



UNIVERSIDAD DE CUENCA



**UNIVERSIDAD DE CUENCA**  
*Fundada en 1867*

**Facultad de Ingeniería**

**ESPECIALIDAD DE ANÁLISIS Y DISEÑO DE  
ESTRUCTURAS DE ACERO Y HORMIGÓN ARMADO**

**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA,  
REHABILITACION Y EVALUACIÓN DEL INDICE  
DE DAÑO DE UNA EDIFICACION  
PERTENECIENTE AL PATRIMONIO CENTRAL  
EDIFICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA-  
ECUADOR.**

*Proyecto de graduación previo a la obtención del grado de:*

**ESPECIALISTA EN EL ANÁLISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE  
ACERO Y HORMIGÓN ARMADO.**

*Autor: Ing. Pio Antonio Arteaga Mora.  
C.C. 0102329208*

*Director: Ing. Benigno Alfredo Vázquez López, MSc.  
C.C. 0101815892*

*Diciembre de 2016  
Cuenca, Ecuador*

**PIO ANTONIO ARTEAGA MORA**



## RESUMEN

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica de las edificaciones pertenecientes a la ciudad de Cuenca - Ecuador ha sido abordada de manera global, y sus análisis han sido ubicados en mapas integrados de daño estructural, con la intención de emprender acciones capaces de mitigar el peligro sísmico al que están expuestas.

En una zona urbana ya consolidada y de alta amenaza sísmica la única forma de mitigar el peligro sísmico es construir edificaciones con elementos estructurales sismo resistentes y en las edificaciones construidas antes de la promulgación del primer código de construcción que establecía ya principios de diseño sismo resistente, año de 1977, precisan de un reforzamiento estructural debido a su inaceptable resistencia sísmica.

En este sentido gran parte de las edificaciones patrimoniales del centro histórico de la ciudad tienen que ser reforzadas pero su carácter de edificaciones patrimoniales limita este accionar, por ejemplo para una rehabilitación arquitectónica se tiene que respetar la tipología arquitectónica, las características morfológicas fundamentales, materialidad e integración con su entorno. (GADMCC., 2010)

Es así que el presente trabajo analiza de manera particular la vulnerabilidad sísmica de una edificación patrimonial ubicada en el centro histórico de la Ciudad de Cuenca - Ecuador, valora el índice de daño ante la presencia de un sismo de diseño tal cual lo establece la Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015) y propone una alternativa de reforzamiento estructural para sus muros y paredes portantes de adobe, sin que este método o sus materiales se contraponga con su valor patrimonial o su valor de origen.

### **Palabras clave:**

VULNERABILIDAD SÍSMICA

AMENAZA SÍSMICA

RIESGO SÍSMICO

INDICE DE DAÑO



## **ABSTRACT**

The evaluation of the seismic vulnerability of the buildings belonging to the city of Cuenca - Ecuador has been approached in a global way, and their analyzes have been placed in integrated maps of structural damage, with the intention of taking actions capable of mitigating the seismic danger to the which are exposed.

In an already consolidated urban area with a high seismic hazard, the only way to mitigate the seismic hazard is to construct buildings with earthquake resistant structural elements and in the buildings built before the promulgation of the first building code that established already resistant earthquake design, year of 1977, need a structural reinforcement due to their unacceptable seismic resistance.

In this sense, a large part of the patrimonial buildings of the historical center of the city have to be reinforced, but their character of heritage buildings limits this action, for example for an architectural rehabilitation one has to respect the architectural typology, the fundamental morphological characteristics, materiality and Integration with their environment. (GADMCC., 2010) Thus, the present work analyzes in particular the seismic vulnerability of a patrimonial building located in the historical center of the City of Cuenca - Ecuador, values the damage index in the presence of a quake of design as established by the "Norma Ecuatoriana de la Construcción" NEC (2015) and proposes an alternative structural reinforcement for its adobe walls and walls, without this method or its materials being counterposed with its equity value or its value of origin.

## **Keywords:**

SEISMIC VULNERABILITY

SEISMIC THREAT

SEISMIC RISK

INDEX OF DAMAGE



# 1 INDICE

RESUMEN .....	II
Palabras clave:.....	II
ABSTRACT .....	III
1 INDICE.....	IV
AGRADECIMIENTO.....	X
DEDICATORIA.....	XI
SIGLAS Y ABREVIATURAS .....	XII
2 INTRODUCCION Y OBJETIVOS .....	1
2.1 INTRODUCCIÓN .....	1
2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN.....	4
2.2.1 OBJETIVO GENERAL.....	4
2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	4
2.2.3 HIPÓTESIS.....	4
2.2.4 ALCANCE DEL PROYECTO.....	4
3 MARCO TEÓRICO .....	6
3.1 CONCEPTOS .....	6
3.1.1 SISMO .....	6
3.1.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA .....	6
3.1.3 AMENAZA SÍSMICA.....	7
3.1.4 RIESGO SÍSMICO.....	7
3.2 REDUCCIÓN O MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO.....	7
3.3 ÍNDICE DE DAÑO.....	9
3.4 DUCTILIDAD.....	9
3.5 REHABILITACIÓN ARQUITECTÓNICA .....	9
3.6 AMENAZA SÍSMICA .....	10



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

3.6.1	AMENAZA SÍSMICA - NACIONAL .....	10
3.6.2	AMENAZA SÍSMICA - LOCAL.....	12
3.6.3	Reseña histórica de movimientos telúricos en Cuenca. ....	13
3.7	MEDICIÓN DE LOS SISMOS .....	14
3.7.1	ESCALA SÍSMICA MÉTODO SUBJETIVO: INTENSIDAD ( Musson, Schwarz, & Stucchi, 2008).....	14
3.7.2	ESCALA SÍSMICA MÉTODO ANALÍTICO: MAGNITUD .....	16
3.7.3	RELACIÓN ENTRE INTENSIDAD, PGA Y PGV .....	17
3.8	MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA.....	17
3.8.1	MÉTODOS ANALÍTICOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SISMICA POR (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994): .....	18
3.8.2	MÉTODOS SUBJETIVOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA POR (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994) .....	21
3.9	FLUJOGRAMA MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA .....	26
3.10	METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA .....	27
3.10.1	Metodología Subjetiva para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica .	27
3.10.2	Metodología Analítica para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica – Índice de Daño.....	31
4	DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA E INDICE DE DAÑO. ....	37
4.1	DETERMINANTES.....	37
4.1.1	Determinación metodológica Vulnerabilidad Sísmica:.....	38
4.1.2	Determinación metodológica Índice de Daño: .....	38
5	APLICACIÓN: EDIFICACION PERTENECIENTE AL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR .....	40
5.1	CUENCA CIUDAD PATRIMONIO CULTURAL DE LA HUMANIDAD. 40	
5.1.1	DECLARATORIA.....	40



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

5.1.2	ARQUITECTURA.....	40
5.1.3	ÉPOCA, FUNCIÓN, TECNOLOGÍA Y EXPRESIÓN DE LA ARQUITECTURA CUENCANA .....	41
5.1.4	INVENTARIO DEL PATRIMONIAL CULTURAL EDIFICADO .....	44
6	EDIFICACIÓN PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA, REHABILITACION Y EVALUACIÓN DEL INDICE DE DAÑO.....	45
6.1	UBICACIÓN .....	45
6.1.1	Ubicación Geográfica: .....	45
6.2	Datos municipales:.....	45
6.3	Propietario:.....	45
6.4	Año de construcción:.....	45
6.5	Categorización de la edificación según la ordenanza Municipal Local:46	
	Edificaciones de Valor Arquitectónico B (VAR B) (2): .....	46
6.6	Dirección: .....	47
6.7	Descripción de la edificación:.....	48
6.8	Ocupación: .....	48
6.9	Materiales principales utilizados en la construcción de la Edificación: 48	
6.9.1	Fachada:.....	48
6.9.2	Área interna:.....	48
6.9.3	Cubierta: .....	49
7	ARQUITECTURA A DETALLE EDIFICACION PATRIMONIAL: ESTILO ECLECTICO.....	50
7.1	DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA: PLANTA BAJA Y PRIMERA PLANTA ALTA.....	51
7.2	DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA: SEGUNDA PLANTA ALTA Y BUHARDILLA .....	52
8	ANÁLISIS Y RESULTADOS .....	53



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

8.1	EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA METODOLOGÍA SUBJETIVA MÉTODO FEMA 154. ....	53
8.2	EVALUACION Y ANALISIS DEL INDICE DE DAÑO: .....	55
	Metodología Propuesta por Hurtado y Cardona (Cardona & Hurtado, 1990)	55
9	REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN. ....	64
9.1	GENERALIDADES.....	64
9.2	ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN SISMICA.....	64
9.2.1	Alternativas de reforzamiento de muros .....	64
9.2.2	<i>Refuerzo con mallas:</i> .....	64
9.2.3	Refuerzo con maderas de confinamiento: .....	65
10	EVALUACION Y ANALISIS DEL INDICE DE DAÑO ESTRUCTURA REHABILITADA: .....	67
	Metodología Propuesta por Hurtado y Cardona (Cardona & Hurtado, 1990)	67
11	ANALISIS DE RESULTADOS .....	71
11.1	VULNERABILIDAD SÍSMICA VALORADA CON LA METODOLOGÍA SUBJETIVA MÉTODO FEMA 154. ....	71
11.2	INDICE DE DAÑO: .....	71
12	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	73
13	Bibliografía.....	74
13.1	ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS.....	78
13.2	ÍNDICE DE TABLAS .....	79
14	ANEXOS .....	80



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Yo, Pio Antonio Arteaga Mora, autor de la monografía “**ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, REHABILITACION Y EVALUACIÓN DEL INDICE DE DAÑO DE UNA EDIFICACION PERTENECIENTE AL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR**”, reconozco y acepto el derecho de la Universidad de Cuenca, en base al Art. 5 literal c) de su Reglamento de Propiedad Intelectual, de publicar este trabajo por cualquier medio conocido o por conocer, al ser este requisito para la obtención de mi título de ESPECIALISTA EN ANALISIS Y DISEÑO DE ESTRUCTURAS DE ACERO Y HORMIGON ARMADO. El uso que la Universidad de Cuenca hiciere de este trabajo, no implicará afección alguna de mis derechos morales o patrimoniales como autor.

Diciembre de 2016  
Cuenca, Ecuador

**Pio Antonio Arteaga Mora**  
**C.I: 0102329208**





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Pio Antonio Arteaga Mora, autor de la monografía "ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, REHABILITACION Y EVALUACIÓN DEL INDICE DE DAÑO DE UNA EDIFICACION PERTENECIENTE AL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR", certifico que todas las ideas, opiniones y contenidos expuestos en la presente investigación son de exclusiva responsabilidad de su autor.

Diciembre de 2016  
Cuenca, Ecuador

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized 'P' followed by 'A', 'M', and 'A'.

---

***Pio Antonio Arteaga Mora***  
***C.I: 0102329208***



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## **AGRADECIMIENTO.**

*A mis profesores de la especialidad por su abnegada vocación de enseñar e impartir su conocimiento técnico y ético.*

*Al director de mi proyecto, Ing. Benigno Alfredo Vázquez por su infinita ayuda, esfuerzo y motivación, mis más sinceros sentimientos de gratitud a un verdadero maestro dentro y fuera de las aulas universitarias.*



UNIVERSIDAD DE CUENCA

## **DEDICATORIA.**

*A mi Mar*



## SIGLAS Y ABREVIATURAS

E	Elementos en riesgo
FEMA	The Federal Emergency Management Agency (La Agencia Federal para el Manejo de Emergencias)
FEMA 154	Comprende una metodología recomendada para el rastreo visual rápido de edificios con posibles peligros sísmicos.
GADMCC	Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal Del Cantón Cuenca.
Gal	Unidad de aceleración en el sistema cegesimal. 1 Gal = 1 cm/s <sup>2</sup>
GDP	Global damage parameter (Parámetro de daño global)
H	Amenaza, peligro o peligrosidad
IG EPN	Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional.
Iv	Índice de Vulnerabilidad
MM	Escala de Mercalli Modificada
NEC	Norma Ecuatoriana de la Construcción.
PGA	Valor de la aceleración sísmica máxima en el terreno (Peak Ground Acceleration)
PGV	Valor de la Velocidad pico de tierra.
R	Riesgo Sísmico
RSA	Red Sísmica del Austro.
UNDRO	United Nations Disaster Relief Co-ordinator. (Coordinador de las Naciones Unidas para el Socorro en Casos de Desastre.)
UNESCO	United Nations Educational Scientific and Cultural Organization (Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura).
V	Vulnerabilidad
Z (factor)	El valor de Z de cada zona sísmica representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad



# **ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, REHABILITACION Y EVALUACIÓN DEL INDICE DE DAÑO DE UNA EDIFICACION PERTENECIENTE AL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR.**

## **2 INTRODUCCION Y OBJETIVOS**

### **2.1 INTRODUCCIÓN**

Previo al desarrollo del presente trabajo es preciso establecer el ámbito sobre el cual estará enmarcado el ESTUDIO DE VULNERABILIDAD SÍSMICA, REHABILITACION Y EVALUACIÓN DEL INDICE DE DAÑO DE UNA EDIFICACION PERTENECIENTE AL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR.

En la procura de la conservación y preservación del Patrimonio Cultural Edificado, el Estado Ecuatoriano, establece en su “Código Orgánico Integral Penal”, COIP, sanciones con pena privativa de libertad de uno a tres años en casos de destrucción del patrimonio cultural, sin importar el derecho real que tenga sobre ellos.

De manera similar, El Gobierno Autónomo Descentralizado Municipal del Cantón Cuenca en función de la “ORDENANZA PARA LA GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS ÁREAS HISTÓRICAS Y PATRIMONIALES DEL CANTÓN CUENCA”, norma y rige las intervenciones sobre las edificaciones con Categorización Arquitectónica Patrimonial; es así que para una Rehabilitación Arquitectónica, su intervención tendrá como objetivo central el devolver a la edificación su condición de habitabilidad, respetando de manera irrestricta su característica arquitectónica y morfológica, además de conservar y utilizar los materiales originales de su construcción.

La Norma Ecuatoriana de la Construcción (NEC, 2015) en su Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras (pág. 143), indica que:



*El primer código de construcción ecuatoriano que describe un proceso de estimación de fuerzas laterales y requisitos de diseño sísmico, se estableció en 1977, después de la publicación del Código Americano UBC 1974.*

*La versión del código del año 2001 incluye una serie de requisitos de diseño y modelado, similares al código americano UBC 1997. Por lo tanto, 2001 podría ser considerado como año de referencia del diseño sísmico en Ecuador.*

*Por lo tanto, es razonable considerar que los edificios construidos antes de 1977 tendrán una resistencia sísmica inaceptable. Por el contrario, todos los edificios construidos después de 2001, se podrían considerar que tienen un diseño sismo-resistente adecuado.*

El Diseño Sismo Resistente obedece a que el Ecuador, y en consecuencia la ciudad de Cuenca, se encuentra localizado en una de las regiones a nivel mundial de mayor actividad sísmica, denominada así como el “*Cinturón de Fuego del Pacífico*”, la ocurrencia de sismos, terremotos o grandes terremotos es normal por estar directamente asociado al fenómeno de subducción de la Placa Tectónica de Nazca dentro de la Placa Tectónica Sudamericana.

Evidencia cierta y reciente de la presencia de este fenómeno, es el sismo de 7.8 *grados en la escala de Richter con epicentro entre las parroquias de Pedernales y Cojimies del cantón Pedernales, en la provincia de Manabí, (IG EPN, 2016)* que deja el saldo crítico de 671 personas fallecidas y un estimado de USD 3,344 millones para reconstruir las zonas afectadas.

Es bajo estas normativas y Amenaza Sísmica que se ubica y desarrolla El Centro Histórico Patrimonial de la Ciudad de Cuenca – Ecuador, que comprende un área de 482 Ha y está constituido por 9,932 edificaciones que datan de la *Época Colonial (1557-1820), de la Época Republicana (1820 – 1950) y de la Época Moderna (1950 – a la actualidad), de las cuales el 40.89% están destinadas a vivienda y el 34.13% a vivienda y actividad económica. (GADMCC, 2009).*



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

La población estimada que viven esta área es de 50,000 personas, esto es una densidad demográfica promedio para el Centro Histórico de la Ciudad de *103 hab/Ha* (GADMCC, 2015).

Esta población que vive e interactúa en esta zona histórica, sin contar con la que está de tránsito por la ciudad colonial por sus actividades de turismo, laborales y/o comerciales, ante la presencia de un sismo de *magnitud 7.1* (Jiménez, 2016) en la escala de Richter, está expuesta y podría perecer, como consecuencia del *colapso total o parcial de estas edificaciones patrimoniales*.

Estudios realizados por la Red Sísmica Del Austro de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Cuenca, demuestran en sus análisis que han sido ubicados en mapas integrados de daño estructurales, que el grado de daño estructural a una PGA de 0.25g en estructuras de mampostería no reforzada – hormigón armado, es el colapso, es decir la falla total de la edificación.

Con estas premisas toda Rehabilitación Arquitectónica de una Edificación Patrimonial adquiere suma importancia, pues no se trata de devolver y/o mantener el estado de arte original de la edificación, peor aún, insertar elementos estructurales que alteren el valor intrínseco del bien Patrimonial. Se trata sí de procurar Rehabilitaciones Arquitectónicas Estructurales en Edificaciones Patrimoniales que garanticen la integridad de la vida y el patrimonio edificado, ante la presencia de un movimiento sísmico.

Es en éstas Edificaciones Patrimoniales que centra su análisis el presente estudio, y propone llevar a cabo un diagnóstico profundo de una edificación patrimonial en el que se dé a conocer el estado actual y su respuesta ante un evento sísmico, establecer un tipo de rehabilitación estructural que sea compatible con el valor histórico y patrimonial de la edificación y su comportamiento estructural sismo resistente luego de la rehabilitación.

Para este efecto y en ausencia de una normativa nacional se seguirán los procedimientos propuestos por la GUIA 5 de la Guía práctica para evaluación sísmica y rehabilitación de estructuras; la norma chilena NCh 3332 y el Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada elaborado por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica AIS.



## **2.2 OBJETIVO DEL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN**

### **2.2.1 OBJETIVO GENERAL.**

Analizar y evaluar las deficiencias constructivas que contribuyen a la vulnerabilidad sísmica en una edificación de adobe, ladrillo cocido, cal, piedra y madera, perteneciente al patrimonio central edificado en la ciudad de Cuenca-Ecuador, para plantear alternativas de reconstrucción y refuerzo sismo resistente, sin que estas se contraponga con la norma dictada por el Ilustre Concejo Municipal de Cuenca en su “ORDENANZA PARA LA GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS ÁREAS HISTÓRICAS Y PATRIMONIALES DEL CANTÓN CUENCA.”

### **2.2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- Identificar en la edificación los materiales y la geometría de sus componentes estructurales y arquitectónicos.
- Evaluación de la calidad estructural de la edificación
- Establecer medidas racionales de reconstrucción para mejorar el desempeño estructural ante sismos manteniendo su sistema constructivo y los materiales originales, así como también potenciar el valor arquitectónico y estético de la edificación.

### **2.2.3 HIPÓTESIS.**

En los proceso de Rehabilitación Arquitectónica de Edificaciones Patrimoniales al introducir sistemas y/o elementos estructurales que sean compatibles con el valor histórico y patrimonial una edificación se mejora la respuesta sismo resistente del edificio ante un evento sísmico.

### **2.2.4 ALCANCE DEL PROYECTO**

Este proyecto visiona el estudio de la vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y evaluación del índice de daño de una edificación que por sus atributos de orden histórico, estético y de organización espacial forma parte del inventario edificado del Centro Histórico Patrimonial de la Ciudad de Cuenca.





## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Dado que la mayoría de las edificaciones pertenecientes al inventario patrimonial de la Ciudad de Cuenca datan de los años 1860 a 1940, (Albarracín, 2015, pág. 20) la vulnerabilidad sísmica será evaluada de manera cualitativa y se considerara la influencia de la configuración arquitectónica y estructural sobre el comportamiento sísmico de la edificación, método propuesto por FEMA 154, 2002.

En la evaluación del índice de daño se acogerá el procedimiento basado en la relación de demanda versus capacidad, en este método la variable de la demanda será determinada por la acción sísmica y la variable de la capacidad estará determinada por la capacidad de soporte de la estructura, método propuesto por Hurtado y Cardona. (Cardona & Hurtado, 1990)

El sismo utilizado para la modelación hipotética en la evaluación del índice de daño, es el sismo de diseño establecido por la (NEC, 2015), siendo este el sismo que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años cuyo nivel de peligro en función de su periodo de retorno es considerado como severo (periodo de retorno 475 años), además en función de los valores presentados en los "Shake Maps" (Worden C. B., Gerstenberger, Rhoades, & Wald, 2012) estableceremos la Aceleración sísmica máxima (PAG), para modelar el índice de daño con intensidades de grado: moderado (IV), poco fuerte (V) y destructivo (VIII).

En lo correspondiente a la rehabilitación estructural se propone el reforzamiento de los muros y paredes portantes de adobe con elementos de madera procurando en su disposición un confinamiento del adobe con el propósito de mejorar su respuesta mecánica ante la sollicitación sísmica, este sistema de reforzamiento se enmarca dentro de la Ordenanza Municipal del cabildo local.



