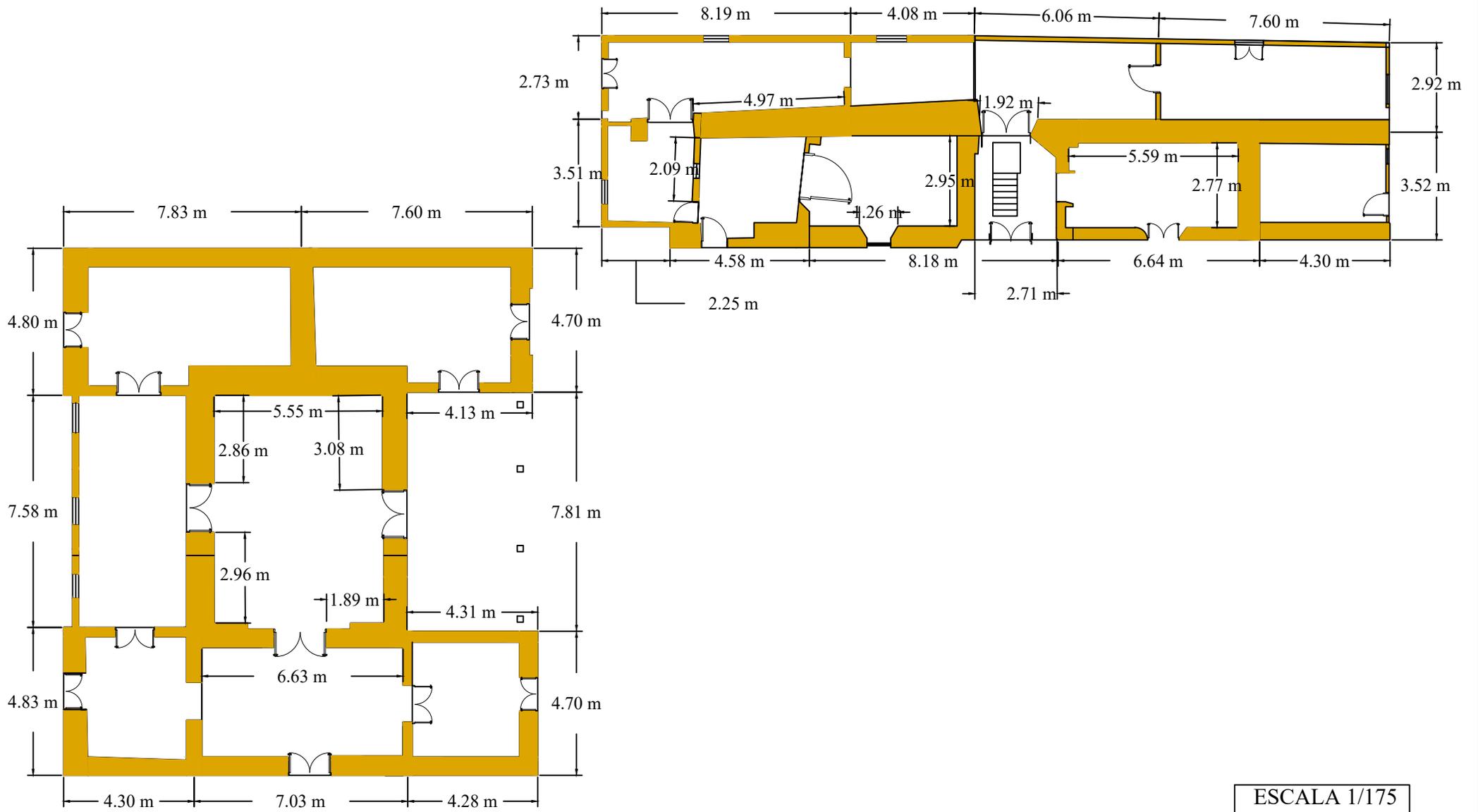
Evaluación de Vulnerabilidad Sísmica de la Edificación																		
														Datos de edificación				
														Dirección		Ecuador - Cañar - Azogues		
														Parroquia de Cojitambo, junto a la entrada de Pillcomarca				
														Nombre de la edificación		Casa-Hacienda Bloque 2		
														Tipo de uso		Vivienda/Iglesia/Institución educativa		
														Año de construcción		Entre siglo XIX y XX		
														Área construida		172.76 m ²		
														Fecha de evaluación				
														Año de remodelación		N/A		
														Nombre del evaluador		Francisco Vazquez		
No. De identificación		0107205247																
Tipología del sistema estructural																		
Pórtico de hormigón armado											C1							
Pórtico de H.A con muros estructurales											C2							
Pórtico de H.A con mampostería confinada sin refuerzo											C3							
Hormigón armado prefabricado											PC							
Pórtico de acero laminado											S1							
Pórtico de acero laminado con diagonales											S2							
Pórtico de acero doblados en frío											S3							
Pórtico de acero laminados con muros estructurales de H.A											S4							
Pórtico de acero con paredes de mampostería de bloque											S5							
Madera											W1							
Mampostería sin refuerzo											URM							
Mampostería reforzada											RM							
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón											MX							
Puntaje básico, modificadores y puntajes finales																		