### **3 MARCO TEÓRICO**

#### **3.1 CONCEPTOS**

##### **3.1.1 SISMO**

*Los sismos se originan debido a la liberación de energía acumulada que se produce cuando los materiales del interior de la Tierra se desplazan en todas direcciones. La energía liberada se desplaza a través de la tierra en forma de ondas, a partir de la inestabilidad que es producida mediante el movimiento relativo entre placas tectónicas como consecuencia de actividades volcánicas, movimientos de ladera, hundimiento de cavernas, variaciones bruscas en la presión atmosférica por ciclones e incluso la actividad humana. (Russell, 2010)*

##### **3.1.2 VULNERABILIDAD SÍSMICA**

*Al grado de daño que sufre una estructura, ocasionado por un sismo de determinadas características, se le denomina vulnerabilidad sísmica.*

*La vulnerabilidad sísmica frente a un sismo de determinadas características es una propiedad intrínseca de cada estructura y, por tanto, independiente de la peligrosidad del emplazamiento. Esto quiere decir que una estructura puede ser vulnerable pero no estar en riesgo si no se encuentra en un sitio con una cierta peligrosidad sísmica. (Barbat, Oller, & Vielma, 2005, pág. 4)*

###### **3.1.2.1 Vulnerabilidad sísmica por origen:**

Este tipo de vulnerabilidad se encuentra intrínseca en edificaciones que desde su planificación no conciben un criterio de diseño y construcción sismo resistente, este factor puede ser modificado mediante rehabilitaciones estructurales sismo resistente.

###### **3.1.2.2 Vulnerabilidad sísmica progresiva:**

Es la vulnerabilidad que se evidencia y acrecienta con el devenir de los tiempos en un tipo o clase de edificación, asociada a la pérdida de las propiedades físico – mecánicas de sus materiales con el cual fue construido, los fenómenos climáticos y/o los fenómeno naturales son los detonantes de esta vulnerabilidad, un factor que modifica esta vulnerabilidad es el mantenimiento ya sea este preventivo o rutinario.



### 3.1.3 AMENAZA SÍSMICA

La amenaza sísmica o peligrosidad sísmica definida desde un punto de vista probabilístico, se entendería como la probabilidad de ocurrencia de un fenómeno sísmico con intensidades o magnitudes esperadas, en un área o región determinada y durante un periodo de tiempo específico. (Barbat, Oller, & Vielma, 2005, pág. 6)

### 3.1.4 RIESGO SÍSMICO

*La UNDRP y la UNESCO promovieron una definición que se sintetiza a continuación a partir de los siguientes conceptos: (Sandi, (1983) en (Barbat, Oller, & Vielma, 2005, pág. 6))*

- **Amenaza, peligro o peligrosidad, H:** *Probabilidad de ocurrencia de un evento sísmico potencialmente desastroso durante cierto período de tiempo en un sitio determinado.*
- **Vulnerabilidad, V:** *Es el grado o porcentaje de pérdida de un elemento o grupo de elementos bajo riesgo como resultado de la probable ocurrencia de un evento sísmico destructivo.*
- **Elementos en riesgo, E:** *Son la población, los edificios y obras civiles, las actividades económicas, los servicios públicos, las utilidades y la infraestructura expuesta a una amenaza en un área determinada.*
- **Riesgo Sísmico, R:** *Se define como el número de pérdidas humanas, heridos, daños a las propiedades y efectos sobre la actividad económica debido a la ocurrencia de un desastre, es decir el producto del riesgo específico, y los elementos en riesgo, E.*

*Con estas definiciones, la evaluación del riesgo total puede llevarse a cabo mediante la siguiente fórmula general:*

$$R=H*V*E$$

## 3.2 REDUCCIÓN O MITIGACIÓN DEL RIESGO SÍSMICO

*Para mitigar el Riesgo Sísmico R en un lugar determinado, debe disminuirse la peligrosidad H, la vulnerabilidad V o el factor E.*



Seguidamente se analizan estas tres posibilidades (Winslow & Ross, 1993):

- *La peligrosidad sísmica puede reducirse influyendo en las condiciones locales del suelo. Por ejemplo, pueden escogerse emplazamientos lo suficientemente alejados de las fallas, evitando los lugares de posibles deslizamientos o de alto potencial de licuefacción y utilizando técnicas de mejora de las condiciones del suelo.*
- *En la reducción de la vulnerabilidad sísmica de una cierta zona, deben considerarse dos casos.*

*El primero es el de una estructura de nuevo diseño; la reducción de su vulnerabilidad puede lograrse por medio del cumplimiento de todos los requisitos de las normativas de diseño y construcción sismo-resistente. Por ello, es también muy importante que se mejoren dichas normativas conforme avancen los conocimientos acerca del comportamiento sísmico de las estructuras. Adicionalmente, es esencial mejorar la tecnología y calidad de la construcción.*

*El segundo caso es el de las estructuras ya existentes. La única alternativa para mitigar el riesgo sísmico de la zona es la reducción de la vulnerabilidad de estas estructuras a través de su refuerzo, su rehabilitación o, sencillamente, su demolición.*

- *Sobre el factor E no puede actuarse de manera eficaz. Sin embargo, cuando se están estudiando las pérdidas humanas, se deben emprender campañas de preparación y educación de la población, explicando las formas de protegerse durante terremotos. Las pérdidas pueden también reducirse si se elaboran planes de emergencia adecuados. (Barbat, Oller, & Vielma, 2005, pág. 17)*



### 3.3 ÍNDICE DE DAÑO

El índice de daño valora el nivel de degradación del sistema estructural y el comportamiento dinámico no lineal de una edificación ante la acción de fuerzas verticales y/o fuerzas laterales ocasionadas por fenómenos sísmicos. Se formula considerando la tipología estructural de la edificación y las propiedades de sus materiales.

La evolución del daño se establece o define mediante los estados de daño, iniciando en un estado de falla nula o despreciable hasta el estado de falla de colapso o destrucción total.

### 3.4 DUCTILIDAD.

*La ductilidad representa una medida de la capacidad de un edificio para tolerar cargas laterales en el rango post-elástico, disipando la energía del terremoto y creando daños de forma controlada, dispersa o concentrada localmente según el tipo de construcción y de sistema estructural. (Musson, Schwarz, & Stucchi, 2008, pág. 42)*

*Algunos materiales como el acero, hierro forjado y la madera son intrínsecamente dúctiles. Otros materiales como el hierro fundido, la mampostería simple, el adobe o concreto simple no son dúctiles (frágiles), con frecuencia se rompen repentinamente. Los materiales frágiles pueden hacerse dúctiles, usualmente mediante la adición de pequeñas cantidades de materiales dúctiles. Tal es el caso de elementos de madera adicionados a construcciones de adobe o refuerzos de acero en construcciones de mampostería y concreto. (BAZÁN & MELI, 1985)*

### 3.5 REHABILITACIÓN ARQUITECTÓNICA

*Intervención en un bien o conjunto patrimonial en el que no sea factible o conveniente la intervención total o parcial de carácter excepcional, cuya finalidad es recuperar los valores arquitectónicos del bien, devolviéndole sus características originales. Su cualidad esencial es la de recuperar o permitir condiciones de habitabilidad respetando la tipología arquitectónica, las características morfológicas fundamentales, materialidad e integración con su entorno. (GADMCC., 2010)*



### 3.6 AMENAZA SÍSMICA

#### 3.6.1 AMENAZA SÍSMICA - NACIONAL

El Ecuador, y en consecuencia la ciudad de Cuenca, se encuentra localizado en una de las regiones a nivel mundial de mayor actividad sísmica, denominada así como el “*Cinturón de Fuego del Pacífico*”, la ocurrencia de sismos, terremotos o grandes terremotos es normal por estar directamente asociado al fenómeno de subducción de la Placa Tectónica de Nazca dentro de la Placa Tectónica Sudamericana.

Evidencia cierta y reciente de la presencia de este fenómeno, es el sismo de 7.8 grados en la escala de Richter con epicentro entre las parroquias de Pedernales y Cojimíes del cantón Pedernales, en la provincia de Manabí, (IG EPN, 2016) que deja el saldo crítico de 671 personas fallecidas y un estimado de USD 3,344 millones para reconstruir las zonas afectadas, hasta la última semana de diciembre del 2016 son más de 3,100 réplicas del terremoto, según el Instituto Geofísico de la EPN *se observa una tendencia a mantener un número pequeño de réplicas con la presencia de incrementos en el número diario, los cuales siguen a la ocurrencia de réplicas de mayor magnitud como fue el caso de las réplicas del 18 de Mayo y del 6 y 7 de Julio.* (INSTITUTO GEOFÍSICO EPN, 2016)

La Norma Ecuatoriana de La Construcción en el capítulo de “PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE” (NEC, 2015, págs. 13,27) *ubica para el territorio nacional zonas sísmicas en función del estudio de peligro sísmico para un evento sísmico que tiene una probabilidad del 10% de ser excedido en 50 años, (período de retorno de 475 años).*

*El valor del factor Z de cada zona sísmica representa la aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad.*

Zona sísmica	I	II	III	IV	V	VI
Valor factor Z	0,15	0,25	0,3	0,35	0,4	≥ 0.50
Caracterización del peligro sísmico	Intermedia	Alta	Alta	Alta	Alta	Muy alta

*Tabla 1 PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE (NEC, 2015, pág. 27) Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada*

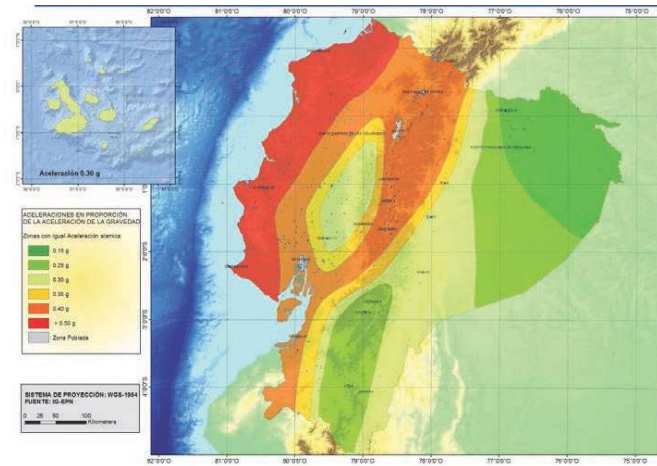


fig. 1 PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE (NEC, 2015, pág. 27) Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z

La plataforma electrónica del Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional, advierte lo establecido por la NEC (2015), la magnitud de los eventos aquí graficados corresponden al periodo de enero a diciembre de 2016; el sismo del 16 de abril del 2016 es el de mayor magnitud.

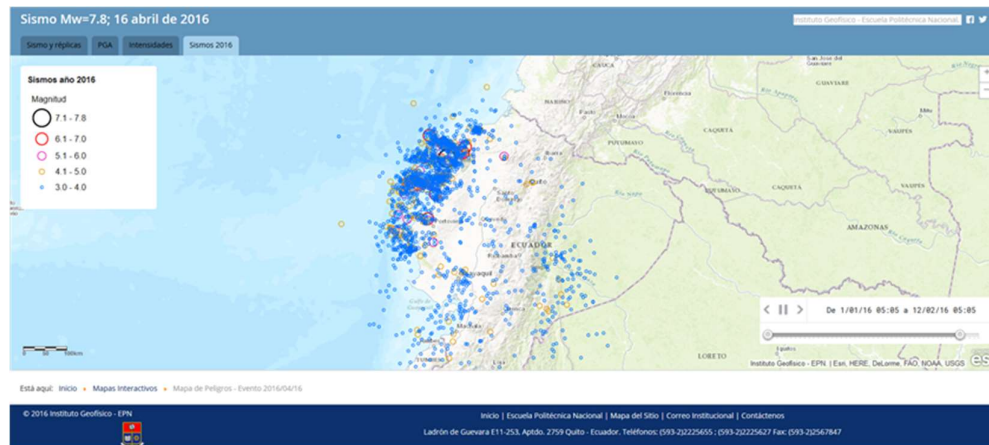


fig. 2 (IG EPN, 2016) Último acceso el 31/12/2016; sismo del 16 de abril del 2016 y sus réplicas.

A su vez la plataforma digital de Earthquake track genera una información gráfica con el reporte de los últimos 10 sismos en magnitud partiendo desde el mayor a menor y que se han desarrollado en el lugar solicitado o cerca a este.



fig. 3 (EarthquakeTrack, 2016) Ultimo acceso el 31/12/2016; Top Ten de sismos Ecuador

### 3.6.2 AMENAZA SÍSMICA - LOCAL

La “Falla de Girón”, es para la ciudad de Cuenca, la principal amenaza y fuente sísmica genética, y es a ésta falla a la que por su actividad se le asocia con el Terremoto de consideración en el sur del país (IG EPN, 2010), del 23 de febrero de 1913, evidenciándose el colapso de algunas edificaciones en la provincia de Loja, El Oro y Azuay.

Esta falla se inicia a 30 kilómetros al sur del cantón Girón y se extiende por aproximadamente 200 kilómetros. Atraviesa en su totalidad a la capital azuaya, pasa por la provincia del Cañar y finaliza al sur de la provincia de Chimborazo. (Bustos, 2010)





**3.6.3 Reseña histórica de movimientos telúricos en Cuenca.**

Fecha	Título	Descripción	Fuente
12/2/1856	"Pequeño terremoto que causó daños en la provincia de Azuay"	"En Cuenca cayó la torre de la iglesia de San Blas, con lo que murieron varias personas."	Investigación realizada por José Egred A. Un día como hoy - Instituto Geofísico - EPN pag 7 - 121; <a href="http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...">http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...</a>
3/6/1887	"Terremoto con epicentro en la provincia del Azuay"	"El terremoto más importante con epicentro en la provincia del Azuay. Daños severos en varias iglesias y casas de Cuenca y algunos pueblos de Azuay, Cañar y el sur de Chimborazo."	Investigación realizada por José Egred A. Un día como hoy - Instituto Geofísico - EPN pag 7 - 121; <a href="http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...">http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...</a>
5/9/1893	"Terremoto que afectó poblaciones del Azuay"	"Estragos de alguna consideración en Gima y Girón. Daños moderados en Guaranda. Área macrosísmica muy limitada. Un muerto."	Investigación realizada por José Egred A. Un día como hoy - Instituto Geofísico - EPN pag 7 - 121; <a href="http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...">http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...</a>
7/1/1901	"Sismo que provoca daños de moderados a graves en poblaciones de Azuay, Guayas y Los Ríos"	"En Gima, se desplomaron parcialmente de algunas casas y la iglesia. Daños leves en casas viejas de Guayaquil. En Cuenca estragos de regular magnitud. Un muerto."	Investigación realizada por José Egred A. Un día como hoy - Instituto Geofísico - EPN pag 7 - 121; <a href="http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...">http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...</a>
23/2/1913	"Terremoto de consideración en el sur del país"	"Terremoto de consideración en el sur del país. Los mayores estragos se produjeron entre Molleturo y Jesús María. Destrucción total de algunas viviendas en poblaciones de Loja, El Oro y Azuay. Daños graves en muchas casas de la misma zona y en poblaciones del Guayas. Grietas en Molleturo y en Jesús María."	Investigación realizada por José Egred A. Un día como hoy - Instituto Geofísico - EPN pag 7 - 121; <a href="http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...">http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...</a>
27/7/1971	"Terremoto con epicentro en el suroriente del Ecuador"	"Sismo de características muy especiales, ya que fue sentido en una extensa área de Sudamérica, que abarcó desde Caracas por el norte, donde fue sentido por unas pocas personas mientras reposaban, hasta Lima por el sur, donde lo sintieron pocas personas. Sin embargo, los efectos en la zona epicentral no fueron de consideración. Los mayores daños se registraron en la provincia del Azuay. En la parroquia Culca de Cuenca se destruyó la iglesia."	Investigación realizada por José Egred A. Un día como hoy - Instituto Geofísico - EPN pag 7 - 121; <a href="http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...">http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...</a>
16/11/2007	"Pequeño terremoto en la zona sur oriental del país"	"Pequeño terremoto que causó daños de poca consideración, pero en un área extensa, entre las provincias de Zamora Chinchipe, Azuay, Morona Santiago y Loja."	Investigación realizada por José Egred A. Un día como hoy - Instituto Geofísico - EPN pag 7 - 121; <a href="http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...">http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy?tmpl=component...</a>
16/4/2016	"Fuerte sismo alarma a ciudadanos de Cuenca"	"El sismo en la ciudad de Cuenca duró alrededor de 50 segundos, uno de los sismos más fuertes que se ha sentido en la ciudad."	<a href="http://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/372336/fuerte-sismo-alarma-a-ciudadanos-decuenca">http://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/372336/fuerte-sismo-alarma-a-ciudadanos-decuenca</a>
24/5/2016	"Fuerte sismo se siente en Cuenca"	"De acuerdo con información del Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional, el epicentro se registró en la provincia del Azuay a las 11:35 con magnitud de 4.9 y 74.56 km de profundidad."	<a href="http://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/374805/fuerte-sismo-se-siente-en-cuenca">http://www.eltiempo.com.ec/noticias/cuenca/2/374805/fuerte-sismo-se-siente-en-cuenca</a> 100%

Tabla 2 Reseña histórica de movimientos telúricos en Cuenca.



### 3.7 MEDICIÓN DE LOS SISMOS

La medición de la fuerza o efecto de un fenómeno sísmico se lo realiza por métodos subjetivos y métodos analíticos.

Los métodos subjetivos valoran los efectos y daños producidos por el fenómeno sísmico mediante una Escala de Intensidad Sísmica.

Los métodos analíticos valoran la magnitud de un evento sísmico, que se basan en la medida instrumental de la energía elástica liberada durante el fenómeno sísmico y propagado mediante ondas en el interior y la superficie de la corteza terrestre.

#### 3.7.1 ESCALA SÍSMICA MÉTODO SUBJETIVO: INTENSIDAD ( Musson, Schwarz, & Stucchi, 2008)

*La intensidad se considera como una clasificación de la severidad del movimiento del suelo a partir de los efectos observados en un área limitada.*

*Consiste de una serie de descripciones de los efectos producidos por distintos grados fenómenos sísmicos sobre una serie de objetos que se pueden encontrar en el ambiente cotidiano. Estos objetos se pueden considerar como sensores, puesto que su respuesta al temblor se usa para medir la fuerza del mismo. No son partes de algún equipo especial instalado por el investigador, sino que por ser parte del ambiente normal, estos sensores son extremadamente comunes. Esta es una de las grandes ventajas de la intensidad como herramienta: no requiere de instrumentos para ser medida.*

*Los sensores usados históricamente en escalas de intensidad pueden dividirse en cuatro grupos:*

**Seres vivos - gente y animales.** *Según aumenta la intensidad una mayor proporción de gente o animales:*

*(a) nota las vibraciones y*

*(b) se asusta debido a ellas.*



**Objetos ordinarios.** Según aumenta la intensidad, un mayor número de objetos domésticos ordinarios (utensilios de cocina, libros, etc.) empiezan a vibrar, desordenarse y caer al suelo.

**Edificios.** Según aumenta la intensidad los edificios experimentan progresivamente mayores daños.

**El ambiente natural.** Según aumenta la intensidad, existe una mayor probabilidad de que se manifiesten efectos tales como grietas en diques y terraplenes, caídas de rocas, etc.

La escala más utilizada en nuestra región la Escala Mercalli Modificada (MM).

### 3.7.1.1 TABLA CON LA ESCALA DE MERCALLI MODIFICADA (M.M.)

Grado	Descripción
<b>I. Muy débil</b>	Imperceptible para la mayoría excepto en condiciones favorables. Aceleración menor a 0.5 Gal.
<b>II. Débil</b>	Perceptible sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios. Los objetos colgantes suelen oscilar. Aceleración entre 0.5 y 2.5 Gal.
<b>III. Leve</b>	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Muchos no lo reconocen como terremoto. Los automóviles detenidos se mueven ligeramente. Sensación semejante al paso de un camión pequeño. Aceleración entre 2.5 y 6.0 Gal.
<b>IV. Moderado</b>	Perceptible por la mayoría de personas dentro de los edificios, por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche algunas personas pueden despertarse. Perturbación en cerámica, puertas y ventanas. Las paredes suelen hacer ruido. Los automóviles detenidos se mueven con más energía. Sensación semejante al paso de un camión grande. Aceleración entre 6.0 y 10 Gal.
<b>V. Poco Fuerte</b>	La mayoría de los objetos se caen, caminar es dificultoso, las ventanas suelen hacer ruido. Aceleración entre 10 y 20 Gal.
<b>VI. Fuerte</b>	Lo perciben todas las personas, muchas personas asustadas suelen correr al exterior, paso insostenible. Ventanas, platos y cristalería dañadas. Los objetos se caen de sus lugares, muebles movidos o caídos. Revoque dañado. Daños leves a estructuras. Aceleración entre 20 y 35 Gal.
<b>VII. Muy fuerte</b>	Pararse es dificultoso. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables estructuras pobremente construidas. Mampostería dañada. Perceptible por personas en vehículos en movimiento. Aceleración entre 35 y 60 Gal.
<b>VIII. Destructivo</b>	Daños leves en estructuras especializadas. Daños considerables en estructuras ordinarias bien construidas, posibles colapsos. Daño severo en estructuras pobremente construidas. Mampostería seriamente dañada o destruida. Muebles completamente sacados de lugar. Aceleración entre 60 y 100 Gal.
<b>IX. Ruinoso</b>	Pánico generalizado. Daños considerables en estructuras especializadas, paredes fuera de plomo. Grandes daños en importantes edificios, con colapsos parciales. Edificios desplazados fuera de las bases. Aceleración entre 100 y 250 Gal.
<b>X. Desastroso</b>	Algunas estructuras de madera bien construida destruidas. La mayoría de las estructuras de mampostería y el marco destruido con sus bases. Rieles doblados. Aceleración entre 250 y 500 Gal.
<b>XI. Muy desastroso</b>	Pocas, si las hubiera, estructuras de mampostería permanecen en pie. Puentes destruidos. Rieles curvados en gran medida. Aceleración mayor a 500 Gal.
<b>XII. Catastrófico</b>	Destrucción total con pocos sobrevivientes. Los objetos saltan al aire. Los niveles y perspectivas quedan distorsionadas.

$1 \text{ Gal} = 1 \text{ cm/s}^2$

Tabla 3 (INSIVUMEH, 2016) Escala de Mercalli Modificada (M.M.)