Tipología del sistema estructural	W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5					
Puntaje básico	4.4	1.8	2.8	1.8	2.5	2.8	1.6	2.4	2.6	3	2	2.8	2					
Altura de la edificación																		
Baja altura (menor a 4 pisos)	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Mediana altura (4 a 7 pisos)	N/A	N/A	0.4	0.2	0.4	0.4	0.2	0.2	0.2	0.4	N/A	0.4	0.4					
Gran altura (mayor a 7 pisos)	N/A	N/A	N/A	0.3	0.6	0.8	0.3	0.4	0.6	0.8	Nn/a	0.8	0.8					
Irregularidades de la edificación																		
Irregularidad vertical	-2.5	-1	-1	-1.5	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1					
Irregularidad en planta	-0.5	-0.5	-0.5	1	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5					
Código de la construcción																		
Pre-códigos antes de 1977	-	-0.2	-1	-1.2	-1.2	-1	-0.2	-0.8	-1	-0.8	-0.8	-0.8	-0.2					
Etapa de transición 1977 - 2001	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-					
Post código moderno a partir 2001	1	N/A	2.8	1	1.4	2.4	1.4	1	1.4	1.4	1	1.6	1					
Suelo																		
Tipo de suelo C	-	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4					
Tipo de suelo D	-	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4					
Tipo de suelo E	-	-0.8	-0.4	-1.2	-1.2	-0.8	-0.8	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-0.8					
Puntaje final							0											
Grado de vulnerabilidad																		
S menor a 2	Alta vulnerabilidad						x											
S entre 2 y 2.5	Media vulnerabilidad																	
S mayor 2.5	Baja vulnerabilidad																	