### 3.7.2 ESCALA SÍSMICA MÉTODO ANALÍTICO: MAGNITUD

La Magnitud de un evento sísmico es una medida cuantitativa y su valor se relaciona de manera directa con la energía sísmica liberada, además y dado a su metodología analítica se puede comparar la fuerza de un sismo o su cantidad de energía liberada en eventos sísmicos ocurridos en tiempos y lugares distintos.

Existen varias escalas de Magnitud siendo la de Richter la mas reconocida, comúnmente llamada Escala Abierta de Richter pues no tiene límite inferior ni superior, sus valores se expresan en números decimales y su escala es logarítmica.

En 1979 Thomas C. Hanks e Hiroo Kanamori proponen la Escala Sismológica de Magnitud de Momento ( $M_w$ ), similar en su definición y determinación a la escala de Richter, presenta la ventaja de no saturarse en valores altos de la magnitud, esta escala es la utilizada en la actualidad por la comunidad científica.

#### 3.7.2.1 TABLA CON LA ESCALA DE MAGNITUD DEL MOMENTO

<i>Magnitud</i>	<i>Descripción</i>	<i>Efectos del sismo</i>	<i>Frecuencia de Ocurrencia</i>
Menos de 2,0	Micro	Los microsismos no son perceptibles.	Alrededor de 8.000 al día.
2,0 - 2,9	Menor	Generalmente no son perceptibles.	Alrededor de 1.000 al día.
3,0 - 3,9		Perceptibles a menudo, pero rara vez provocan daños.	49.000 al año.
4,9 - 4,9	Ligero	Objetos se mueven en las habitaciones / Daños poco probables.	6.200 al año.
5,0 - 5,9	Moderado	Daños mayores a edificaciones débiles y mal construidas / Daños leves en edificaciones bien diseñadas.	800 al año.
6,0 - 6,9	Fuerte	Pueden ser destructivos en áreas pobladas, en hasta unos 160km a la redonda.	120 al año.
7,0 - 7,9	Mayor	Puede causar serios daños en extensas zonas.	18 al año.
8,0 - 8,9	Gran	Puede causar graves daños en zonas de varios cientos de kilómetros.	1-3 al año.
9,0 - 9,9		Devastadores en zonas de varios miles de kilómetros.	1-2 cada 20 años.
10	Épico	Nunca registrado.	En la historia de la humanidad nunca ha sucedido un evento así

Tabla 4 Escala de Magnitud del Momento por Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori



### 3.7.3 RELACIÓN ENTRE INTENSIDAD, PGA Y PGV

Como un esfuerzo para simplificar y maximizar el flujo de información se ha desarrollado un medio para generar mapas de Intensidad Mercalli Modificada estimados basados en grabaciones instrumentales de movimiento en tierra. Estas "Intensidades Instrumentales" se basan en una regresión combinada de las aceleraciones de pico y amplitudes de velocidad frente a la intensidad observada en ocho terremotos significativos de (California 1971, San Fernando 1979, Imperial Valley 1986, North Palm Springs 1987, 1992 Landers, y 1994 Northridge).

Se presenta una tabla de descripciones de intensidad con los valores de aceleración pico del terreno (PGA) y de velocidad pico de tierra (PGV) que son utilizados en los Shake Maps. (Worden C. B., Gerstenberger, Rhoades, DJ, & Wald, 2012)

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2012)

Tabla 5 (Worden C. B., Gerstenberger, Rhoades, & Wald, 2012)  
<http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/>

### 3.8 MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

Desde el punto de vista teórico es muy difícil procurar una revisión completa de todos los métodos para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica, siendo el principal limitante las características intrínsecas de cada uno de ellos, (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, pág. 8). En la Monografía de Ingeniería Sísmica, Vulnerabilidad sísmica de Edificios, se establece una clasificación basada en la categorización de dos grupos, siendo estos los métodos analíticos y los métodos subjetivos.



### 3.8.1 MÉTODOS ANALÍTICOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SISMICA POR (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994):

*La evaluación de la vulnerabilidad de edificios existentes por medio de métodos analíticos se basa en los mismos principios utilizados para el diseño de construcciones. Esto quiere decir que los edificios poco dúctiles, como los construidos en mampostería o en muros de fábrica, así como los edificios de hormigón construidos sin el reforzamiento adecuado, de aquellos elementos que llegan a presentar grandes deformaciones durante los terremotos, pueden ser evaluados bajo cargas estáticas y en el rango elástico debido a que dichas estructuras no tienen la capacidad de experimentar grandes deformaciones plásticas sin antes fallar.*

*Por el contrario cuando un pórtico de una estructura sismo resistente se somete a movimientos sísmicos fuertes, algunas de sus vigas y columnas pueden llegar a tener deformaciones muy importantes en el rango plástico y, por lo tanto, un análisis dinámico inelástico llega a ser un requisito indispensable para una evaluación confiable de su vulnerabilidad.*

*La literatura disponible para la evaluación de estructuras existentes por métodos analíticos se concentra, primordialmente, en la modelación de edificios de hormigón armado y se diferencian entre sí por:*

- *El modelo mecánico utilizado para representar el comportamiento histerético de la estructura sismo resistente.*
- *El indicador de daño utilizado para cuantificar la degradación de los elementos estructurales o de la estructura misma.*

#### 3.8.1.1 MODELOS HISTERÉTICOS DE SISTEMAS SISMO RESISTENTES

*Cuando una estructura sismo resistente se somete a un movimiento sísmico fuerte, algunas de sus vigas y columnas experimentan 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.** La selección de este modelo depende básicamente de dos principios fundamentales:

- *la precisión que se espera de los resultados y*
- *el costo total del análisis.*

### **3.8.1.2 INDICADORES DE DAÑO**

*Los indicadores de daño son las funciones que permiten relacionar la respuesta calculada para una estructura, con el daño en la misma y pueden ser definidos a nivel de la estructura o de los elementos individuales. Los indicadores de daño definidos a nivel de la estructura hacen uso de la respuesta global de la misma como, por ejemplo, los desplazamientos de los pisos, el cortante en la base, el trabajo realizado por las cargas aplicadas, etc. El cálculo de estos indicadores es generalmente simple, sin embargo no proporcionan la información suficiente para aquellas estructuras en las que el daño tiende a ser localizado. Los indicadores de daño definidos a nivel de los elementos estructurales hacen uso de la respuesta calculada para dichos elementos como, por ejemplo, las rotaciones de la rótula plástica, la degradación de la capacidad de carga, etc. Estos indicadores proveen información más detallada sobre el daño de la estructura, sin embargo tienden a ser más difíciles de calcular.*

### **3.8.1.3 Indicadores de daño a nivel de elementos estructurales**

- *Ductilidad de rotación*
- *Ductilidad de curvatura*

### **3.8.1.4 Indicadores de daño a nivel de la estructura**

*Los indicadores de daño a nivel de la estructura no proporcionan la información suficiente para los casos en los cuales el daño de la estructura tiende a ser localizado. Sin embargo, para propósitos generales, como pueden ser la evaluación del riesgo sísmico o la toma de decisiones, se hace necesario disponer de un único valor que refleje la calidad o la vulnerabilidad global de la estructura.*



*Procedimientos, para obtener un indicador global de daño sin necesidad de evaluar el daño de cada uno de los elementos que componen la estructura, pueden estimarse bajo los mismos principios de ductilidad, capacidad de disipación de energía, etc.; pero definidos esta vez a nivel de la estructura en general.*

- *Parámetro de daño global GDP (global damage parameter): que se basa en el concepto del consumo y la capacidad de carga. Este parámetro se cree que es un buen indicador del daño para edificios de baja a mediana altura y se define como:*

$$\text{Ecuación 1} \quad GDP = \frac{d_R - d_y}{d_F - d_y}$$

*De donde  $d_R$  es desplazamiento máximo del último piso,  $d_y$  el desplazamiento del último piso para el cual el primer elemento de la estructura alcanza el punto de plastificación bajo el modo fundamental de vibración del edificio y  $d_F$  es el desplazamiento del último piso para el cual se asume que la estructura falla.*

### **3.8.1.5 INTERPRETACIÓN PROBABILÍSTICA DEL DAÑO**

*Uno de los inconvenientes que surgen en la utilización práctica de los métodos analíticos, para la estimación de la vulnerabilidad sísmica de edificios, ocurre a la hora de calibrar el indicador de daño proporcionado por dichos métodos, con el daño real observado en las estructuras.*

### **3.8.1.6 PROBLEMAS ASOCIADOS CON LOS MÉTODOS ANALÍTICOS POR (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994):**

*Los problemas asociados con los métodos analíticos, básicamente, provienen de las dificultades intrínsecas de la modelización matemática de las estructuras reales, es importante recalcar que existen múltiples incertidumbres en la evaluación del daño, sin embargo, se pueden señalar dos de las más importantes:*

- *Las hipótesis del modelo para el análisis estructural:*





*Se puede afirmar que las propiedades actuales de los materiales y de los elementos estructurales pueden llegar a ser muy diferentes de las asumidas para el análisis y en la mayoría de los casos desconocidas. Es difícil desde un punto de vista matemático tener en cuenta el daño sufrido por la estructura antes del análisis y poder hacer una evaluación precisa de las condiciones iniciales, que permitan una evaluación confiable de la respuesta obtenida después del análisis.*

- *La selección de los movimientos sísmicos del terreno*

*Es difícil identificar aquellas características del movimiento del terreno que describen la capacidad destructiva de un terremoto y por esta razón, el movimiento del terreno es una de las fuentes más grandes de incertidumbre. Todas estas fuentes de incertidumbres deben ser incluidas durante la fase de interpretación probabilística de los métodos analíticos, con el objeto de deducir propiedades de daño que puedan ser aplicadas en casos reales y que dichas propiedades resulten en una evaluación confiable de la vulnerabilidad sísmica de los edificios.*

*La evaluación de estructuras por los métodos analíticos, puede llegar a ser una labor muy difícil de implementar a gran escala. Por esta razón, se siguen buscando métodos alternativos que permitan un análisis rápido de la vulnerabilidad sísmica. Sin embargo, la evaluación confiable de la vulnerabilidad de edificios muy particulares nunca podrá ser efectuada por procedimientos distintos a los métodos analíticos.*

### **3.8.2 MÉTODOS SUBJETIVOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA POR (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994)**

*Estos métodos no son desarrollados para obtener una evaluación precisa de la vulnerabilidad de edificios sino, más bien, para dar una idea sobre el comportamiento sísmico que se puede esperar de toda una zona urbana como herramienta imprescindible en los planes de mitigación de desastres. Una de las características más importantes*



*de estos métodos es la de introducir la opinión subjetiva del experto y la utilización de datos empíricos como fuente de conocimiento para la evaluación de la vulnerabilidad.*

*Generalmente, los métodos subjetivos hacen uso de formularios de encuesta o de levantamiento (survey forms), los cuales son rellenos por personal capacitado durante las investigaciones de campo. Existen básicamente dos tipos de formularios:*

- *Levantamiento de daños: Se utilizan para recoger los datos de daño de las estructuras, después de ocurrido un terremoto. Estos datos se utilizan para múltiples propósitos, como por ejemplo, para saber a cuánto ascienden las pérdidas materiales o para el estudio de la vulnerabilidad de las estructuras por medio de un análisis estadístico.*
- *Levantamiento de vulnerabilidad: Se utilizan para recoger los datos sobre las características de las estructuras, tales como, sus dimensiones, tipos de material, etc.; necesarios para la determinación de su vulnerabilidad.*

*Es difícil hacer una clasificación estricta de los métodos subjetivos debido a que, por ejemplo, muchos de ellos combinan las mismas características y propiedades de los otros pero, a su vez, llegan a tener principios de evaluación muy diferentes, razón por la se presenta una clasificación que divide a los métodos subjetivos en dos grupos: métodos que predicen el daño y métodos que evalúan la capacidad.*

### **3.8.2.1 MÉTODOS QUE PREDICEN EL DAÑO**

*Estos métodos permiten la estimación del daño de una estructura a través de dos tipos de relaciones matemáticas: la primera es una relación discreta, basada en matrices de probabilidad de daño y la segunda es una relación continua, basada en funciones de vulnerabilidad. (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994)*

- ***Métodos basados en matrices de probabilidad de daño.***



*Una forma de expresar la vulnerabilidad de una estructura, teniendo en cuenta las múltiples incertidumbres que existen para su evaluación, es a través de una matriz de probabilidad de daño DPM (damage probability matrix) la cual expresa la probabilidad discreta de la distribución de daño, para un tipo de estructura y una intensidad sísmica dadas.*

*Cada tipología estructural representa una estructura genérica con unas características constructivas muy específicas pero que, a su vez, permita albergar un porcentaje representativo de las estructuras que se encuentran en la zona de estudio. Por otra parte, la escala de intensidad sísmica se representa en términos de un parámetro físico o bien por cualquiera de las escalas macrosísmicas existentes. Asimismo, la escala de daño puede ser una cualquiera, de las muchas existentes en la literatura o bien una adoptada especialmente para el estudio. Generalmente, **las matrices de probabilidad de daño se deducen por medio de un análisis estadístico del daño observado en las estructuras después de ocurrido un terremoto o también por el juicio subjetivo de expertos.***

- **Métodos basados en funciones de vulnerabilidad**

*Una función de vulnerabilidad es una relación matemática que expresa de forma continua el daño que experimenta una estructura específica cuando es sometida a un movimiento de origen sísmico. **Las funciones de vulnerabilidad se deducen por medio de una regresión estadística de los datos de daño observados durante un terremoto o generados artificialmente mediante una simulación.***

*Al contrario que las matrices de probabilidad de daño descritas en el apartado anterior, las funciones de vulnerabilidad no tienen una forma genérica estándar que sea globalmente aceptada dentro de la ingeniería sísmica. Por el contrario, se puede afirmar que cada una de las metodologías existentes utiliza su propia definición de dichas funciones, lo cual ha*



*resultado en procedimientos muy diferentes para la evaluación del riesgo.*

*Generalmente, dichas funciones se suelen expresar como curvas que relacionan el grado de daño del edificio con un parámetro de respuesta estructural o del movimiento del terreno. Los parámetros de respuesta estructural que comúnmente se utilizan son, el desplazamiento horizontal del edificio y el coeficiente sísmico que se define, como el factor entre la capacidad lateral del edificio dividido por el peso total del mismo. Por otro lado, los parámetros que expresan el movimiento del terreno son, usualmente, la aceleración máxima del terreno PGA, o uno de los grados en las escalas de intensidad sísmica.*

### **3.8.2.2 MÉTODOS QUE EVALÚAN LA CAPACIDAD SÍSMICA**

- **Métodos basados en un sistema de calificación**

*Estos métodos utilizan una escala de valores (rating system) para puntuar la calidad de las diferentes características analizadas en la estructura. Con esta información el edificio es catalogado de manera discreta como bueno, regular, pobre o muy pobre, de acuerdo al puntaje obtenido y al nivel de intensidad MM para el sitio.*

- **Métodos basados en códigos de construcción**

*Estos métodos utilizan los mismos criterios que para el diseño de nuevos edificios y se basan en los procedimientos recomendados por los códigos que utilizan métodos simplificados, como el de la fuerza horizontal equivalente o el del análisis modal con espectros de respuesta. Por otra parte, cuando se requieren parámetros tales como el amortiguamiento o la ductilidad de la estructura, estos se deducen empíricamente.*



### **3.8.2.3 PROBLEMAS ASOCIADOS CON LOS MÉTODOS SUBJETIVOS POR (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994)**

*Los métodos subjetivos no permiten una evaluación precisa de la vulnerabilidad de las estructuras; sin embargo, llegan a ser la única herramienta disponible en los casos para los que la modelización matemática por medio de los métodos analíticos es muy costosa, compleja o involucra factores cuyo comportamiento es difícil de predecir. La opinión subjetiva del experto, en la mayoría de los casos, resulta ser, una base de conocimiento difícil de transmitir y de "calibrar", por lo que los métodos que se basan en este tipo de información deben utilizar conceptos simples, generales y fácilmente comprensibles por el usuario. Lo anterior resulta, generalmente, en metodologías adaptadas a las tipologías y a las prácticas de construcción características de cada país e inclusive de cada región, lo que dificulta su aplicación en otros lugares. Los métodos basados en los códigos de construcción, además de no dar una estimación del daño, son elaborados con los criterios y las fórmulas adoptadas por un código de construcción en particular, lo que dificulta su adaptación para o tras regiones donde, por ejemplo, el nivel de desarrollo o las políticas de protección civil son diferente.*



### 3.9 FLUJOGRAMA MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA

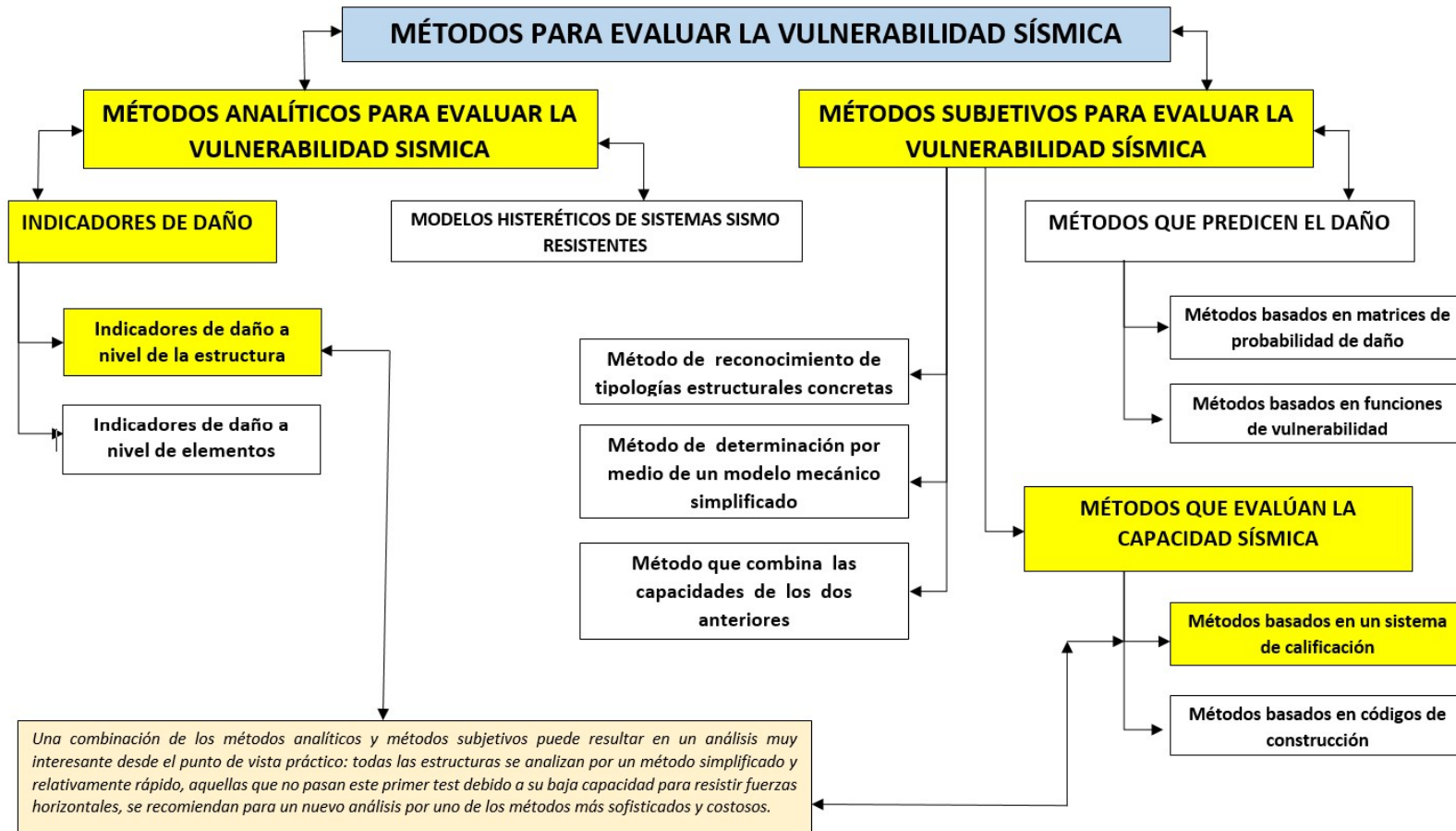


fig. 4 FLUJOGRAMA MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA, Fuente (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, págs. 1-43); elaboración propia.



### **3.10 METODOLOGÍAS DE EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA**

#### **3.10.1 Metodología Subjetiva para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica**

Del análisis anterior se estableció dos tipos de métodos por los cuales podríamos abordar el análisis de la vulnerabilidad sísmica de la Edificación Patrimonial, siendo estos los métodos que predicen el daño y los métodos que evalúan la capacidad sísmica.

En la metodología que predice el daño ya sea por los métodos basados en matrices de probabilidad de daño o métodos basados en funciones de vulnerabilidad, se debe de contar con un análisis o regresión estadística del daño existente y evidenciado en edificaciones del área de estudio ocurrido en eventos sísmicos anteriores, al no contar con esta información el análisis de la vulnerabilidad sísmica por los métodos que predicen el daño queda excluida.

Analicemos ahora la metodología que evalúa la capacidad sísmica de la edificación y abordamos los métodos basados en un sistema de calificación y los métodos basados en códigos de construcción.

Los métodos basados en códigos de construcción utilizan los mismos criterios que para el diseño de nuevos edificios, en este sentido la evaluación de la vulnerabilidad sísmica esta visionada a edificaciones que ya fueron diseñadas y construidas con elementos estructurales sismo resistentes, en nuestro caso el primer código de construcción que establecía ya principios de diseño sismo resistente fue emitido en el año de 1977, y la edificación en estudio es mucho más antigua, razón por la cual el análisis de la vulnerabilidad sísmica por métodos basados en códigos de construcción queda excluido.

Los métodos basados en un sistema de calificación utilizan una escala de valores para puntuar la calidad de las diferentes características analizadas en la edificación, puede ser aplicada a edificaciones antiguas como a nuevas y su valoración discreta indica de manera clara el estado actual de la edificación y si requiere o no de una evaluación especial. Es éste el método subjetivo por el cual analizaremos nuestro caso de estudio.



### **3.10.1.1 METODOLOGÍAS BASADAS EN UN SISTEMA DE CALIFICACIÓN.**

Dentro del universo de metodologías existentes en la literatura técnico científica que aborda el análisis de la Vulnerabilidad Sísmica basado en un sistema de calificación citamos las más reconocidas y utilizadas:

- FEMA 154 (2002)
- Escala macro sísmica europea EMS-98 (1998)

#### **3.10.1.1.1 FEMA 154 (2002) Procedimiento de Investigación Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards (RVS)**

*FEMA 154 (FEMA 154, 2002), Screening Visual Rápido (RVS) es un método que recomienda el rastreo visual rápido de edificios con algún grado de amenaza sísmica. El procedimiento de rastreo visual rápido (RVS) ha sido desarrollado para una amplia aceptación, incluyendo funcionarios e inspectores de edificios y agencias gubernamentales y propietarios de edificios del sector privado, para identificar, inventariar y clasificar los edificios que son potencialmente peligrosos sísmicamente. Aunque RVS es aplicable a todos los edificios, su propósito principal es el de identificar:*

- *Edificios viejos, diseñados y construidos antes de la adopción de los requisitos sismo resistente.*
- *Edificios en suelos suaves o de capacidad portante limitada.*
- *Edificios que tienen un esquema estructural en planta y elevación que influyen negativamente en su respuesta sísmica.*

*Una vez identificados como potencialmente peligrosos, tales edificios deben ser evaluados por un profesional con experiencia en diseño sísmico para determinar si son sísmicamente peligrosos.*

*El rastreo visual rápido RVS utiliza una metodología basada en una "encuesta in situ" y un formulario de recolección de datos; la persona que lleva a cabo la encuesta lo llena basándose en la observación visual del edificio desde el exterior y si es posible desde el interior. El formulario de recolección de datos incluye espacio para documentar la información de*





*identificación del edificio, incluyendo su uso y tamaño, una fotografía del edificio, bocetos y documentación de datos pertinentes relacionados con el desempeño sísmico, incluyendo el desarrollo de una puntuación numérica de peligro sísmico.*

*La recolección de datos en el campo comienza con la identificación del sistema estructural y los materiales estructurales del edificio.*

*El uso del RVS permite dividir a los edificios seleccionados en dos categorías: aquellos en los que se espera tengan un desempeño sísmico aceptable, y aquellos en los que pueden ser peligrosos ante un evento sísmico y que se deben estudiar más a fondo.*

*Este procedimiento pretende ser la fase de selección preliminar de un procedimiento multi-fase para identificar edificios potencialmente peligrosos.*

*Los edificios identificados por este procedimiento deben ser analizados con más detalle por un profesional experimentado en diseño sísmico.*

*Debido a que el rastreo visual rápido está diseñado para ser realizado desde la calle, con inspección interior que no siempre es posible, los detalles peligrosos no siempre serán visibles, y los edificios sísmicamente peligrosos pueden no ser identificados como tales.*

*Por el contrario, los edificios inicialmente identificados como potencialmente peligrosos por RVS pueden resultar adecuados.*



Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards  
FEMA-154 Data Collection Form

HIGH Seismicity

<p>Scale: _____</p>	<p>Address: _____ Zip _____</p> <p>Other Identifiers _____</p> <p>No. Stories _____ Year Built _____</p> <p>Screener _____ Date _____</p> <p>Total Floor Area (sq. ft.) _____</p> <p>Building Name _____</p> <p>Use _____</p> <div style="text-align: center; margin-top: 50px;">PHOTOGRAPH</div>														
OCCUPANCY	SOIL	TYPE	FALLING HAZARDS												
Assembly Commercial Emer. Services	Govt Historic Industrial	Office Residential School	<input type="checkbox"/> Unreinforced Chimneys												
Number of Persons 0 - 10 101-1000	11 - 100 1000+	A Hard Rock B Avg. Rock C Dense Soil D Stiff Soil E Soft Soil F Poor Soil	<input type="checkbox"/> Parapets <input type="checkbox"/> Cladding <input type="checkbox"/> Other:												
BASIC SCORE, MODIFIERS, AND FINAL SCORE, S															
BUILDING TYPE	W1	W2	S1 (MRF)	S2 (BR)	S3 (LM)	S4 (RC SW)	S5 (URM INF)	C1 (MRF)	C2 (SW)	C3 (URM INF)	PC1 (TU)	PC2	RM1 (FD)	RM2 (RD)	URM
Basic Score	4.4	3.8	2.8	3.0	3.2	2.8	2.0	2.5	2.8	1.6	2.6	2.4	2.8	2.8	1.8
Mid Rise (4 to 7 stories)	N/A	N/A	+0.2	+0.4	N/A	+0.4	+0.4	+0.4	+0.4	+0.2	N/A	+0.2	+0.4	+0.4	0.0
High Rise (> 7 stories)	N/A	N/A	+0.6	+0.8	N/A	+0.8	+0.8	+0.6	+0.8	+0.3	N/A	+0.4	N/A	+0.6	N/A
Vertical Irregularity	-2.5	-2.0	-1.0	-1.5	N/A	-1.0	-1.0	-1.5	-1.0	-1.0	N/A	-1.0	-1.0	-1.0	-1.0
Plan Irregularity	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-Code	0.0	-1.0	-1.0	-0.8	-0.6	-0.8	-0.2	-1.2	-1.0	-0.2	-0.8	-0.8	-1.0	-0.8	-0.2
Post-Benchmark	+2.4	+2.4	+1.4	+1.4	N/A	+1.6	N/A	+1.4	+2.4	N/A	+2.4	N/A	+2.8	+2.8	N/A
Soil Type C	0.0	-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	-0.4
Soil Type D	0.0	-0.8	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.4	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6	-0.6
Soil Type E	0.0	-0.8	-1.2	-1.2	-1.0	-1.2	-0.8	-1.2	-0.8	-0.8	-0.4	-1.2	-0.4	-0.6	-0.8
FINAL SCORE, S															
COMMENTS															Detailed Evaluation Required  YES NO

\* = Estimated, subjective, or unreliable data  
 DNK = Do Not Know  
 BR = Braced frame  
 FD = Flexible diaphragm  
 LM = Light metal  
 MRF = Moment-resisting frame  
 RC = Reinforced concrete  
 RD = Rigid diaphragm  
 SW = Shear wall  
 TU = Tilt up  
 URM INF = Unreinforced masonry infill

Tabla 6 Fuente (FEMA 154, 2002), Formulario de Recolección de Datos de alta sismicidad seleccionado para la localidad de USA.

**3.10.1.1.2 ESCALA MACRO SÍSMICA EUROPEA EMS-98 (1998)**

La Escala Macro Sísmica Europea EMS-98 analiza seis clases o tipos de vulnerabilidad sísmica (A, B, C, D, E, F) siendo “A” la de menor resistencia sísmica y “F” la de mayor resistencia sísmica, es en este rango de vulnerabilidad que se ubican a las edificaciones con un determinado sistema o tipología estructural estableciendo rangos sobre los cuales las edificaciones podrían migrar, y van desde el más probable, probable, rangos excepcionales o menos probables en los que se ubicara la edificación ante un fenómeno sísmico. El método contempla 4 sistemas o tipologías estructurales siendo estos:



Mampostería, Hormigón Armado, Acero y Madera, cada tipología considera una sub clasificación, considerando para el método una cantidad de 15 tipos de tipologías estructurales.

Tipo de Estructura	Clase de Vulnerabilidad					
	A	B	C	D	E	F
MAMPOSTERÍA	Paredes de peña viva / roca de cantera	○				
	Adobe (ladrillo de tierra)	○—				
	Roca simple	⋯○				
	Roca masiva		—○—			
	Unidades de roca manufacturada	⋯○—				
	Ladrillo no reforzado, pisos de HA		—○—			
	Reforzado o confinado			⋯○—		
HORMIGÓN ARMADO (HA)	Armazón sin diseño sismorresistente (DSR)		⋯○—			
	Armazón con un nivel moderato de DSR			—○—		
	Armazón con un alto nivel de DSR				—○—	
	Paredes sin DSR		⋯○—			
	Paredes con un nivel moderado de DSR			—○—		
	Paredes con un nivel alto de DSR				⋯○—	
ACERO	Estructuras de acero			⋯○—		
MADERA	Estructuras de madera		⋯○—			

○ Clase de vulnerabilidad más probable; — Rango probable; ⋯ Rango de casos excepcionales, menos probables

Tabla 7 Tabla de Vulnerabilidad Sísmica, diferenciación de estructuras (edificios) en clases de vulnerabilidad. Fuente (EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION, 1998)

### 3.10.2 Metodología Analítica para evaluar la Vulnerabilidad Sísmica – Índice de Daño.

El Índice de daño según la clasificación propuesta puede ser evaluado de manera analítica por dos modelos analíticos, siendo el primero los modelos histeréticos de sistemas sismo resistente o los métodos de indicadores de daño.

Los Modelos histeréticos de sistemas sismo resistente son aplicables sobre edificaciones cuyos elementos estructurales vigas y columnas ante la presencia



de un evento sísmico son capaces de reproducir las deformaciones cíclicas inelásticas, en este sentido el método analizado no podría ser utilizado ya que la edificación propuesta para el análisis no posee un sistema sismo resistente, peor aún materiales que sean capaces de absorber carga en el rango no lineal.

El método de indicadores de daño se sub clasifica en métodos que evalúan el daño a nivel de la estructura o los métodos que evalúan el daño a nivel de los elementos.

Dado que la edificación en estudio no posee elementos estructurales típicos como vigas y/o columnas los métodos que evalúan el daño a nivel de los elementos no son aplicables en este proyecto.

Los métodos analíticos que evalúan el índice de daño a nivel de la estructura son los aconsejados en este nivel, pues el sistema estructural de paredes y muros no confinados y paredes portantes tienen que ser evaluados de manera global.

### **3.10.2.1 METODOLOGÍAS BASADAS EN UN SISTEMA DE INDICADORES DE DAÑO A NIVEL DE LA ESTRUCTURA.**

Dentro del universo de metodologías existentes en la literatura técnico científica que aborda el análisis de la Vulnerabilidad Sísmica – Índice de Daño mediante indicadores de daño a nivel de la estructura son:

- Índice de Vulnerabilidad Benedetti y Petrini (1984)
- Cardona y Hurtado (1990)

#### **3.10.2.1.1 ÍNDICE DE VULNERABILIDAD (BENEDETTI Y PETRINI (1984) en BARBAT, Alex H; PUJADES, Lluís;, 2004)**

Este método de análisis del índice de daño según sus autores puede ser estudiado en edificios de mampostería no confinada y edificaciones de hormigón armado, inicia por calificar la vulnerabilidad sísmica de la edificación en base a once parámetros establecidos por la metodología:

Los parámetros son calificados en función de una escala numérica desarrollada por los autores del método, en la cual se le asigna una calificación  $K_i$  a cada valor de la escala de gradación, desde A hasta D, donde A es óptimo y D es pésimo.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Las calificaciones parciales (A, B, C, D), de cada uno de los parámetros analizados son afectadas por un factor de peso según el grado de importancia de cada parámetro en relación con los demás. A partir de los valores obtenidos, se cuantifica el índice de vulnerabilidad global de la edificación mediante una suma ponderada, a este valor se lo conoce como Índice de Vulnerabilidad (Iv).

Tabla de valoración del índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería no confinada

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

Tabla 8 Calificaciones parciales y Peso Wi para edificaciones de mampostería no confinada., fuente Benedetti y Petrini (1984)

Tabla de valoración del índice de vulnerabilidad sísmica en edificaciones de mampostería no confinada

Num	Parámetro	Ki A	Ki B	Ki C	Peso Wi
1	Organización del sistema resistente	0	1	2	4.0
2	Calidad del sistema resistente	0	1	2	1.0
3	Resistencia convencional	1	0	1	1.0
4	Posición del edificio y cimentación	0	1	2	1.0
5	Entrepisos	0	1	2	1.0
6	Configuración en planta	0	1	2	1.0
7	Configuración en elevación	0	1	3	2.0
8	Separación máxima entre muros	0	1	2	1.0
9	Tipo de cubierta	0	1	2	1.0
10	Elementos no estructurales	0	1	2	1.0
11	Estado de conservación	0	1	2	2

Tabla 9 Calificaciones parciales y Peso Wi para edificaciones de hormigón Armado, fuente Benedetti y Petrini (1984)

La Ecuación para evaluar en Índice de vulnerabilidad en edificaciones de mampostería no confinada es:



$$\text{Ecuación 2} \quad I_v = (\sum_{i=1}^{11} K_i * W_i)$$

Índice de Vulnerabilidad mampostería no confinada Benedetti y Petrini (1984)

Y para edificaciones en Hormigón Armado es:

$$\text{Ecuación 3} \quad I_v = 10 \left[ \frac{(\sum_{i=1}^{11} K_i * W_i) + 1}{4} \right]$$

Índice de Vulnerabilidad edificación de hormigón armado Benedetti y Petrini (1984)

De donde:  $K_i$  es la calificación asignada y  $W_i$  es el coeficiente de peso,  $I_v$  índice de vulnerabilidad.

Una vez valorado el ( $I_v$ ) Índice de Vulnerabilidad de la edificación en estudio, se puede valorar el índice de daño de la edificación, para una aceleración del terreno dada.

El daño se representa y asume de una manera porcentual siendo los valores cercanos a cien los que causaran el colapso de la edificación.

### 3.10.2.1.2 Cardona y Hurtado (1990)

Este método Valora el Índice de Daño de una edificación en función de la determinación de la demanda de la ductilidad de la estructura, para lo cual establece la siguiente metodología:

1. Determinar la longitud de los muros.
2. Determinar la resistencia a cortante menos favorable, considerando la menor longitud de muros en un plano en el primer piso de la edificación. La resistencia cortante se calcula como:

$$\text{Ecuación 4} \quad VR = L * e * v$$

De donde:

VR: Cortante resistente.

L: Longitud de los muros.

e: Espesor de los muros.

v: Valor de la resistencia a cortante de los muros.



*Según ensayos de laboratorio para muros de mampostería (Centro de Investigaciones de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de los Andes en 1990)*

$v = 1,50 \text{ Kg/cm}^2$  para mampostería confinada; y

$v = 0.75 \text{ Kg/cm}^2$  para mampostería no confinada.

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

$$\text{Ecuación 5} \quad (CSR) = (VR) / (W)$$

5. *Calcular el coeficiente sísmico exigido CSE de la estructura a partir del espectro de respuesta escogido.*

$$\text{Ecuación 6} \quad CSE = Sa$$

$$\text{Ecuación 7} \quad Sa = \eta Z Fa \text{ (NEC, 2015)}$$

6. *Calcular la demanda de ductilidad DD, como la relación entre el coeficiente sísmico exigido CSE y el coeficiente sísmico resistente CSR:*

$$\text{Ecuación 8} \quad DD = \frac{CSE}{CSR}$$

7. *Tomar como valor de referencia de la ductilidad disponible CD (capacidad de ductilidad). Tomando como base el valor  $R_o$  de la NEC(2015),*
  - *Se recomienda un valor de capacidad de ductilidad de 1.0 para mampostería no confinada; y*
  - *un valor de 1.5 para mampostería confinada.*
8. *Se pueden clasificar y dibujar los daños de una manera cualitativa de acuerdo con la escala de la siguiente tabla, la cual está basada en fundamentos teóricos:*



CATEGORÍA Y ESTADO DE DAÑOS	Efectos en la estructura para cada categoría de daño	DEMANDA DE DUCTILIDAD
1. Ninguno	Sin daños.	$DD < 0.50 CD$
2. Menores	Daños menores en elementos arquitectónicos	$0.50 CD < DD < 0.75 CD$
3. Moderados	Daños generalizados en los elementos arquitectónicos y daños en los elementos estructurales.	$0.75 CD < DD < 1.00 CD$
4. Mayores	Daños generalizados en los elementos estructurales y arquitectónicos.	$1.00 CD < DD < 1.50 CD$
5. Totales	Daños no reparables en la estructura, por lo tanto la edificación debe ser demolida y reemplazada.	$1.50 CD < DD < 2.00 CD$
6. Colapso	Edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.	$DD > 2.00 CD$

Tabla 10 (Cardona & Hurtado, 1990) Clasificación de los daños en función de la demanda de ductilidad.





## **4 DETERMINACIÓN DE LA METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA E INDICE DE DAÑO.**

### **4.1 DETERMINANTES.**

Este proyecto visiona el estudio de la vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y evaluación del índice de daño de una edificación que por sus atributos de orden histórico, estético y de organización espacial forma parte del inventario edificado del Centro Histórico Patrimonial de la Ciudad de Cuenca. (GADMCC., 2010)

Dado que la mayoría de las edificaciones pertenecientes al inventario patrimonial de la Ciudad de Cuenca datan de los años 1860 a 1940, la vulnerabilidad sísmica tendrá que ser evaluada de manera cualitativa y considerara para este fin las siguientes determinantes:

- Método aceptado por la comunidad científica, y que su aplicación este normada.
- Considera el Alto grado de peligro sísmico en el cual se encuentra ubicada la edificación.
- Valore el esquema estructural de la edificación.
- Emita una valoración discreta y no genere ambigüedades en su interpretación.

Para la evaluación del índice de daño por métodos analíticos, se deberá considerar que:

- Este tipo de edificación patrimonial no cuenta con un diseño sismo resistente
- Su sistema estructural, constituido por mampostería no confinada y muros portantes de tierra cruda (adobe), no tiene la capacidad de experimentar grandes deformaciones plásticas, estableciendo de esta manera una ductilidad limitada para este tipo de edificación.
- Puede ser evaluado bajo cargas estáticas y en el rango elástico.



**4.1.1 Determinación metodológica Vulnerabilidad Sísmica:**

Del examen realizado a las metodologías propuestas para la valoración de la Vulnerabilidad sísmica y en función de los parámetros contemplados por cada método en su análisis se puede establecer que:

Es el método FEMA 154 el que en su análisis contempla de una manera técnica los requerimientos propios del estudio propuesto y sus determinantes establecidas.

Las siguientes tablas apoyan la decisión tomada:

Metodología	Parametros contemplados en su analisis
FEMA 154 (2002)	Altura de la edificación
	Irregularidad en planta
	Irregularidad en altura
	Año de construcción
Metodología	Parametros contemplados en su analisis
Escala macrosísmica europea EMS-98(1998)	Materiales empleados
	Nivel de desempeño sísmico

	FEMA 154 (2002)	Escala macro sísmica europea EMS-98 (1998)
Método aceptado por la comunidad científica, y que su aplicación este normada.	X	X
Considera el Alto grado de peligro sísmico en el cual se encuentra ubicada la edificación.	X	X
Valore el esquema estructural de la edificación.	X	
Emita una valoración discreta y no genere ambigüedades en su interpretación.	X	

Tabla 11 Metodologías y parámetros utilizados en su análisis

**4.1.2 Determinación metodológica Índice de Daño:**

De las metodologías abordadas para la determinación del Índice de Daño la metodología de BENEDETTI Y PETRINI (1984) analiza el índice de daño en función del índice de vulnerabilidad. Es este índice de vulnerabilidad el que advierte ya cierto grado de incertidumbre al ser extraído de una matriz de calificación ponderada con once variables que establecen sus autores, no se advierte análisis de ductilidad sobre la edificación y sus resultados emitidos de manera porcentual limitan la concepción o proyección del daño.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

El método de Cardona y Hurtado (1990) plantea la determinación de la demanda de la ductilidad de la estructura para clasificar los daños de acuerdo con la escala de la tabla planteada por los autores, la cual está basada en fundamentos teóricos.

Es el método de Cardona y Hurtado (1990) el tomado en este trabajo para el análisis y determinación del Índice de Daño, ya que este método determina de manera analítica el daño sufrido por una edificación ante la presencia de un evento sísmico y su resultado puede ser valorado para distintas intensidades de sismo y sus valores permiten una comparación y conclusión objetiva del daño esperado.



## **5 APLICACIÓN: EDIFICACION PERTENECIENTE AL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO EN LA CIUDAD DE CUENCA-ECUADOR**

### **5.1 CUENCA CIUDAD PATRIMONIO CULTURAL DE LA HUMANIDAD.**

#### **5.1.1 DECLARATORIA.**

El Centro Histórico de la Ciudad de Cuenca llamada también Santa Ana de los Cuatro Ríos de Cuenca, ostenta desde el 4 de diciembre de 1999 el título de Patrimonio Cultural de la Humanidad.