PLANOS DE PLANTA ALTA



PLANOS DE PLANTA BAJA

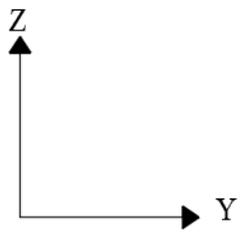


ESCALA 1/175

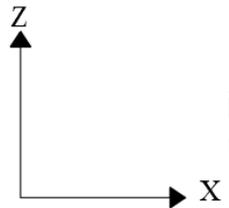
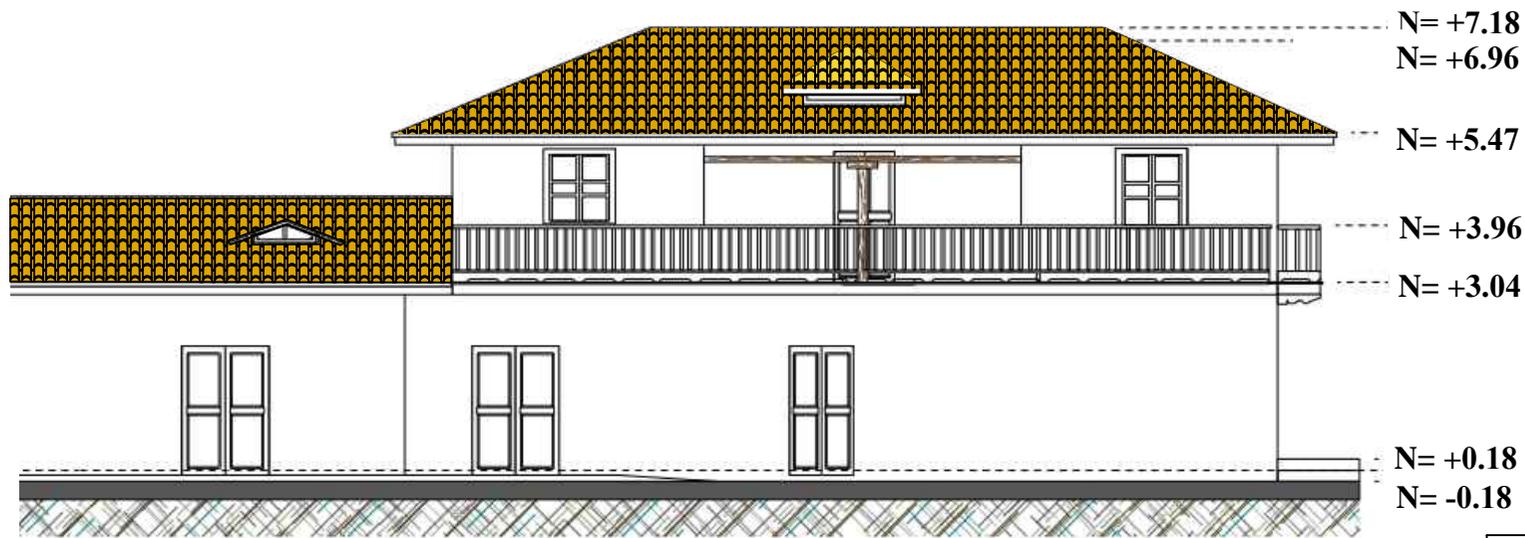
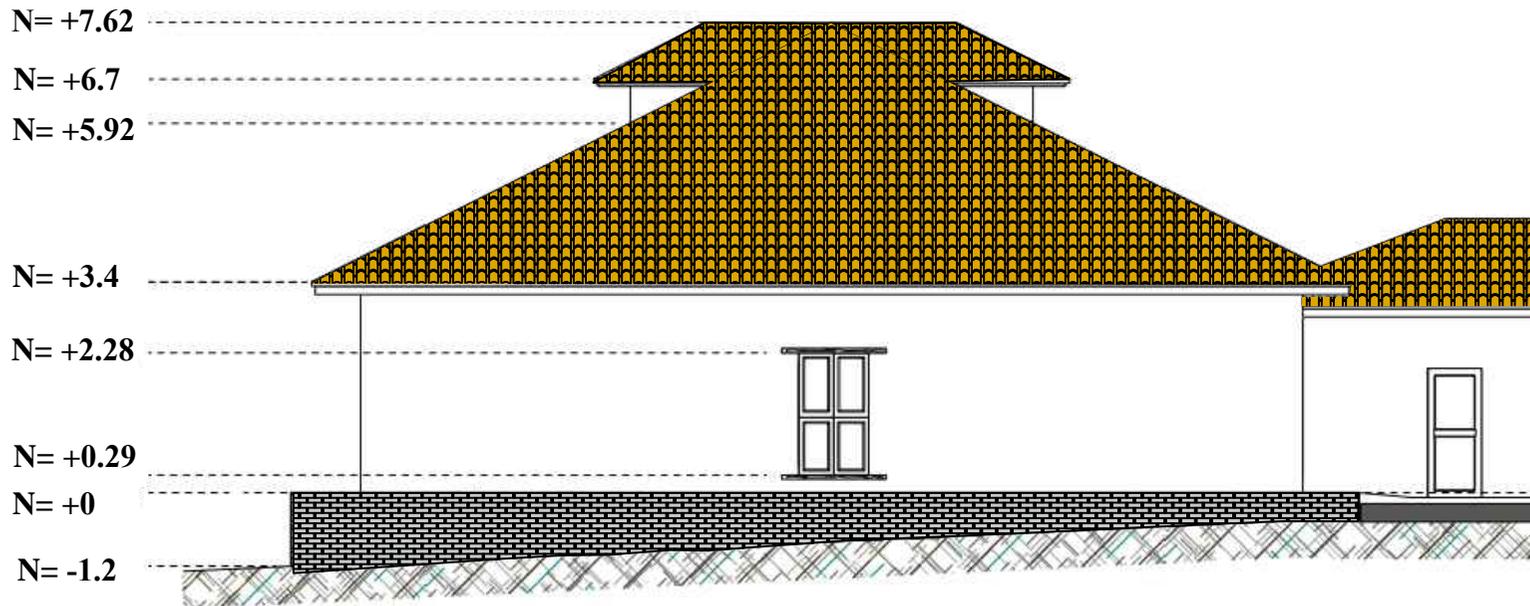
ELEVACIÓN LATERAL DERECHA



ESCALA 1/125

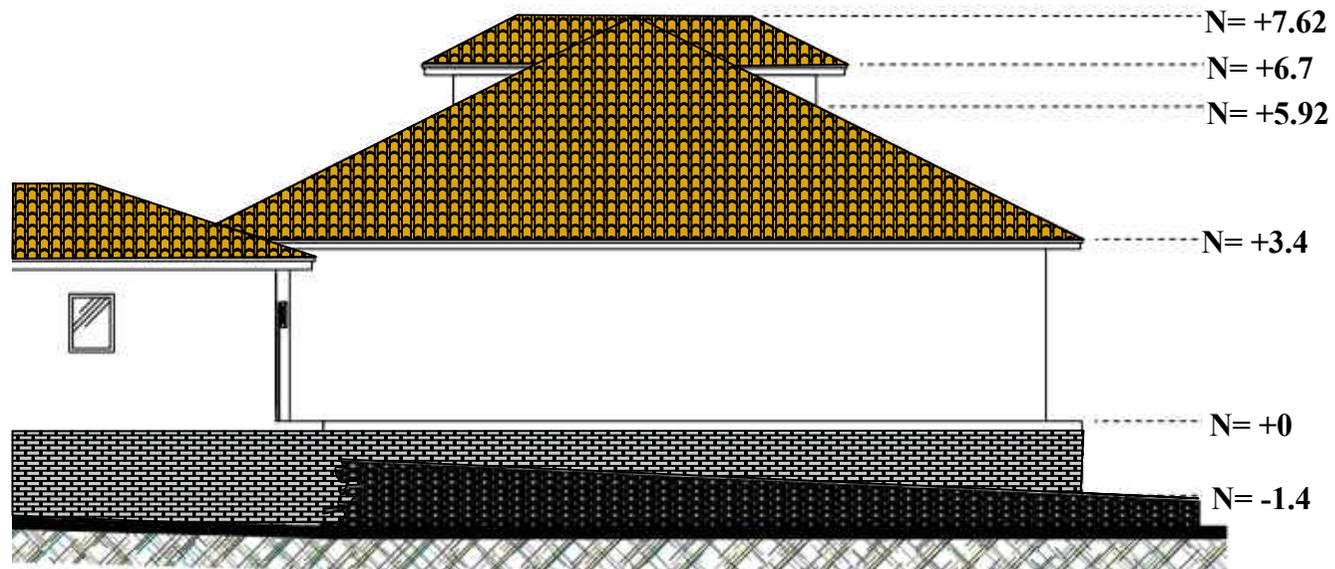
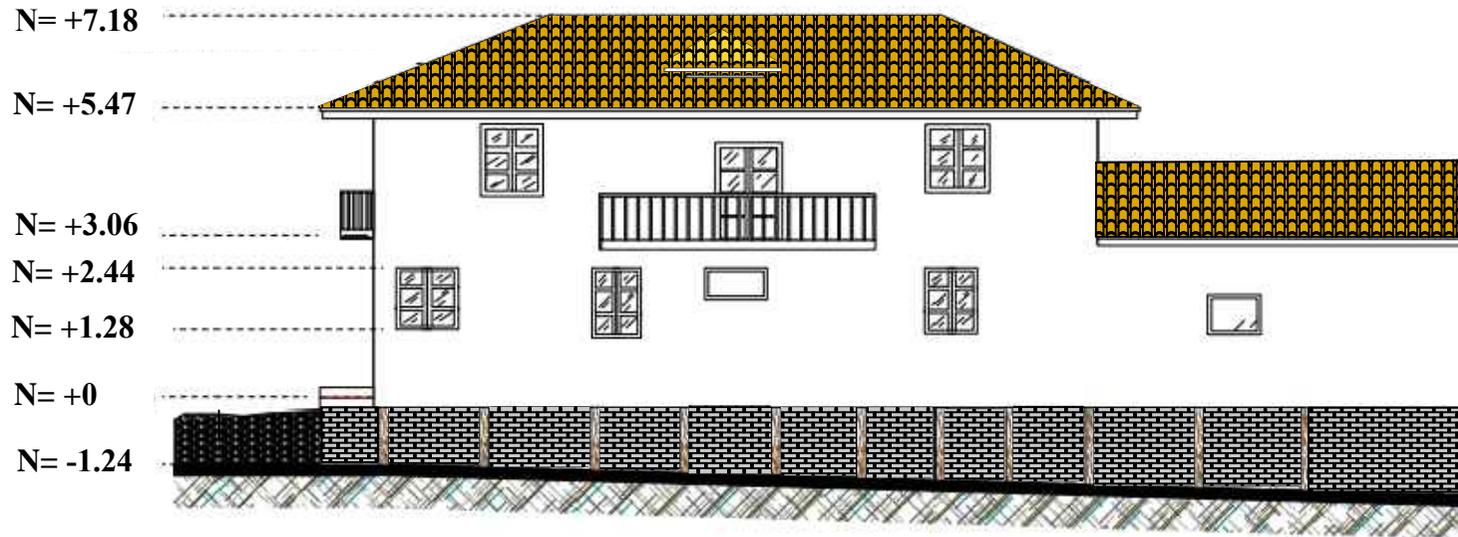