*Para la Declaratoria del Centro Histórico de Cuenca como Patrimonio Cultural de la Humanidad se consideró que la urbe ha consolidado un auténtico sitio en el que la mano del hombre ha desarrollado importantes edificaciones unificadas con un espacio geográfico natural excepcional y un grupo humano con sólidas tradiciones culturales que otorgan identidad a nuestra comunidad. (GADMCC, 2016)*

#### **5.1.2 ARQUITECTURA.**

Durante el siglo XIX, la ciudad permaneció casi por completo como la Cuenca colonial, la renovación de la arquitectura modesta por otra esbelta de estilo europeo o norteamericano se dio durante la época Republicana. Los estilos netamente ornamentales como el art nouveau y art déco aportaron en este proceso transformador. Tanto uno cuanto otro ponen de moda el uso de nuevos materiales y formas estéticas. (Aguirre Ullauri , Camacho Durán , & Moncayo Serrano , 2010)



### 5.1.3 ÉPOCA, FUNCIÓN, TECNOLOGÍA Y EXPRESIÓN DE LA ARQUITECTURA CUENCANA

Fuente: (León V, Luna C, & Siguencia H, 1997, págs. 52 -56)

EPOCA	FUNCIÓN	TECNOLOGÍA	EXPRESIÓN
ÉPOCA COLONIAL SIGLOS XVI, XVII Y XVIII IM ITACIÓN DE LAS VIVIENDAS ESPAÑOLAS	<p>Las viviendas se organizan alrededor de patios, con planta típicamente andaluza, con funciones diferentes cada uno.</p> <p>Primer patio: se desarrolla la vida social Segundo patio: servicio doméstico y Tercer patio: establos o pequeñas huertas domésticas.</p>	<p>Con la llegada de los españoles a los milenarios procedimientos se adicionaban dos importantes elementos, la utilización de la teja y el ladrillo. Los cimientos y sobrecimientos son de piedra.</p> <p>Las paredes son de adobe (o bahareque) de 80-100 cms.</p> <p>Las columnas son de madera (con base de piedra) o aveces de piedra.</p> <p>Los pisos en planta baja son de ladrillo de obra sobre terreno natural.</p> <p>Los pisos en planta alta son de ladrillo sobre cama de carrizo con barro.</p> <p>Los cielos rasos se cubren con cal</p> <p>La estructura de la cubierta es de madera y enchacado de carrizo cubierto con teja y con una pendiente de 40 o 50%</p> <p>La estructura de las escaleras es de madera con revestimiento de ladrillo y con relleno de barro y ladrillo.</p>	<p>Las fachadas son simples, y se siguieron dos modelos españoles: casa andaluza y pompeyana. Los balcones son el centro y definición de la fachada. La casa colonial fue eminentemente artesanal. Las casas en un principio fueron de un piso. La horizontalidad es la directriz predominante.</p>

EPOCA	FUNCIÓN	TECNOLOGÍA	EXPRESIÓN
ÉPOCA REPUBLICANA 1820-1950	<p>La zonificación general de la vivienda no varió con respecto a la época anterior, en la función se especializaron algunos ambientes, así surgieron:</p> <p>En la zona de reposo antecámaras, cámaras,</p> <p>En la zona social la biblioteca, la antesala</p> <p>El baño fue la incorporación mas</p> <p>Las escaleras se amplían manteniendo la ubicación y crujía frontal</p> <p>El establo o tercer patio se transformó en huerta.</p>	<p>La tecnología de esta etapa se mantiene igual a la de la colonia, con algunos cambios en el aspecto expresivo, puesto que los cambios mas significativos se los realiza en la decoración.</p> <p>Los muros de las fachadas se alteran, los vanos son de mayor dimensión.</p> <p>Las pilastras, vigas y columnas de madera intercaladas tienen una función mas ornamental.</p> <p>En el piso de la planta alta, se utilizan tablonces de madera sobre vigas, sujetos con clavos de madera.</p> <p>Los balcones espaciosos de madera de la época colonial, se remplazan por pequeños balcones de hierro o se eliminan.</p> <p>Para los cielos rasos se importaban láminas metálicas y en otros casos se los reproducía mediante dibujo y pinturas.</p> <p>El alero evoluciona en su dimensión y ornamentación. Los canecillos se vuelven ornamentales.</p>	<p>Las diferencias mas notables se establecen en las alturas de piso, elevación de cielos rasos, formas y ornamentación especialmente en las fachadas.</p> <p>Almohadillado falso en planta baja.</p> <p>Trabajos escultóricos en canecillos y zapatas.</p> <p>Molduras alrededor de ventanas.</p> <p>Zócalos y cenefas con motivos florales y geométricos.</p> <p>Pinturas en paredes que imitan al mármol. La verticalidad es la directriz predominante. Lo que caracteriza a este período es la imitación del Neoclásico francés en las fachadas de las viviendas.</p>



EPOCA	FUNCIÓN	TECNOLOGÍA	EXPRESIÓN
<b>ÉPOCA MODERNA:</b> <b>PERÍODO DE 1950-1970</b> <b>ARQUITECTURA DE LAS LÍNEAS RECTAS</b>	<p>Funcionalmente se copia el modelo norteamericano de distribución espacial, sala estar, comedor</p> <p>Se incluyen como parte de la vivienda: cocina, baño y garaje.</p>	<p>Se da paso a la utilización de nuevos materiales como el hormigón armado, que constituye la revolución constructiva de la época al brindar grandes oportunidades constructivas como:</p> <p>En la estructura portante existe la posibilidad de usar paredes soportantes o la estructura de cadenas y columnas de hormigón armado con paredes de ladrillo y bloque.</p> <p>El hormigón permite el incremento de vanos y volados. Posibilita el incremento vertical de las edificaciones.</p> <p>Aparece una gran gama de materiales prefabricados y estandarizados, planchas para cubierta, tabiquerías.</p>	<p>Se construye siguiendo el modelo norteamericano de villas o chalets, en general se tratan de volúmenes puros aprovechando los nuevos materiales que permitan desafiar la gravedad y crear formas novedosas, se caracterizan por:</p> <p>La presencia de varios volúmenes Presencia de vanos amplios y grandes volados.</p> <p>Las cubiertas generalmente son losas con formas llamativas o planas. En los pisos los mas diversos materiales</p>
<b>ÉPOCA MODERNA:</b> <b>PERÍODO 1970-1980</b>	<p>El esquema funcional varía y se da paso a esquemas ambientales mas abiertos es muy frecuente sala-comedor con un solo ambiente.</p>	<p>El sistema portante del hormigón armado se populariza. En materiales se usa: piedra labrada o de río, madera, ladrillo vidriado y en la cubierta principalmente teja</p>	<p>El aspecto expresivo de las construcciones es de gran importancia, destaca énfasis puesto en los materiales del lugar que junto con el hormigón permiten crear las mas variadas formas en las construcciones. Las características de este período son:</p> <p>La utilización de materiales vistos como el ladrillo, piedra labrada o de río que dan carácter.</p> <p>Fuertes pendientes en la cubierta y gran variedad formal.</p> <p>Presencia de grandes aleros.</p> <p>Se construyen vanos mas grandes y continuos.</p>
<b>ÉPOCA MODERNA:</b> <b>PERÍODO 1980-1996</b>	<p>Funcionalmente se continúa con esquemas ambientales abiertos, se incluye dentro de la vivienda un nuevo espacio como es el invernadero.</p>	<p>La tecnología no ha sufrido cambios sustanciales, pero es importante la incorporación de elementos prefabricados de interiores, el uso de estructuras de hierro y la constante preocupación por la impermeabilización de las cubiertas de teja.</p>	<p>Formalmente se utilizan volúmenes simples con vanos cada vez mas grandes, la aplicación de texturas y el carácter artesanal de sus acabados le da características formales propias.</p> <p>Destaca la sencillez formal de la cubierta. Incorporación de vegetación en la vivienda.</p>

Tabla 12 *Época, función, tecnología y expresión de la Arquitectura Cuenca. Autor: (Albarracín, 2015)*

Edificaciones construidas en la Época de la Colonia son las que nos demuestran la manera empírica en la que el colono replica la arquitectura europea – española con materiales de construcción que los obtenía en la localidad como lo es el adobe y la madera, además es en esta época que la cultura española inserta elementos cerámicos como el ladrillo y la teja para la construcción de sus edificaciones que no sobrepasaban de una planta alta.

En la Época Republicana no se advierten cambios en la concepción estructural de las edificaciones más se ve la adopción de estilos europeos y americanos en la ornamentación de las fachadas y se continúa con la construcción de paredes portantes no confinadas en adobe y/o ladrillo con mortero de cal.

Es en la Época Moderna con la utilización del hormigón armado que las edificaciones comienzan a ganar altura y se inicia a estructurar a las edificaciones con columnas y vigas.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

En la actualidad la construcción esta normada por la NEC (2015) pero son muy pocas las edificaciones nuevas dentro del Centro Histórico Patrimonial de Cuenca que han sido diseñadas y construidas bajo un criterio de diseño sismo resistente.

### 5.1.4 INVENTARIO DEL PATRIMONIO CULTURAL EDIFICADO

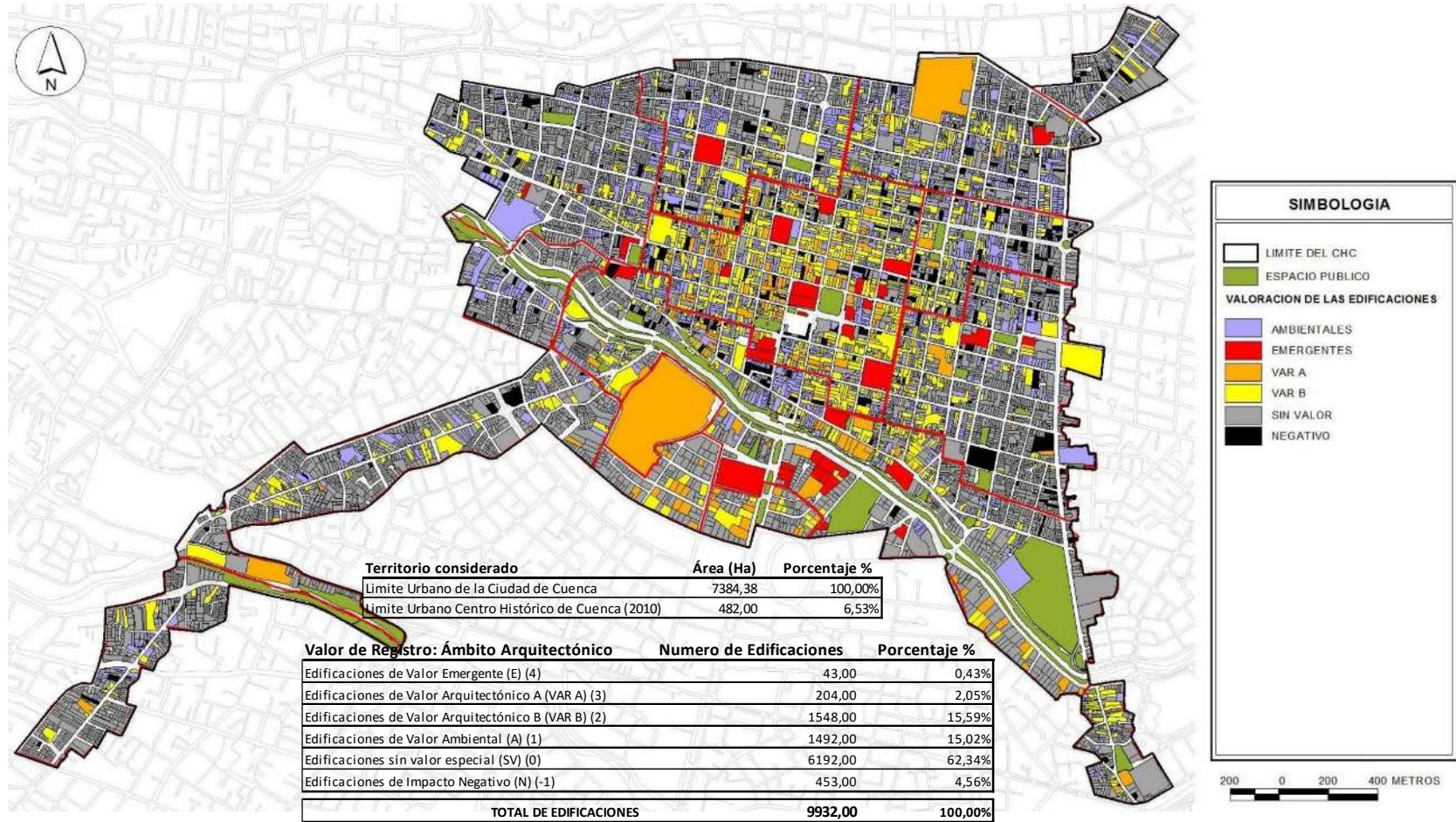


fig. 5 INVENTARIO DEL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO FUENTE: PLAN ESPECIAL DEL CENTRO HISTORICO DE CUENCA. GADMCC (2010)





## **6 EDIFICACIÓN PROPUESTA PARA EL ANÁLISIS DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA, REHABILITACION Y EVALUACIÓN DEL INDICE DE DAÑO.**

### **6.1 UBICACIÓN**

#### **6.1.1 Ubicación Geográfica:**

Ecuador – Azuay – Cuenca. Parroquia Bellavista, Calle Antonio Vega Muñoz y Antonio Borrero 13-08 esquina, (Sector Mercado 9 de Octubre).

- Posición Este (m): 722073.26
- Posición Norte (m): 9680012.11
- Altura sobre nivel del mar (m): 2540.32
- Área del predio aproximada (m<sup>2</sup>): 249.34

### **6.2 Datos municipales:**

- Clave Catastral Municipal: **0201025027000**
  - Zona: 02
  - Sector: 01
  - Manzana: 025
  - Predio: 027
- Área de construcción aproximada (m<sup>2</sup>): 792.08
- Longitud de frente (m): 30.70

### **6.3 Propietario:**

- DIRECCION DISTRITAL 01D01 PARROQUIAS URBANAS: MACHANGARA A BELLAVISTA Y PARROQUIAS RURALES: NULTI A SAYAUSI-SALUD.

### **6.4 Año de construcción:**

- No se tiene una fecha exacta de su construcción pero por el estilo presente en su fachada y materiales de construcción se estima a inicios del año de 1900.

## 6.5 Categorización de la edificación según la ordenanza Municipal

### Local:

Edificaciones de Valor Arquitectónico B (VAR B) (2):



The screenshot shows the 'Inventario Patrimonial' page on the GADMCC website. The page features a search form with the following fields:

- Clave catastral:** 0201025027000
- Categoría:** EDIFICACION DE VALOR ARQUITECTONICO B(VAR B)(2)
- Tipo Intervención:** A dropdown menu with two options: REHABILITACION ARQUITECTONICA and CONSERVACION.

The website header includes the 'cuenca ALCALDÍA' logo and navigation links: INICIO, MUNICIPIO, SERVICIOS, NOTICIAS, TRANSPARENCIA, CONTÁCTENOS, FACTURACIÓN. The main navigation bar shows 'SERVICIOS' and 'Principal » Servicios » Consultas en Línea'. A sidebar menu on the left lists various services, with 'Inventario Patrimonial' highlighted in red.

fig. 6 Captura de imagen, pagina web GADMCC.

Su rol es el de consolidar un tejido coherente con la estética de la ciudad o el área en la que se ubican y pueden estar enriquecidas por atributos históricos o de significados importantes para la comunidad local. Desde el punto de vista de su organización espacial expresan con claridad formas de vida que reflejan la cultura y el uso del espacio de la comunidad. (GADMCC., 2010)

## 6.6 Dirección:

Parroquia Bellavista, Calle Antonio Vega Muñoz y Antonio Borrero # 13-08 esquina.



*fig. 7 Ubicación y fachada de la edificación propuesta para el análisis. Elaboración propia.*



### **6.7 Descripción de la edificación:**

Es una edificación con un estilo de Arquitectura Ecléctica, en cuya fachada se puede visualizar y advertir diferentes estilos y épocas de la historia de la arquitectura cuencana, data de la época republicana, y su ubicación en el corazón del Centro histórico de la ciudad de Cuenca, que en el año 1999 fue declarado Patrimonio de la Humanidad por la Unesco, hacen de la edificación una joya arquitectónica. La casa tiene su acceso principal en la calle Borrero, está conformada por una planta baja y dos plantas altas, cuenta con 2 terrazas y una buhardilla y su cubierta principal es de teja.

### **6.8 Ocupación:**

Hasta el 8 de febrero del 2010 ante la declaratoria de emergencia por parte de los organismos correspondientes, Defensa Civil y Bomberos, se procede a evacuar la edificación en la cual se desarrollaban las actividades Administrativas, Control Sanitario y Laboratorio del Área de Salud N°2 Miraflores, pertenecientes a la Dirección Provincial De Salud del Azuay, y su uso actual está destinado a bodega en la planta baja.

### **6.9 Materiales principales utilizados en la construcción de la Edificación:**

#### **6.9.1 Fachada:**

Mampostería compuesta de ladrillo panelón unidos con mortero de cal, ancho promedio de pared 70cm.

Enlucido con mortero de cal.

Ventanas de vidrio en marcos de hierro, en planta alta.

Pasamano en balcón, hierro forjado.

Ventanas y puertas enrollables de acero, planta baja.

Puerta de acceso principal a la edificación en madera tallada.

#### **6.9.2 Área interna:**

Muros portantes de adobe ancho promedio 1.15m.

Paredes divisorias mampostería de adobe, ancho promedio 21cm



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

Tabiquería en madera, ancho promedio 7cm.

Columnas en madera no aserrada de madera no tratada.

Gradas y pasamanos en madera.

Enlucido fachada interna con mortero de cal.

Enlucido paredes internas, empañetado de adobe.

Ventanas de vidrio en marcos de madera.

Puertas de Madera.

Piso planta baja en mármol travertino y baldosa.

Piso plantas altas en duelas sobre tiras y envigado no aserrado de madera no tratada simplemente apoyada sobre el muro portante de adobe.

Piso de terraza, estructura de madera, ladrillo y chapa de mortero.

Cielo raso en madera con gravados decorativos.

Cielo raso en aluminio y placas de 0.60 x 1.20 m

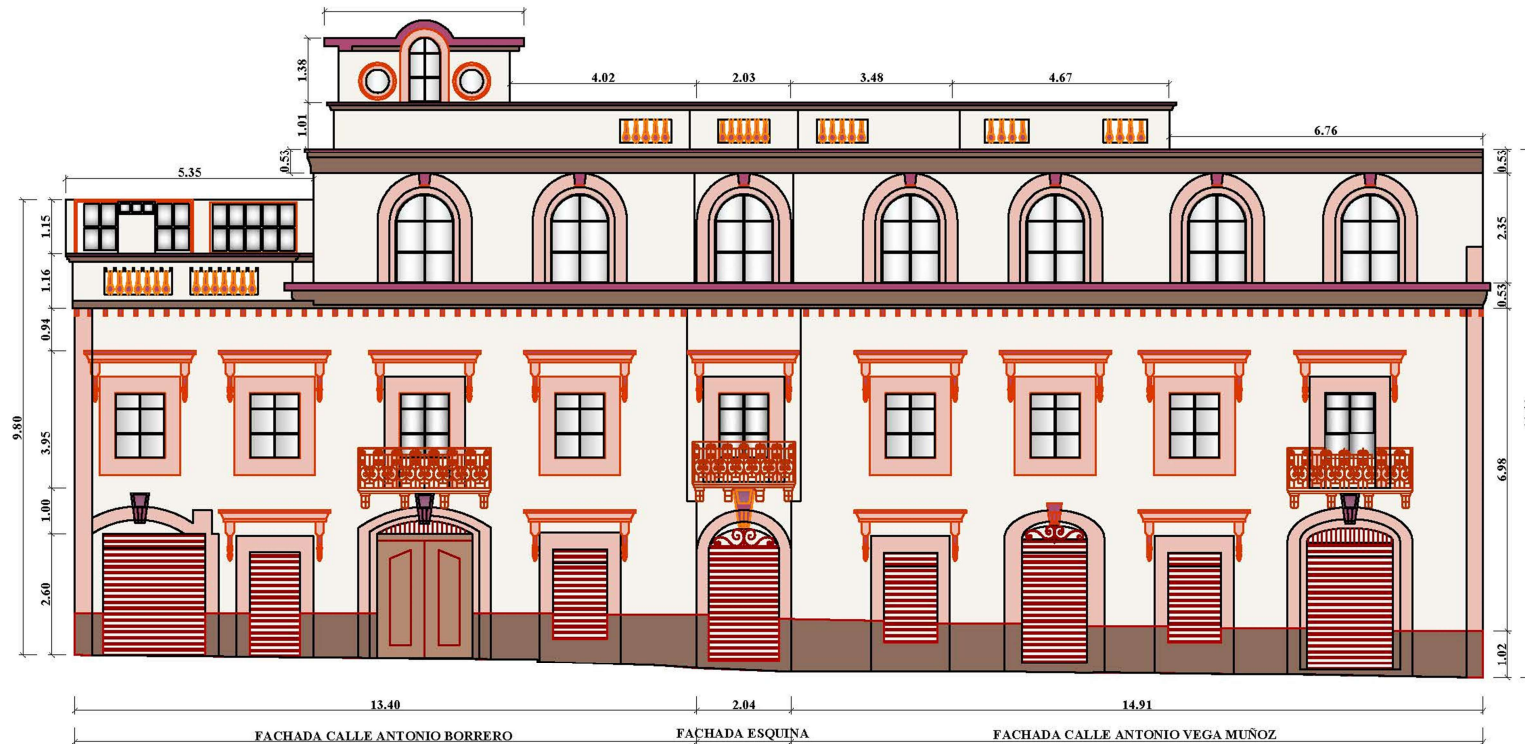
### **6.9.3 Cubierta:**

Cubierta perimetral, estructura en madera no tratada con chapa de carrizo y tejas dispuestas formando canal y tapa.

Cubierta central, estructura en hierro con vidrio y placas de fibrocemento.

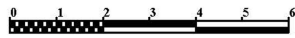


## 7 ARQUITECTURA A DETALLE EDIFICACION PATRIMONIAL: ESTILO ECLECTICO



### ARQUITECTURA A DETALLE: FACHADA

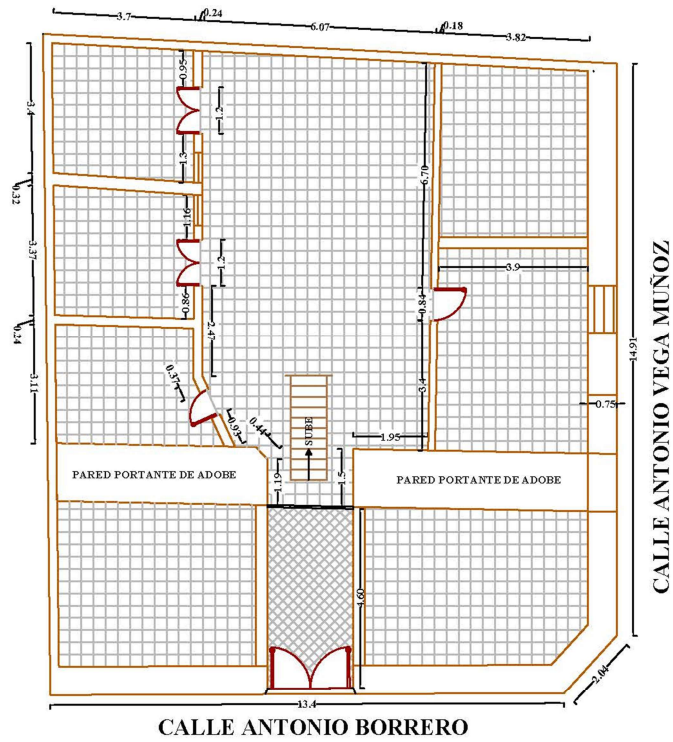
ESCALA



LEVANTAMIENTO DE INFORMACIÓN: ING PIO ARTEAGA

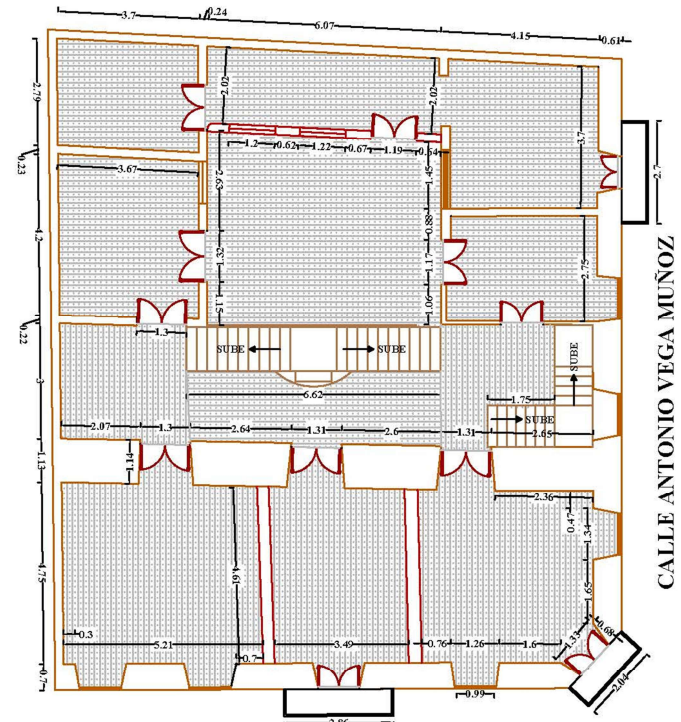
fig. 8 Arquitectura a detalle: Fachada. Elaboración propia.

### 7.1 DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA: PLANTA BAJA Y PRIMERA PLANTA ALTA



CALLE ANTONIO BORRERO

**DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA PLANTA BAJA**



CALLE ANTONIO BORRERO

**DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA PRIMERA PLANTA ALTA**

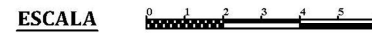
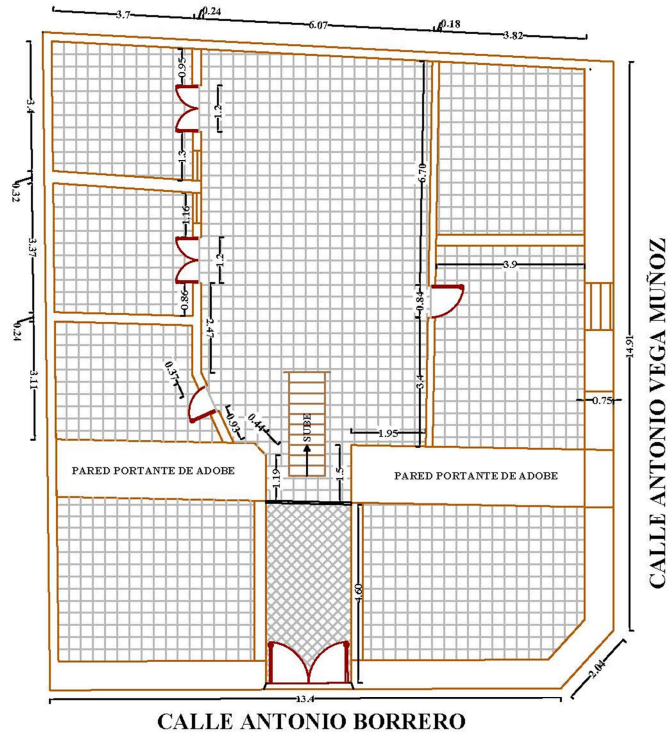
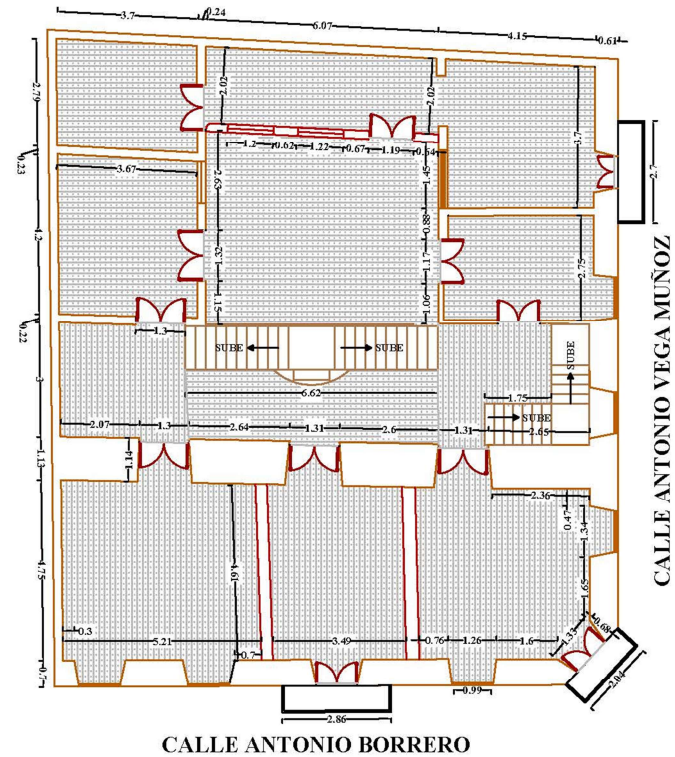


fig. 9 Arquitectura a detalle: Distribución Planta baja y primera planta alta. Elaboración propia.

### 7.2 DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA: SEGUNDA PLANTA ALTA Y BUHARDILLA



**DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA PLANTA BAJA**



**DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA PRIMERA PLANTA ALTA**

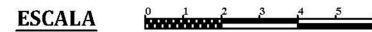


fig. 10 Arquitectura a detalle: Distribución segunda planta alta y buhardilla. Elaboración propia.



## 8 ANÁLISIS Y RESULTADOS

### 8.1 EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA METODOLOGÍA SUBJETIVA MÉTODO FEMA 154.

Modificadores presentados por (NEC, 2015) en su Guía de diseño 5 pág. 136

EVALUACIÓN VISUAL DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE LA EDIFICACIÓN															
<p>ARQUITECTURA A DETALLE: Fachada</p> <p>ESCALA</p>				<p><b>DATOS DE LA EDIFICACION:</b></p> <p>DIRECCION: Ecuador – Azuay – Cuenca. Parroquia Bellavista, Calle Antonio Vega Muñoz y Antonio Borrero 13-08 esquina</p> <p>Nombre de la edificación: S/N</p> <p>Sitio de referencia: Sector Mercado 9 de Octubre</p> <p>Tipo de Uso: Oficina /bodega Fecha de evaluación</p> <p>Año de Construcción: al rededor de 1902 Año de remodelación</p> <p>Área Construida: 792,08 m<sup>2</sup> Número de piso</p> <p>Datos de profesional: Ing. Pio Arteaga Mora</p> <p>Nombre del Evaluador Ing. Pio Arteaga Mora</p> <p>C.I 102329208</p> <p>Registro del CENESCYT 1007-03-466806</p>											
				<p>DISTRIBUCIÓN ARQUITECTÓNICA MUROS Y MAMPOSTERÍA PLANTA BAJA</p> <p>ESCALA</p>											
TIPOLOGÍA DEL SISTEMA ESTRUCTURAL															
MADERA		W1										C1			
Mampostería sin refuerzo		URM										C2			
Mampostería reforzada		RM										C3			
Mixta acero-hormigón o mixta madera-hormigón		MX										PC			
												S1			
												S2			
												S3			
												S4			
												S5			
PUNTAJE BASICO, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL S															
Tipología del sistema estructural			W1	URM	RM	MX	C1	C2	C3	PC	S1	S2	S3	S4	S5
PUNTAJE BASICO			4,40	1,80	2,80	1,80	2,50	2,80	1,60	2,40	2,60	3,00	2,00	2,80	2,00
ALTURA DE LA EDIFICACION															
baja altura (menor a 4 pisos)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
mediana altura (4 a 7 pisos)			N/A	N/A	0,40	0,20	0,40	0,40	0,20	0,20	0,20	4,00	N/A	0,40	0,40
gran altura (mayor a 7 pisos)			N/A	N/A	N/A	0,30	0,60	0,80	0,30	0,40	0,60	0,80	N/A	0,80	0,80
IRREGULARIDAD DE LA EDIFICACION															
Irregularidad vertical			-2,50	-1,00	-1,00	-1,50	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00	-1,00
Irregularidad en planta			-0,05	-0,50	-0,50	-1,00	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50	-0,50
CODIGO DE LA CONSTRUCCIÓN															
Pre-código moderno (construido antes de 1977) o auto construcción			-	-0,20	-1,00	-1,20	-1,20	-1,00	-0,20	-0,80	-1,00	-0,80	-0,80	-0,80	-0,20
Construido en etapa de transición (desde 1977 pero antes de 2001)			-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
Post código moderno (construido a partir de 2001)			1,00	N/A	2,80	1,00	1,40	2,40	1,40	1,00	1,40	1,40	1,00	1,60	1,00
SUELO															
Tipo de suelo C			-	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40	-0,40
Tipo de suelo D			-	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60	-0,60
Tipo de suelo E			-	-0,80	-0,40	-1,20	-1,20	-0,80	-0,80	-1,20	-1,20	-1,20	-1,20	-1,20	-0,80
PUNTAJE FINAL, S				-0,50											
GRADO DE VULNERABILIDAD SISMICA															
S menor a 2,0 (S < 2)		Alta vulnerabilidad, requiere evaluación especial											X		
S entre 2,0 y 2,5 (2 ≤ S ≤ 2,5)		Media vulnerabilidad													
S mayor a 2,5 (S > 2,5)		Baja vulnerabilidad													
											firma responsable de evaluación				

Tabla 13 Resultado: Vulnerabilidad sísmica alta, Requiere de una evaluación especial.

## Valoración de la Irregularidad de la edificación

### Irregularidad vertical:

<p><b>Irregularidad geométrica:</b></p>		<p>la edificación es 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, excepto en el caso de los altillos de un solo piso (<math>a &gt; 1.3b</math>)</p>	X
<p><b>Irregularidad por ubicación:</b></p>	<p style="font-size: small;">Figura 130 Irregularidad vertical: Irregularidad por ubicación</p>	<p>si la edificación se encuentra en una colina empinada, tal que a lo largo de la pendiente exista al menos un piso de altura.</p>	
<p><b>Piso débil:</b></p>		<p>si la rigidez de un piso es drásticamente menor que la mayoría de los demás pisos. Disminución en mampostería portante o muros estructurales.</p>	
<p><b>Columna corta o larga:</b></p>		<p>si la edificación presenta columnas cortas o demasiado largas (comúnmente en mazzanines).</p>	
<p><b>Ejes verticales discontinuos o muros soportados por columnas:</b></p>		<p>la estructura de la edificación es irregular cuando existen desplazamientos en el alineamiento de elementos verticales y estos desplazamientos son más grandes que la dimensión horizontal del elemento.</p>	
<p><b>Distribución de masa:</b></p>	<p style="font-size: small;"><math>m_{i+1} &gt; 1.50 m_i</math> ó <math>m_{i+1} &gt; 1.50 m_{i-1}</math></p>	<p>la estructura de la edificación es 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><b>Piso flexible</b></p>	<p style="font-size: small;">Rigidez <math>&lt; 0.70</math> Rigidez <math>&lt; 0.80</math></p>	<p>la estructura de la edificación es irregular cuando la rigidez lateral de un piso es menor que el 70% de la rigidez lateral del piso superior o menos que el 80% del promedio de la rigidez lateral de los tres pisos superiores</p>	
<p><b>Adiciones</b></p>		<p>la estructura de la edificación es irregular cuando existen adiciones, fuera del diseño original, de un piso o más.</p>	X



### Irregularidad en planta

<p><b>Forma</b></p>		<p>la estructura de la edificación es irregular cuando su configuración en planta presenta las formas L, T, I, U, E, o forma de cruz, sin juntas de construcción.</p> <p>Figura</p>	X
<p><b>Discontinuidades en el sistema de piso:</b></p>	<p style="font-size: small;">A) <math>(O_1 + O_2) &gt; 0.5A_{piso}</math> B) <math>(O_1 + O_2) &gt; 0.5A_{piso}</math></p>	<p>la estructura de la edificación es irregular cuando el sistema de piso tiene discontinuidades apreciables o variaciones significativas en su rigidez, causadas por aberturas, entrantes o huecos con áreas mayores al 50% del área total del piso</p>	X
<p><b>Ejes estructurales no paralelos:</b></p>	<p style="font-size: small;">Sistemas no paralelos PLANTA</p>	<p>la estructura de la edificación es irregular cuando los ejes estructurales no son paralelos o simétricos con respecto a los ejes ortogonales principales de la estructura.</p>	
<p><b>Torsional</b></p>		<p>la estructura de la edificación es irregular cuando presenta buena resistencia lateral en una dirección pero en la otra no o si existe rigidez excéntrica en planta; o cuando su centro de rigidez no coincide con su centro de masa</p>	X
<p><b>Adiciones:</b></p>		<p>la estructura de la edificación es irregular cuando existen adiciones, fuera del diseño original, sin su respectiva junta de construcción.</p>	

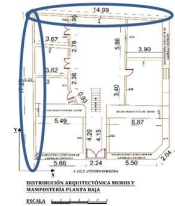
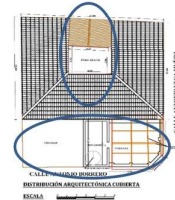


Tabla 14 Irregularidad vertical e irregularidad en planta, Análisis método FEMA – NEC (2015)

## 8.2 EVALUACION Y ANALISIS DEL INDICE DE DAÑO:

### Metodología Propuesta por Hurtado y Cardona (Cardona & Hurtado, 1990)

- Plano en planta, muros portantes y sistema de coordenadas ortogonales

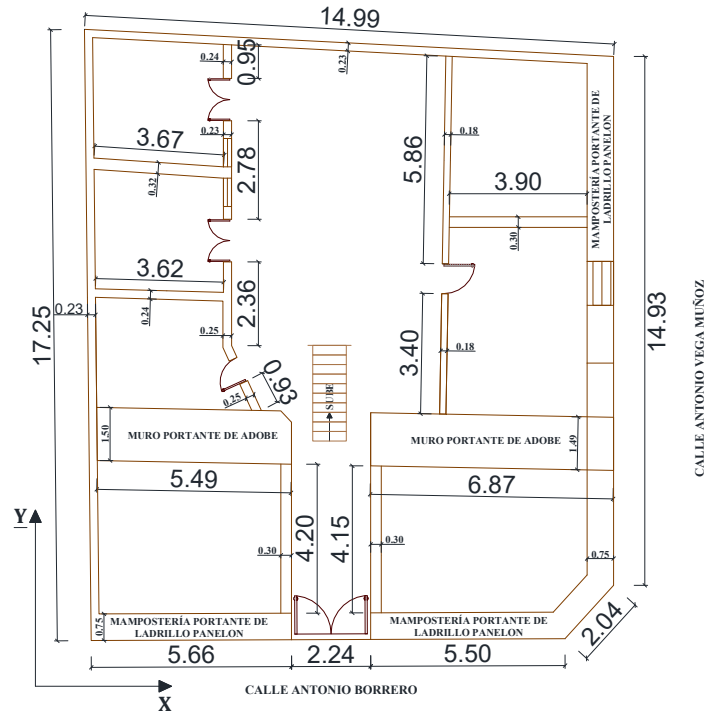


fig. 11 Plano: Vista en planta muros portantes de la edificación en estudio. Fuente elaboración propia

Determinar la longitud de los muros.

$$L_x=49.70\text{m}; L_y=58.85$$

Determinar la resistencia a cortante menos favorable, considerando la menor longitud de muros en un plano en el primer piso de la edificación. La resistencia cortante se calcula como:

Longitud (m) total muro eje X	(L)	49,70
Longitud (m) total muro eje Y	(L)	58,85
Resistencia al efecto cortante en la mampostería sin confinar (v)	(v)	7,50
Tn/m <sup>2</sup>		
Espesor (m) promedio muro eje X	(e)	0,70
Espesor (m) promedio muro eje Y	(e)	0,33
Peso Global de la Edificación (Tn)	(W)	1.373,38

$$VR = (L) \times (e) \times (v)$$

$$\begin{aligned} \text{Cortante resistente de muros en la dirección} & \quad VR_x (Tn) = 259,99 \\ \text{Cortante resistente de muros en la dirección} & \quad VR_y (Tn) = 146,86 \end{aligned}$$

$$\text{Valor mas desfavorable (valor mas bajo):} \quad VR_y (Tn) = 146,86$$



**Cálculo el peso de la edificación que es resistido por la estructura (W).**

**MUROS Y MAMPOSTERIA; peso de muros por ejes**

Elemento	Longitud de muro eje X (m)	Espesor (m)	Espesor promedio de muros (m)	Altura planta baja (m)	Altura primera planta alta (m)	Altura segunda planta (m)	Área de muro (m2)	Volumen de muro (m3)	Peso de mampostería		
									Mampostería de adobe (Tn/m3)	Mampostería ladrillo (Tn/m3)	Peso de mampostería (Tn)
Mampostería ladrillo panelón	5,66	0,75	0,70	4,11	3,96	3,34	4,25	48,44		1,75	84,76
Mampostería ladrillo panelón	5,5	0,75		4,11	3,96	3,34	4,13	47,07		1,75	82,37
Muro portante de Adobe	5,49	1,5		4,11	3,96	3,34	8,24	93,96	1,87		175,71
Muro portante de Adobe	6,87	1,49		4,11	3,96	3,34	10,24	116,80	1,87		218,41
Muro portante de Adobe	3,62	0,24		4,11	3,96	3,34	0,87	9,91	1,87		18,54
Muro portante de Adobe	3,9	0,3		4,11	3,96	3,34	1,17	13,35	1,87		24,96
Muro portante de Adobe	3,67	0,32		4,11	3,96	3,34	1,17	13,40	1,87		25,06
Muro portante de Adobe	14,99	0,23		4,11	3,96	3,34	3,45	39,34	1,87		73,56
Longitud (m) total muro eje X		49,7		Área (m2) total muro eje X		33,50		Peso (Tn) total muro eje X		703,37	

Elemento	Longitud de muro eje Y (m)	Espesor (m)	Espesor promedio de muros (m)	Altura planta baja (m)	Altura primera planta alta (m)	Altura segunda planta (m)	Área de muro (m2)	Volumen de muro (m3)	Peso de mampostería		
									Mampostería de adobe (Tn/m3)	Mampostería ladrillo (Tn/m3)	Peso de mampostería (Tn)
Muro portante de Adobe	17,25	0,23	0,33	4,11	3,96	3,34	3,97	45,27	1,87		84,65
Muro portante de Adobe	0,95	0,24		4,11	3,96	3,34	0,23	2,60	1,87		4,86
Muro portante de Adobe	2,78	0,23		4,11	3,96	3,34	0,64	7,30	1,87		13,64
Muro portante de Adobe	2,36	0,25		4,11	3,96	3,34	0,59	6,73	1,87		12,59
Muro portante de Adobe	0,93	0,25		4,11	3,96	3,34	0,23	2,65	1,87		4,96
Muro portante de Adobe	4,2	0,3		4,11	3,96	3,34	1,26	14,38	1,87		26,88
Muro portante de Adobe	4,15	0,3		4,11	3,96	3,34	1,25	14,21	1,87		26,56
Muro portante de Adobe	3,4	0,18		4,11	3,96	3,34	0,61	6,98	1,87		13,06
Muro portante de Adobe	5,86	0,18		4,11	3,96	3,34	1,05	12,04	1,87		22,51
Mampostería ladrillo panelón	2,04	0,75		4,11	3,96	3,34	1,53	17,46		1,75	30,55
Mampostería ladrillo panelón	14,93	0,75		4,11	3,96	3,34	11,20	127,76		1,75	223,59
Longitud (m) total muro eje Y		58,85		Área (m2) total muro eje Y		22,56		Peso (Tn) total muro eje Y		463,86	



**Peso de Carga Muerta**

Descripción	Material	Área (m2)	Peso (Tn/m2)	Peso de Estructura
Primera Planta alta	Piso plantas altas en duelas sobre tiras y envigado no aserrado de madera no tratada.	249,34	0,12	29,92
Segunda Planta alta	Piso plantas altas en duelas sobre tiras y envigado no aserrado de madera no tratada.	235,32	0,12	28,24
Cubierta	Cubierta perimetral, estructura en madera no tratada con chapa de carrizo y tejas dispuestas formando canal y tapa.	155,28	0,1	15,53
Terraza	Piso de terraza, estructura de madera, ladrillo y chapa de mortero.	80,04	0,15	12,01

**Peso de Carga Viva**

Descripción	Material	Área (m2)	Peso (Tn/m2) *	Peso de Estructura
Primera Planta alta	Residencia	249,34	0,2	49,87
Segunda Planta alta	Residencia	235,32	0,2	47,06
Cubierta	Cubierta	155,28	0,1	15,53
Terraza	Cubierta	80,04	0,1	8,00