ELEVACIÓN FRONTAL



ESCALA 1/125

ELEVACIÓN POSTERIOR

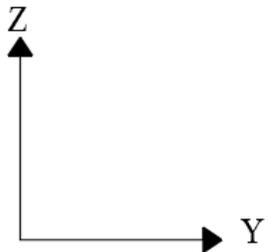


ESCALA 1/125

ELEVACIÓN LATERAL IZQUIERDA



ESCALA 1/125



UCACUE-CAVU-UT-2021-009-AP
Azogues, 29 de marzo de 2021

Ingeniero
Ricardo Romero González
DIRECTOR DE CARRERA

Ingeniero
Diego Narea Chumbi
DOCENTE TUTOR DE TRABAJO DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES
Ciudad

ASUNTO: Informe de similitud del trabajo de titulación del estudiante
Vázquez Vivanco Francisco Javier

REFERENCIA: Oficio No. OFI-DN-UCACUEA-2021-004

Reciban un cordial y atento saludo; en atención a la solicitud en referencia adjunto al presente el *RESULTADO DE SIMILITUD TURNITIN* del trabajo de titulación: *“Metodología aplicable para el análisis y determinación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones patrimoniales del cantón Azogues”*, elaborado por el estudiante **VÁZQUEZ VIVANCO FRANCISCO JAVIER**. El resultado presenta un índice de similitud del **NUEVE POR CIENTO (9%)**, siendo inferior al límite establecido en el *Reglamento de la Unidad de Titulación*, y en consecuencia **APTO** para continuar con el proceso de titulación. Adjunto el documento completo revisado por el sistema Turnitin.

VazquezVivancoE2			
INFORME DE ORIGINALIDAD			
9%	9%	1%	%
INDICE DE SIMILITUD	FUENTES DE INTERNET	PUBLICACIONES	TRABAJOS DEL ESTUDIANTE
FUENTES PRIMARIAS			
1	dspace.ucuenca.edu.ec Fuente de Internet		1%
2	www.dspace.uce.edu.ec Fuente de Internet		1%

Particular que pongo a su conocimiento para fines pertinentes.

Atentamente;
DIOS, PATRIA, CULTURA Y DESARROLLO


Ing. Cristian Arturo Vintimilla Ulloa MSc.
RESPONSABLE DE UNIDAD DE TITULACIÓN
INGENIERÍA CIVIL SEDE AZOGUES


Firmado electrónicamente por:
CRISTIAN ARTURO VINTIMILLA ULLOA

PERMISO DEL AUTOR DE TESIS PARA SUBIR AL REPOSITORIO

INSTITUCIONAL

Yo Francisco Javier Vazquez Vivanco, portador de la cédula de ciudadanía Nro. 0107205247, en calidad de autor y titular de los derechos patrimoniales del trabajo de titulación “Metodología aplicable para el análisis y determinación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones patrimoniales del cantón Azogues”, de conformidad a lo establecido en el artículo 114 del Código Orgánico de la Economía Social de los Conocimientos, Creatividad e Innovación, reconozco a favor de la Universidad Católica de Cuenca una licencia gratuita, intransferible y no exclusiva para el uso no comercial de la obra, con fines estrictamente académicos. Así mismo autorizo a la Universidad para que realice la publicación de este trabajo de titulación en el Repositorio Institucional de conformidad a lo dispuesto en el artículo 144 de la Ley Orgánica de Educación Superior.

Azogues, 29 de marzo de 2021.



Francisco Javier Vazquez Vivanco

CI: 0107205247

EL BIBLIOTECARIO DE LA SEDE AZOGUES

CERTIFICA:

Que, **VAZQUEZ VIVANCO FRANCISCO JAVIER**. Con cédula de ciudadanía **Nro.**

0107205247 de la carrera de **INGENIERIA CIVIL**.

No adeuda libros, a esta fecha.

Azogues, 25 de marzo del 2021.



Sr. Byron Alonso Torres Romo
Bibliotecario

Biblioteca Universitaria
MONS. FROILAN POZO QUEVEDO