\* NEC(2015) Guia de Diseño 5 pág.101

**Peso total de la Edificacion 206,16 (Tn/m2)**

Peso Total de la Edificación		
Estructura	Peso (Tn)	Peso global (Tn)
Muros y mampostería	1167,23	<b>1373,38</b>
Peso carga viva mas carga muerta	206,16	



### Calculo del coeficiente sísmico resistente (CSR).

$$CSR = (VR) / (W)$$

Longitud (m) total muro eje X	( L )	49,70
Longitud (m) total muro eje Y	( L )	58,85
Resistencia al efecto cortante en la mampostería sin confinar (v)	( v )	7,50
Tn/m <sup>2</sup>		
Espesor (m) promedio muro eje X	( e )	0,70
Espesor (m) promedio muro eje Y	( e )	0,33
Peso Global de la Edificación (Tn)	( W )	1.373,38

$$VR = (L) \times (e) \times (v)$$

Cortante resistente de muros en la dirección	VRx (Tn) =	259,99
Cortante resistente de muros en la dirección	VRy (Tn) =	146,86

Valor mas desfavorable (valor mas bajo): **VRy (Tn) = 146,86**

$$CSR = 0,11$$

### Calculo del coeficiente sísmico exigido CSE.

$$S_a = \eta Z F_a$$

La (NEC, 2015) en su capítulo de PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE pág. 33 establece: *las componentes horizontales de la carga sísmica: espectros elásticos de diseño*

*El espectro de respuesta elástico de aceleraciones S<sub>a</sub>, expresado como fracción de la aceleración de la gravedad, para el nivel del sismo de diseño, consistente con:*

- El factor de zona sísmica Z,
- El tipo de suelo del sitio de emplazamiento de la estructura,
- La consideración de los valores de los coeficientes de amplificación de suelo F<sub>a</sub>, F<sub>d</sub>, F<sub>s</sub>

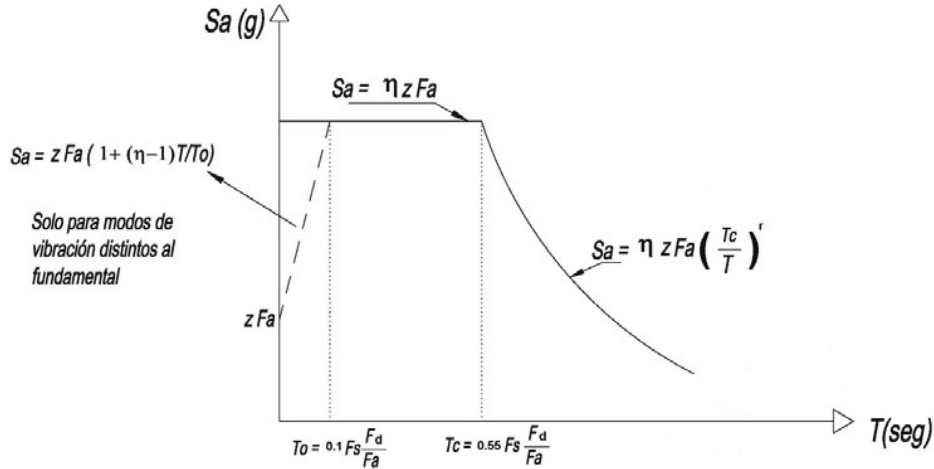


fig. 12 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. Fuente (NEC, 2015)

Dónde:

$\eta$	Razón entre la aceleración espectral $S_a$ ( $T = 0.1$ s) y el PGA para el período de retorno seleccionado.
$F_a$	Coefficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de aceleraciones para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
$F_d$	Coefficiente de amplificación de suelo. Amplifica las ordenadas del espectro elástico de respuesta de desplazamientos para diseño en roca, considerando los efectos de sitio
$F_s$	Coefficiente de amplificación de suelo. Considera el comportamiento no lineal de los suelos, la degradación del período del sitio que depende de la intensidad y contenido de frecuencia de la excitación sísmica y los desplazamientos relativos del suelo, para los espectros de aceleraciones y desplazamientos
$S_a$	Espectro de respuesta elástico de aceleraciones (expresado como fracción de la aceleración de la gravedad $g$ ). Depende del período o modo de vibración de la estructura
$T$	Período fundamental de vibración de la estructura
$T_0$	Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
$T_c$	Período límite de vibración en el espectro sísmico elástico de aceleraciones que representa el sismo de diseño
$Z$	Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad $g$

$\eta$  ( $S_a/Z$ , en roca), que varían dependiendo de la región del Ecuador, adoptando los siguientes valores:

- $\eta = 1.80$  : Provincias de la Costa ( excepto Esmeraldas),
- $\eta = 2.48$  : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos
- $\eta = 2.60$  : Provincias del Oriente

$F_a$ : Coeficiente de amplificación de suelo en la zona de período corto.



Valores del coeficiente  $F_a$  que amplifica las ordenadas del espectro de respuesta elástico de aceleraciones para diseño en roca, tomando en cuenta los efectos de sitio.

Tipo de perfil del subsuelo	Zona sísmica y factor Z					
	I	II	III	IV	V	VI
	0.15	0.25	0.30	0.35	0.40	$\geq 0.5$
A	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9
B	1	1	1	1	1	1
C	1.4	1.3	1.25	1.23	1.2	1.18
D	1.6	1.4	1.3	1.25	1.2	1.12
E	1.8	1.4	1.25	1.1	1.0	0.85
F	Véase <a href="#">Tabla 2</a> : Clasificación de los perfiles de suelo y la sección <a href="#">10.5.4</a>					

Tabla 15 Tipo de suelo y Factores de sitio  $F_a$ , Fuente (NEC, 2015)

*Tipos de perfiles de suelos para el diseño sísmico: Se definen seis tipos de perfil de suelo los cuales se presentan en la tabla siguiente.*

*Los parámetros utilizados en la clasificación son los correspondientes a los 30 m superiores del perfil para los perfiles tipo A, B, C, D y E. Aquellos perfiles que tengan estratos claramente diferenciables deben subdividirse, asignándoles un subíndice  $i$  que va desde 1 en la superficie, hasta  $n$  en la parte inferior de los 30 m superiores del perfil.*

Tipo de perfil	Descripción	Definición
A	Perfil de roca competente	$V_s \geq 1500$ m/s
B	Perfil de roca de rigidez media	$1500$ m/s $> V_s \geq 760$ m/s
C	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$760$ m/s $> V_s \geq 360$ m/s



Tipo de perfil	Descripción	Definición
	Perfiles de suelos muy densos o roca blanda, que cumplan con cualquiera de los dos criterios	$N \geq 50.0$ $S_u \geq 100 \text{ kPa}$
D	Perfiles de suelos rígidos que cumplan con el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$360 \text{ m/s} > V_s \geq 180 \text{ m/s}$
	Perfiles de suelos rígidos que cumplan cualquiera de las dos condiciones	$50 > N \geq 15.0$ $100 \text{ kPa} > S_u \geq 50 \text{ kPa}$
E	Perfil que cumpla el criterio de velocidad de la onda de cortante, o	$V_s < 180 \text{ m/s}$
	Perfil que contiene un espesor total H mayor de 3 m de arcillas blandas	$IP > 20$ $w \geq 40\%$ $S_u < 50 \text{ kPa}$
F	Los perfiles de suelo tipo F requieren una evaluación realizada explícitamente en el sitio por un ingeniero geotecnista. Se contemplan las siguientes subclases:	
	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 $\alpha$ 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.		

Tabla 16 Clasificación de los perfiles de suelo, Fuente (NEC, 2015)

### 10.2. Poblaciones ecuatorianas y valor del factor Z

POBLACIÓN	PARROQUIA	CANTÓN	PROVINCIA	Z
CUENCA	CUENCA	CUENCA	AZUAY	0.25
CHORDELEG	CHORDELEG	CHORDELEG	AZUAY	0.25

Tabla 17 Captura da pantalla factor Z para la ciudad de Cuenca, Fuente (NEC, 2015)



$$S_a = \eta Z F_a$$

$\eta = 2.48$  : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos

$Z = 0.25$  : (Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g)

$F_a = 1.3$  (Coeficiente de amplificación de suelo tipo C, para 0,25g)

$F_a = 1.4$  (Coeficiente de amplificación de suelo tipo C, para 0,15g )

$F_a = 1.2$  (Coeficiente de amplificación de suelo tipo C, para 0,40g)

En función de la escala Intensidad / Aceleración; extraemos valores de Z, para intensidades menores y superiores a la aceleración de diseño

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2012)

Para una Intensidad de IV (ligero)	Z=	0,028 g
Para una Intensidad de V (moderado)	Z=	0,062 g
Para el sismo de diseño (esta alrededor de VI)	Z=	0,25 g
Para una Intensidad de VIII (severo)	Z=	0,4 g

$$S_a = (2.48) ( Z ) ( F_a )$$

Coeficiente sísmico exigido para Z = 0,028 g	CSE=	<b>0,10</b>
Coeficiente sísmico exigido para Z = 0,062 g	CSE=	<b>0,22</b>
Coeficiente sísmico exigido para Z = 0,25 g	CSE=	<b>0,81</b>
Coeficiente sísmico exigido para Z = 0,40 g	CSE=	<b>1,19</b>

**Calculo de la de la demanda de ductilidad DD.**

**Coeficiente sísmico exigido CSE.**

**Coeficiente sísmico resistente CSR.**

El valor de la demanda de ductilidad se calcula como:

$$DD = CSE / CSR$$

Demanda de ductilidad (DD) para Z = 0,028 g	DD=	<b>0,91</b>
Demanda de ductilidad (DD) para Z = 0,062 g	DD=	<b>2,01</b>
Demanda de ductilidad (DD) para Z = 0,25 g	DD=	<b>7,54</b>
Demanda de ductilidad (DD) para Z = 0,40 g	DD=	<b>11,13</b>



**CD Capacidad de Ductilidad de 1.0 para mampostería no confinada**

Categoría y estado de daños	Criterio con relación al valor de la demanda de ductilidad (DD)	Efectos en la estructura para cada categoría de daño
1. Ninguno	$DD < 0.50$	1. Sin daños.
2. Menores	$0.50 < DD < 0.75$	2. Daños menores en elementos arquitectónicos.
3. Moderados	$0.75 < DD < 1.00$	3. Daño generalizados en los elementos arquitectónicos y daños menores en los elementos estructurales.
4. Mayores	$1.00 < DD < 1.50$	4. Daños generalizados en los elementos estructurales y arquitectónicos.
5. Totales	$1.50 < DD < 2.00$	5. Daños en la estructura no reparables, por lo tanto la edificación debe ser demolida y reemplazada.
6. Colapso	$2.00 < DD$	6. Edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.

**Determinación de la categoría de daño sísmico.**

<b>Categoría y estado de daños para <math>Z= 0,028\text{ g}</math> MODERADOS <math>DD=0,91</math></b>	Daño generalizados en los elementos arquitectónicos y daños menores en los elementos estructurales.
<b>Categoría y estado de daños para <math>Z= 0,062\text{ g}</math> TOTALES <math>DD=2,01</math></b>	Daños en la estructura no reparables, por lo tanto la edificación debe ser demolida y reemplazada.
<b>Categoría y estado de daños para <math>Z= 0,25\text{ g}</math> COLAPSO <math>DD=7,54</math></b>	edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.
<b>Categoría y estado de daños para <math>Z= 0,40\text{ g}</math> COLAPSO <math>DD=11,13</math></b>	edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.

Se precisa mediante este método que la estructura sufre daños moderados a una PGA de 0.028g cuya intensidad de sismo es catalogada como ligero, para el sismo de diseño se advierte el colapso total de la edificación.



## **9 REHABILITACIÓN ESTRUCTURAL DE LA EDIFICACIÓN.**

### **9.1 GENERALIDADES**

Ante la certificación subjetiva, del colapso de la estructura para el sismo de diseño, preocupa sobre manera el diagnóstico actual de esta edificación Patrimonial, se puede inferir que la falla de la estructura portante será frágil consecuencia directa de la incipiente capacidad del adobe a deformarse.

*“Las construcciones de tierra disipan energía por sus fisuras, su capacidad de deformación es poca por lo que su fortaleza radica en la masa, en el peso propio, asociados a sus propiedades geométricas”. (Bolaños & Valdenebro, 2016, págs. 2-3)*

Es sobre esta masa o volumen de adobe, que se proponen medidas de rehabilitación estructural, medidas que garanticen la integridad de la vida y el patrimonio edificado, ante la presencia de un movimiento sísmico.

### **9.2 ALTERNATIVAS DE REHABILITACIÓN SISMICA**

#### **9.2.1 Alternativas de reforzamiento de muros**

##### **9.2.2 Refuerzo con mallas:**

Este tipo de refuerzo está concebido en primera instancia para proteger al adobe presente en fachadas o paredes laterales exteriores, ante las inclemencias tiempo y procura así la integridad estructural del elemento portante confinándolo.

Este método de refuerzo consiste en la instalación de mallas “nervo metales” en la cara del muro o pared portante, su fijación se la realiza con ganchos “j” cada 0.20 m en los dos sentidos, es decir la sujeción se procura en dirección horizontal y en la dirección vertical, de ser el caso y si el muro o paredes de adobe lo permite se pueden instalar las mallas en las dos caras de la estructura y la sujeción se la realizara de manera conjunta mediante alambre recocado de hierro que atravesara la estructura, esta amarras irán alternadas con los ganchos “j” cada 0.20 m. El relleno o enlucido se lo realizara con mortero de cal y un aditivo impermeabilizante.



fig. 13 Rehabilitación Arquitectónica Estructural: refuerzo con mallas.

### 9.2.3 Refuerzo con maderas de confinamiento:

El Adobe como material de construcción ante un evento sísmico producirá una falla frágil debido a su nula ductilidad, para aumentar esta propiedad se adiciona elementos de madera conectados de tal manera que la estructura portante trabaje de manera combinada adobe – madera, para que en el caso de ocurrencia de un evento sísmico la estructura no produzca una falla frágil sino cambie su estado a una falla dúctil.

Estos elementos se instalaran de manera vertical y horizontal dispuestos cada 50 cm y serán unidos entre sí con pernos y tuerca de 10mm, para la instalación de ser posible se recomienda para que el elemento de madera quede embebido en el adobe realizar rebajes del ancho de la madera a instalar, las uniones en angulo se la realiza con platinas de hierro y tornillo auto perforantes, estableciendo una confinación del adobe formando un “exoesqueleto” en madera.

Este método de rehabilitación no afecta el carácter de originalidad de las edificaciones patrimoniales y más bien retardar el colapso de estos sistemas estructurales ante la acción de fuerzas sísmicas.

Este método por sencillo que parezca ante su aplicación según las conclusiones planteadas por (Yamín Lacouture L. , Phillips Bernal, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007) evidencia un incremento en su resistencia de hasta un 270% y la capacidad de deformación en el rango elástico se amplifica en 4.4 veces su valor original.

Este tipo de reforzamiento está normado en el “Manual para la rehabilitación de viviendas construidas en adobe y tapia pisada” emitido por la AIS Asociación Colombiana De Ingeniería Sísmica

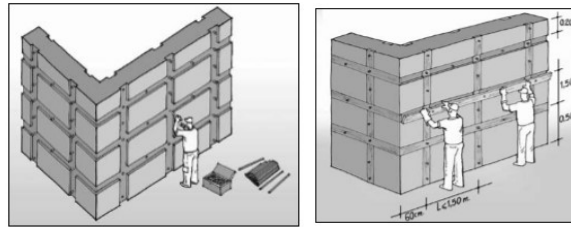


fig. 14 (Yamín Lacouture L. E., Phillips Bernal, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007) Proceso de instalación de refuerzo con maderas de confinamiento



## 10 EVALUACION Y ANALISIS DEL INDICE DE DAÑO ESTRUCTURA REHABILITADA:

### Metodología Propuesta por Hurtado y Cardona (Cardona & Hurtado, 1990)

MUROS Y MAMPOSTERIA; peso de muros por ejes

Elemento	Longitud de muro eje X (m)	Espesor (m)	Espesor promedio de muros (m)	Altura planta baja (m)	Altura primera planta alta (m)	Altura segunda planta (m)	Área de muro (m <sup>2</sup> )	Volumen de muro (m <sup>3</sup> )	Peso de mampostería		
									Mampostería de adobe (Tn/m <sup>3</sup> )	Mampostería ladrillo (Tn/m <sup>3</sup> )	Peso de mampostería (Tn)
Mampostería ladrillo panelón	5,66	0,75	0,70	4,11	3,96	3,34	4,25	48,44		1,75	84,76
Mampostería ladrillo panelón	5,5	0,75		4,11	3,96	3,34	4,13	47,07		1,75	82,37
Muro portante de Adobe	5,49	1,5		4,11	3,96	3,34	8,24	93,96	2,05		192,62
Muro portante de Adobe	6,87	1,49		4,11	3,96	3,34	10,24	116,80	2,05		239,43
Muro portante de Adobe	3,62	0,24		4,11	3,96	3,34	0,87	9,91	2,05		20,32
Muro portante de Adobe	3,9	0,3		4,11	3,96	3,34	1,17	13,35	2,05		27,37
Muro portante de Adobe	3,67	0,32		4,11	3,96	3,34	1,17	13,40	2,05		27,47
Muro portante de Adobe	14,99	0,23		4,11	3,96	3,34	3,45	39,34	2,05		80,64
Longitud (m) total muro eje X		49,7		Área (m <sup>2</sup> ) total muro eje X		33,50		Peso (Tn) total muro eje X		754,98	
Elemento	Longitud de muro eje Y (m)	Espesor (m)	Espesor promedio de muros (m)	Altura planta baja (m)	Altura primera planta alta (m)	Altura segunda planta (m)	Área de muro (m <sup>2</sup> )	Volumen de muro (m <sup>3</sup> )	Peso de mampostería		
									Mampostería de adobe (Tn/m <sup>3</sup> )	Mampostería ladrillo (Tn/m <sup>3</sup> )	Peso de mampostería (Tn)
Muro portante de Adobe	17,25	0,23	0,33	4,11	3,96	3,34	3,97	45,27	2,05		92,80
Muro portante de Adobe	0,95	0,24		4,11	3,96	3,34	0,23	2,60	2,05		5,33
Muro portante de Adobe	2,78	0,23		4,11	3,96	3,34	0,64	7,30	2,05		14,96
Muro portante de Adobe	2,36	0,25		4,11	3,96	3,34	0,59	6,73	2,05		13,80
Muro portante de Adobe	0,93	0,25		4,11	3,96	3,34	0,23	2,65	2,05		5,44
Muro portante de Adobe	4,2	0,3		4,11	3,96	3,34	1,26	14,38	2,05		29,47
Muro portante de Adobe	4,15	0,3		4,11	3,96	3,34	1,25	14,21	2,05		29,12
Muro portante de Adobe	3,4	0,18		4,11	3,96	3,34	0,61	6,98	2,05		14,31
Muro portante de Adobe	5,86	0,18		4,11	3,96	3,34	1,05	12,04	2,05		24,67
Mampostería ladrillo panelón	2,04	0,75		4,11	3,96	3,34	1,53	17,46		1,75	30,55
Mampostería ladrillo panelón	14,93	0,75		4,11	3,96	3,34	11,20	127,76		1,75	223,59
Longitud (m) total muro eje Y		58,85	Área (m <sup>2</sup> ) total muro eje Y		22,56		Peso (Tn) total muro eje Y		484,05		



UNIVERSIDAD DE CUENCA

Descripción	Material	Área (m2)	Peso (Tn/m2)	Peso de Estructura
Primera Planta alta	Piso plantas altas en duelas sobre tiras y envigado no aserrado de madera no tratada.	249,34	0,12	29,92
Segunda Planta alta	Piso plantas altas en duelas sobre tiras y envigado no aserrado de madera no tratada.	235,32	0,12	28,24
Cubierta	Cubierta perimetral, estructura en madera no tratada con chapa de carrizo y tejas dispuestas formando canal y tapa.	155,28	0,1	15,53
Terraza	Piso de terraza, estructura de madera, ladrillo y chapa de mortero.	80,04	0,15	12,01

Peso de Carga Viva

Descripción	Material	Área (m2)	Peso (Tn/m2) *	Peso de Estructura
Primera Planta alta	Residencia	249,34	0,2	49,87
Segunda Planta alta	Residencia	235,32	0,2	47,06
Cubierta	Cubierta	155,28	0,1	15,53
Terraza	Cubierta	80,04	0,1	8,00

\* NEC(2015) Guia de Diseño 5 pág.101

Peso total de la Edificación **206,16 (Tn/m2)**

Peso Total de la Edificación		
Estructura	Peso (Tn)	Peso global (Tn)
Muros y mampostería	1239,03	<b>1239,03</b>
Peso carga viva mas carga muerta	0,00	





**Calculo del coeficiente sísmico resistente (CSR).**

**CSR= (VR) / (W)**

Longitud (m) total muro eje X	( L )	49,70
Longitud (m) total muro eje Y	( L )	58,85
Resistencia al efecto cortante en la mampostería confinada (v)	( v )	15,00
Tn/m <sup>2</sup>		
Espesor (m) promedio muro eje X	( e )	0,70
Espesor (m) promedio muro eje Y	( e )	0,33
Peso Global de la Edificación (Tn)	( W )	1.239,03

**VR = (L) x (e) x (v)**

Cortante resistente de muros en la dirección x VRx (Tn) = 519,99  
 Cortante resistente de muros en la dirección y VRy (Tn) = 293,72

Valor mas desfavorable (valor mas bajo): **VRy (Tn) = 293,72**

**CSR= 0,237052571**

**Calculo del coeficiente sísmico exigido CSE.**

**S<sub>a</sub>=ηZF<sub>a</sub>**

η= 2.48 : Provincias de la Sierra, Esmeraldas y Galápagos  
 Z= 0.25 :(Aceleración máxima en roca esperada para el sismo de diseño, expresada como fracción de la aceleración de la gravedad g)  
 F<sub>a</sub>=1,3 (Coeficiente de amplificación de suelo tipo C, para 0,25g)  
 F<sub>a</sub>=1,4 (Coeficiente de amplificación de suelo tipo C, para 0,15g )  
 F<sub>a</sub>=1,2 (Coeficiente de amplificación de suelo tipo C, para 0,40g)

En función de la escala Intensidad / Aceleración; extraemos valores de Z, para intensidades menores y superiores a la aceleración de diseño

PERCEIVED SHAKING	Not felt	Weak	Light	Moderate	Strong	Very strong	Severe	Violent	Extreme
POTENTIAL DAMAGE	none	none	none	Very light	Light	Moderate	Mod./Heavy	Heavy	Very Heavy
PEAK ACC.(%g)	<0.05	0.3	2.8	6.2	12	22	40	75	>139
PEAK VEL.(cm/s)	<0.02	0.1	1.4	4.7	9.6	20	41	86	>178
INSTRUMENTAL INTENSITY	I	II-III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X+

Scale based upon Worden et al. (2012)

Para una Intensidad de IV (ligero) Z= 0,028 g  
 Para una Intensidad de V (moderado) Z= 0,062 g  
 Para el sismo de diseño (esta alrededor de VII ) Z= 0,25 g  
 Para una Intensidad de VIII (severo) Z= 0,4 g



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

### $S_a = (2.48) (Z) (1)$

Coefficiente sísmico exigido para $Z = 0,028$ g	<b>CSE=</b>	<b>0,10</b>
Coefficiente sísmico exigido para $Z = 0,062$ g	<b>CSE=</b>	<b>0,22</b>
Coefficiente sísmico exigido para $Z = 0,25$ g	<b>CSE=</b>	<b>0,81</b>
Coefficiente sísmico exigido para $Z = 0,40$ g	<b>CSE=</b>	<b>1,19</b>

### Calculo de la de la demanda de ductilidad DD.

#### Coefficiente sísmico exigido CSE.

#### Coefficiente sísmico resistente CSR.

El valor de la demanda de ductilidad se calcula como:

$$DD = CSE / CSR$$

Demanda de ductilidad (DD) para $Z = 0,028$ g	<b>DD=</b>	<b>0,41</b>
Demanda de ductilidad (DD) para $Z = 0,062$ g	<b>DD=</b>	<b>0,91</b>
Demanda de ductilidad (DD) para $Z = 0,25$ g	<b>DD=</b>	<b>3,40</b>
Demanda de ductilidad (DD) para $Z = 0,40$ g	<b>DD=</b>	<b>5,02</b>

### CD Capacidad de Ductilidad de 1.5 para mampostería no confinada

Categoría y estado de daños	Criterio con relación al valor de la demanda de ductilidad (DD)	Efectos en la estructura para cada categoría de daño
1. Ninguno	$DD < 0.75$	1. Sin daños.
2. Menores	$0.75 < DD < 1.125$	2. Daños menores en elementos arquitectónicos.
3. Moderados	$1.125 < DD < 1.50$	3. Daño generalizados en los elementos arquitectónicos y daños menores en los elementos estructurales.
4. Mayores	$1.50 < DD < 2.25$	4. Daños generalizados en los elementos estructurales y arquitectónicos.
5. Totales	$2.25 < DD < 3.00$	5. Daños en la estructura no reparables, por lo tanto la edificación debe ser demolida y reemplazada.
5. Colapso	$3.00 < DD$	6. Edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.

### Determinación de la categoría de daño sísmico.

Categoría y estado de daños para $Z = 0,028$ g	<b>NINGUNO 0,41</b>	Sin daños.
Categoría y estado de daños para $Z = 0,062$ g	<b>MENORES 0,91</b>	Daños menores en elementos arquitectónicos.
Categoría y estado de daños para $Z = 0,25$ g	<b>COLAPSO 3,40</b>	Edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.
Categoría y estado de daños para $Z = 0,40$ g	<b>COLAPSO 5,02</b>	Edificación parcial o totalmente colapsada por inestabilidad.

Se precisa mediante la rehabilitación arquitectónica estructural una mejora en la respuesta de daño de la estructura, se mantiene el índice de colapso para el sismo de diseño, pero la respuesta estructural global se mejora.



## 11 ANALISIS DE RESULTADOS

### 11.1 VULNERABILIDAD SÍSMICA VALORADA CON LA METODOLOGÍA SUBJETIVA MÉTODO FEMA 154.

GRADO DE VULNERABILIDAD SISMICA			
S menor a 2,0	( $S < 2$ )	Alta vulnerabilidad, requiere evaluación especial	X
S entre 2,0 y 2,5	( $2 \leq S \leq 2,5$ )	Media vulnerabilidad	
S mayor a 2,5	( $S > 2,5$ )	Baja vulnerabilidad	

En el análisis del grado de Vulnerabilidad Sísmica de la edificación patrimonial propuesta se establece: **“Alta Vulnerabilidad”**, grado acorde a la realidad física de la edificación. Su irregularidad en planta e irregularidad vertical son los factores, que en peso, aportan de mayor manera a la valoración negativa de esta edificación patrimonial, cabe en este instante recalcar que este tipo de edificaciones, de paredes portantes y no confinadas, desde su génesis ya conciben para sí, una vulnerabilidad sísmica alta. Su concepción arquitectónica, su periodo de vida útil ya al límite, la falta de mantenimiento, y la amenaza sísmica de la zona, ubican a esta edificación en un punto crítico, de ahí la importancia de valorar el índice de daño para conocer su respuesta sismo resistente ante un evento sísmico.

### 11.2 INDICE DE DAÑO:

Determinación de la categoría de daño sísmico.	Edificación Patrimonial Estado Actual	Edificación Patrimonial Estructural
Categoría y estado de daños para $Z= 0,028 g$	DD= 0,91 Moderados	DD= 0,41 Ninguno
Categoría y estado de daños para $Z= 0,062 g$	DD= 2,01 Totales	DD= 0,91 Menores
Categoría y estado de daños para $Z= 0,25 g$	DD= 7,54 Colapso	DD= 3,4 Colapso
Categoría y estado de daños para $Z= 0,40 g$	DD= 11,13 Colapso	DD= 5,02 Colapso

El Índice de daño obtenido, en primera instancia no hace más que ratificar lo ya establecido por la Res Sísmica del Austro en su análisis de vulnerabilidad sísmica para un evento sísmico de PGA 0.25g, esto es el colapso de la edificación.

El 16 de abril del 2016 en la ciudad de Cuenca se suscitó un evento sísmico cuya Intensidad está valorada por el IG EPN (2016) en alrededor de “IV” (ligero), ante esta solicitud nuestro modelo establece que la estructura se comporta de manera aceptable y evidencia un índice de daño menor.

Pero es en el punto medio de este análisis donde la edificación patrimonial tiene que ser analizada, “daños mayores” para una intensidad de grado “V” es inaceptable pues esta edificación no cuenta con elementos estructurales capaces



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

de deformarse ante estas sollicitaciones y se produciría una falla frágil y el colapso total o parcial de la edificación patrimonial, sin contar o mencionar la pérdida de vidas humanas consecuencia directa de esta falla frágil.

Limitados por el valor de originalidad que presenta la edificación patrimonial, se propone una rehabilitación estructural de los muros portantes de adobe, mediante la inserción de un “exoesqueleto” de madera, el cual confina al adobe. De esta manera indirecta se ha dotado de cierto valor sismo resistente a la edificación patrimonial.

El análisis hipotético del índice de daño, al considerar las paredes portantes de la edificación como confinadas, para una intensidad de “V”, ha mejorado ahora es de daño “menor”, y a 0.25g se mantiene el colapso estructural, pero su falla ya no será frágil, lo cual redunda en la posibilidad de salvar vidas.



## **12 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.**

La evaluación de la vulnerabilidad sísmica y el índice de daño se transforma en un aspecto fundamental en el estudio del patrimonio arquitectónico edificado en nuestra ciudad, para contar con un respaldo preciso ante la expectativa de la seguridad de una estructura ante el escenario de un evento sísmico futuro, y también para ofrecer respuestas en cuanto a la rehabilitación y mantenimiento de la estructura.

Esta evaluación tiene que ser concebida a detalle y debe hacerse para cada edificación, debido a que la caracterización propia de sus materiales de construcción y configuración estructural es distinta.

Para la conservación, preservación y potenciación de nuestro patrimonio edificado, la reducción de la vulnerabilidad de origen y la vulnerabilidad progresiva es imperiosa.

El patrimonio edificado así heredado, convoca a una reflexión profunda sobre su futuro, ante un evento sísmico similar al ocurrido el 16 de abril de 2016, con epicentro entre las parroquias Pedernales y Cojimíes del cantón Pedernales, en la provincia ecuatoriana de Manabí.

En el cuidado propio de potenciar nuestro patrimonio edificado, se deben incluir los nuevos conceptos de rehabilitación arquitectónica estructural patrimonial, los mismos que generan nuevos elementos estructurales o fortalecen los ya existentes cuya vulnerabilidad de origen es alta, y nos permita, contar con edificaciones que respondan de mejor manera ante eventos sísmicos, dotando a las edificaciones patrimoniales de algún grado de seguridad.

El encanto y el atractivo propio de nuestra edificación patrimonial no debe verse amenazada por esta rehabilitación pues ésta contempla la utilización de materiales propios a cada estilo y configuración estructural, procurando una repotenciación de los materiales existentes y que por el paso del tiempo sus propiedades físicas y mecánicas se han visto seriamente comprometidas.



## 13 Bibliografía

- Musson, J., Schwarz, J., & Stucchi, M. (2008). *Escala Macrosísmica Europea 1998, EMS – 98*. HAMBURGO: G. Grünthal, Edición española F. Lorenzo Martín .
- Aguirre Ullauri , M. d., Camacho Durán , V. M., & Moncayo Serrano , M. F. (2010). *ARQUITECTURA DEL CENTRO HISTÓRICO DE CUENCA. Características, transformaciones y valores. 1870 - 1940*. Cuenca: Universidad de Cuenca.
- Albarracín, D. F. (2015). *Documento visual sobre conceptos de la Arquitectura Patrimonial de Cuenca*. CUENCA: Universidad Católica de Cuenca. Unidad Académica de Ing. Civil, Arquitectura y Diseño. Facultad de Arquitectura.
- Barbat, H., Oller, S., & Vielma, J. C. (2005). *Cálculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02. Monografía CIMNE IS56*. Barcelona, España: Editor A. H. Barbat.
- BAZÁN, Z., & MELI, P. (1985). *Manual de Diseño Sísmico de Edificios*. Editorial Limusa. MEXICO.
- BENEDETTI Y PETRINI (1984) en BARBAT, Alex H; PUJADES, Lluís;. (2004). *EVALUACIÓN DE LA VULNERABILIDAD Y DEL RIESGO SÍSMICO EN ZONAS URBANAS. APLICACIÓN A BARCELONA* . Barcelona España: 6º Congreso Nacional de Sismología e Ingeniería Sísmica .
- Bolaños, S. R., & Valdenebro, F. (2016). *La intervención estructural en edificaciones patrimoniales construidas con tierra*. Bogotá: Los vacíos en el marco normativo vigente en Colombia, Sus consecuencias y nuevas perspectivas.
- Bustos, J. D. (2010). *LOS MOVIMIENTOS TELÚRICOS EN LA CIUDAD DE CUENCA, ESTRATEGIAS DE COMUNICACIÓN NO CONVENCIONALES*. CUENCA: UNIVERSIDAD DE CUENCA FACULTAD DE FILOSOFIA, LETRAS Y CIENCIAS DE LA EDUCACION ESCUELA DE COMUNICACIÓN SOCIAL.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- Caicedo, C., Barbat, A. H., Canas, J. A., & Aguiar, R. (1994). *Vulnerabilidad Sísmica de Edificios*. España: Monografías de Ingeniería Sísmica.
- Cardona, O. D., & Hurtado, J. E. (1990). *Propuesta metodológica para los análisis de vulnerabilidad. Informe de consultoría Proyecto UNDRP / ACD / ONAD Para la mitigación de riesgos en Colombia*. Santiago de Cali: Inedito.
- Earthquaketrack. (2016). *Today's Biggest Earthquakes* <http://es.earthquaketrack.com/>. EEUU: earthquaketrack.
- EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION. (1998). *European Macroseismic Scale 1998 EMS-98*. Luxembourg: Editor G GRÜNTAL.
- FEMA 154. (1988). *Report ATC-21. Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazard*. Washington.
- FEMA 154. (2002). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards*. Washington, DC : FEMA 154, Edition 2 / March.
- GADMCC. (2009). *Inventario de Edificaciones Patrimoniales y Espacios Públicos del Centro Histórico de Cuenca. Cuenca - Ecuador*. Cuenca: GADMCC.
- GADMCC. (31 de 12 de 2015). <http://www.cuenca.gob.ec>. Obtenido de [http://www.cuenca.gob.ec/sites/default/files/PMEP\\_CentroHistorico.pdf](http://www.cuenca.gob.ec/sites/default/files/PMEP_CentroHistorico.pdf).
- GADMCC. (28 de 12 de 2016). *CUENCA ALCALDIA*. Obtenido de [http://www.cuenca.gov.ec/?q=page\\_cuencapatrimonio](http://www.cuenca.gov.ec/?q=page_cuencapatrimonio)
- GADMCC. (2010). *ORDENANZA PARA LA GESTIÓN Y CONSERVACIÓN DE LAS ÁREAS HISTÓRICAS Y PATRIMONIALES DEL CANTÓN CUENCA*. CUENCA: GADMCC.
- IG EPN. (31 de 12 de 2010). <http://www.igepn.edu.ec>. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/un-dia-como-hoy>.
- IG EPN. (31 de 12 de 2016). <http://www.igepn.edu.ec>. Obtenido de <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1312-informe-sismico-especial-n-8-2016>.



## UNIVERSIDAD DE CUENCA

- IG EPN. (2016). *Sismo Mw=7.8; 16 abril de 2016*. QUITO: Instituto Geofísico - Escuela Politécnica Nacional. <http://www.igepn.edu.ec/mapas/mapa-evento-20160416.html>.
- INSIVUMEH. (31 de 12 de 2016). <http://www.insivumeh.gob.gt>. Obtenido de [http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.htm#ESCALA%20DE%20MERCALLI%20MODIFICADA%20\(M.%20M.\)](http://www.insivumeh.gob.gt/geofisica/indice%20sismo.htm#ESCALA%20DE%20MERCALLI%20MODIFICADA%20(M.%20M.)).
- INSTITUTO GEOFÍSICO EPN. (2016). *INFORME SÍSMICO ESPECIAL N°40 - 2016*. QUITO: Escuela Politécnica Nacional.
- Jiménez, J. (05 de 05 de 2016). Mapa sísmico de Cuenca debe actualizarse. *Mapa sísmico de Cuenca debe actualizarse*.
- León V, K., Luna C, L., & Sigüencia H, M. (1997). *Guía Arquitectónica de Cuenca*. CUENCA: Universidad de Cuenca. Facultad de Arquitectura.
- NEC, M. (2015). <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/>. (M. Dirección de Comunicación Social, Ed.) Recuperado el 31 de 12 de 2016, de Capítulos de la NEC (Norma Ecuatoriana de la Construcción): <http://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-5EVALUACION-Y-REHABILITACION1.pdf>
- Peralta Buriticá, H. (2002). *ESCENARIOS DE VULNERABILIDAD Y DE DAÑO SÍSMICO DE LAS EDIFICACIONES DE MAMPOSTERÍA DE UNO Y DOS PISOS EN EL BARRIO SAN ANTONIO, CALI, COLOMBIA*. . Universidad del Valle - Facultad de Ingeniería - Escuela de Ingeniería Civil y Geomática.
- RSA. (2002). *Mapa Integrado de Daño Estructural (0.25g)*. UNIVERSIDAD DE CUENCA.
- Russell, R. (2010). *Ventanas al Universo*. Última visita 31/12/2016: [http://www.windows2universe.org/earth/geology/quake\\_4.html&lang=sp&du=high](http://www.windows2universe.org/earth/geology/quake_4.html&lang=sp&du=high).
- Winslow, F. E., & Ross, K. E. (1993). *Proceedings From School Sites: Becoming Prepared for Earthquakes*, National Center for Earthquake Engineering





*Research, State University of New York at Buffalo. New York: NCEER-93-0015.*

Worden, C. B., Gerstenberger, D. A., Rhoades, D. J., & Wald. (2012). *Probabilistic relationships between ground motion parameters and Modified Mercalli intensity in California Bull. Soc. Am.* 102(1), 204-221. DOI:10.1785/0120110156.

Worden, C. B., Gerstenberger, M. C., Rhoades, D. A., DJ, & Wald. (2012). *Probabilistic relationships between ground-motion parameters and Modified Mercalli intensity in California Bull. Seism. Soc. Am.* 102(1), 204-221. DOI: 10.1785/0120110156.

Yamín Lacouture, L. E., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J. C., & Ruiz Valencia, D. (2007). *Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada*. Colombia: Centro de Investigación en Materiales y Obras Civiles, cimoc, de la Universidad de los Andes .

Yamín Lacouture, L., Phillips Bernal, C., Reyes Ortiz, J., & Ruiz Valencia, D. (2007). *Estudios de vulnerabilidad sísmica, rehabilitación y refuerzo de casas en adobe y tapia pisada*. Bogotá, Colombia.: APUNTES vol. 20, núm. 2 : 286-303.



### 13.1 ÍNDICE DE FIGURAS Y GRÁFICOS

fig. 1 PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE (NEC, 2015, pág. 27) Ecuador, zonas sísmicas para propósitos de diseño y valor del factor de zona Z .....	11
fig. 2 (IG EPN, 2016) Ultimo acceso el 31/12/2016; sismo del 16 de abril del 2016 y sus réplicas.....	11
fig. 3 (Earthquaketrack, 2016) Ultimo acceso el 31/12/2016; Top Ten de sismos Ecuador .....	12
fig. 4 FLUJOGRAMA MÉTODOS PARA EVALUAR LA VULNERABILIDAD SÍSMICA, Fuente (Caicedo, Barbat, Canas, & Aguiar, 1994, págs. 1-43); elaboración propia.....	26
fig. 5 INVENTARIO DEL PATRIMONIO CENTRAL EDIFICADO FUENTE: PLAN ESPECIAL DEL CENTRO HISTORICO DE CUENCA. GADMCC (2010).....	44
fig. 6 Captura de imagen, pagina web GADMCC.....	46
fig. 7 Ubicación y fachada de la edificación propuesta para el análisis. Elaboración propia. ....	47
fig. 8 Arquitectura a detalle: Fachada. Elaboración propia. ....	50
fig. 9 Arquitectura a detalle: Distribución Planta baja y primera planta alta. Elaboración propia. ....	51
fig. 10 Arquitectura a detalle: Distribución segunda planta alta y buhardilla. Elaboración propia. ....	52
fig. 11 Plano: Vista en planta muros portantes de la edificación en estudio.Fuente elaboración propia.....	55
fig. 12 Espectro elástico horizontal de diseño en aceleraciones. Fuente (NEC, 2015).....	59
fig. 13 Rehabilitación Arquitectónica Estructural: refuerzo con mallas. ....	65
fig. 14 (Yamín Lacouture L. E., Phillips Bernal, Reyes Ortiz, & Ruiz Valencia, 2007)Proceso de instalación de refuerzo con maderas de confinamiento .....	66



### 13.2 ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 PELIGRO SÍSMICO DISEÑO SISMO RESISTENTE (NEC, 2015, pág. 27)	
Valores del factor Z en función de la zona sísmica adoptada .....	10
Tabla 2 Reseña histórica de movimientos telúricos en Cuenca. ....	13
Tabla 3 (INSIVUMEH, 2016) Escala de Mercalli Modificada (M.M.).....	15
Tabla 4 Escala de Magnitud del Momento por Thomas C. Hanks y Hiroo Kanamori .....	16
Tabla 5 (Worden C. B., Gerstenberger, Rhoades, & Wald, 2012) <a href="http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/">http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/</a> .....	17
Tabla 6 Fuente (FEMA 154, 2002), Formulario de Recolección de Datos de alta sismicidad seleccionado para la localidad de USA. ....	30
Tabla 7 Tabla de Vulnerabilidad Sísmica, diferenciación de estructuras (edificios) en clases de vulnerabilidad. Fuente (EUROPEAN SEISMOLOGICAL COMMISSION, 1998) .....	31
Tabla 8 Calificaciones parciales y Peso $W_i$ para edificaciones de mampostería no confinada., fuente Benedetti y Petrini (1984) .....	33
Tabla 9 Calificaciones parciales y Peso $W_i$ para edificaciones de hormigón Armado, fuente Benedetti y Petrini (1984) .....	33
Tabla 10 (Cardona & Hurtado, 1990) Clasificación de los daños en función de la demanda de ductilidad. ....	36
Tabla 11 Metodologías y parámetros utilizados en su análisis.....	38
Tabla 12 Época, función, tecnología y expresión de la Arquitectura Cuencana. Autor: (Albarracín, 2015) .....	42
Tabla 13 Resultado: Vulnerabilidad sísmica alta, Requiere de una evaluación especial. ....	53
Tabla 14 Irregularidad vertical e irregularidad en planta, Análisis método FEMA – NEC (2015) .....	54
Tabla 15 Tipo de suelo y Factores de sitio $F_a$ , Fuente (NEC, 2015).....	60
Tabla 16 Clasificación de los perfiles de suelo, Fuente (NEC, 2015).....	61
Tabla 17 Captura da pantalla factor Z para la ciudad de Cuenca, Fuente (NEC, 2015) .....	61

## 14 ANEXOS

REGISTRO FOTOGRÁFICO ESTADO ACTUAL DE LA EDIFICACION:  
Fachada: Desprendimiento de enlucido, grietas y fisuras.





**Pisos, tumbado y cielo rasos en mal estado.**





**Muros Portantes de adobe: Presencia de fisuras y cuarteamiento.**





**Cubierta: Cubierta de teja, asbesto cemento, zinc, plástico, otros, presenta filtración de agua lluvia,**

