

# EVALUACIÓN TÉCNICO-VISUAL DE ESTRUCTURAS SEGÚN NEC-SE-RE EN EL SECTOR “LA ARMENIA 1” PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGO ANTE FENÓMENOS NATURALES ESPECÍFICOS

TECHNICAL-VISUAL EVALUATION OF STRUCTURES ACCORDING TO NEC-SE-RE IN THE “ARMENIA 1” SECTOR, FOR THE DETERMINATION OF RISK TO SPECIFIC NATURAL PHENOMENA

WILSON CANDO<sup>1</sup>  
ÓSCAR JARAMILLO<sup>2</sup>  
JORGE BUCHELI<sup>3</sup>  
XAVIER PAREDES<sup>4</sup>

*Recibido: 18 de octubre de 2017*

*Aceptado: 29 de enero de 2018*

---

<sup>1</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador (wocando@puce.edu.ec).

<sup>2</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador (ojaramillo602@puce.edu.ec).

<sup>3</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador (jabucheli@puce.edu.ec).

<sup>4</sup> Pontificia Universidad Católica del Ecuador, Facultad de Ingeniería, Quito, Ecuador (eparedes001@puce.edu.ec).





# EVALUACIÓN TÉCNICO-VISUAL DE ESTRUCTURAS SEGÚN NEC-SE-RE EN EL SECTOR “LA ARMENIA 1” PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGO ANTE FENÓMENOS NATURALES ESPECÍFICOS

## TECHNICAL-VISUAL EVALUATION OF STRUCTURES ACCORDING TO NEC-SE-RE IN THE “ARMENIA 1” SECTOR, FOR THE DETERMINATION OF RISK TO SPECIFIC NATURAL PHENOMENA

*Wilson Cando, Óscar Jaramillo, Jorge Bucheli, Xavier Paredes.*

**Keywords:** Risk, Hazard, Vulnerability, La Armenia 1, Risk Matrix, FEMA P-154.

**Palabras clave:** Riesgo, Peligro, Vulnerabilidad, La Armenia 1, Matriz de Riesgos, FEMA P-154.

### RESUMEN

En esta publicación se realiza una evaluación de riesgos ante fenómenos naturales para el sector “La Armenia 1”, ubicada en el Valle de los Chillos, Quito, Ecuador.

El estudio se concentra principalmente en la evaluación de las estructuras ante riesgos sísmicos y volcánicos; pues son los fenómenos naturales que por la ubicación y características del sec-

tor afectarían en mayor medida al mismo y tienen mayor probabilidad de ocurrencia como se lo ha visto a lo largo de los años.

Para la evaluación ante el riesgo sísmico se utilizó la metodología FEMA P-154, realizada por la Agencia Federal de Manejo de Emergencias (Federal Emergency Management Agency) de los Estados Unidos; misma que es sugerida por la norma ecuatoriana de la construcción en su capítulo de Peligro Sísmico y Diseño Sismo Resistente (NEC-SE-DS). Con dicha metodología, mediante una rápida evaluación visual se puede determinar el tipo de estructura y las irregularidades que presenta, para a continuación con el uso de un sistema de puntuación planteado por FEMA P-154

se podrá establecer la probabilidad de colapso de una estructura ante la ocurrencia del máximo sismo considerado en un período de retorno de 2475 años.

Para la evaluación ante el riesgo volcánico el presente trabajo se basó fundamentalmente en los estudios y publicaciones realizadas por el Instituto Geofísico de la Escuela Politécnica Nacional y la Secretaría de Gestión de Riesgos; y después de analizar la información recopilada se determinó que los fenómenos volcánicos que más afectarían al sector "La Armenia 1" serían la caída de ceniza y el flujo de lahares y escombros. Para estos fenómenos se presenta una matriz de riesgos que realiza una evaluación cualitativa de los efectos que pueden provocar.

## ABSTRACT

This paper carries a risk evaluation for natural phenomena in "La Armenia 1" placed in Valle de los Chillos, Quito, Ecuador.

This study focuses mainly in the structures evaluation against seismic and volcanic risks; those are natural phenomena that due to the location and properties of the neighborhood, affects it to a greater extent and are more likely to occur as it has been seen through the years.

For the evaluation of seismic risk, it was created the FEMA P-154, carried out by the Federal Emergency Management Agency of the United States; same that is suggested by the Ecuadorian Construction norm in its chapter of Seismic Hazard and Resistive Earthquake Design (NEC-SE-DS). Using this methodology, by means of a quick visual evaluation it is possible to determine the type of structure and irregularities that it presents, and then with the use of a ran-



king system proposed by FEMA P-154 it will be possible to establish the probability of a structure collapse before occurs a maximum earthquake considered to return approximately every 2475 years.

For the evaluation of a volcanic risk, this paper was based fundamentally in different studies and publications realized by the Geophysical Institute of the

National Polytechnic School and the Risk Management Department; after analyzing the information collected, it resulted that volcanic phenomena that would most affects "La Armenia 1" would be the fall of ash and flow of lahars and debris. For these phenomena, a risk matrix is presented that makes a qualitative evaluation of the different effects that can be caused.

## PRESENTACIÓN DEL CASO

Como consecuencia de los últimos acontecimientos en cuanto a fenómenos naturales que han amenazado al Distrito Metropolitano de Quito, como es: el sismo de 5.1 en la escala de Richter generado el 12 de agosto de 2015 (Cuatro temblores sacudieron a Quito, 2015), así como el sismo de 7.8 Mw con epicentro entre las parroquias de Pedernales y Cojimíes ocurrido el 16 de abril de 2016 (IGEPN, 2016) que afectó a diversas zonas del país y las dos últimas erupciones importantes del volcán Cotopaxi registradas el 14 de agosto del 2015 (Chamorro, 2015), a partir de lo cual el volcán ha mantenido una actividad intermitente hasta el presente, es que se considera importante el estudio de ambos fenómenos naturales en el Valle de

los Chillos, específicamente en el sector la Armenia 1 (Anexo 1), pertenecientes al Distrito Metropolitano de Quito.

El Valle de los Chillos se encuentra en una zona de alta actividad sísmica, es esta una zona de categoría V, según la norma ecuatoriana de la construcción en su capítulo NEC-SE-DS; de la misma manera con el reciente inicio de una fase eruptiva del volcán Cotopaxi se ha determinado que existe una gran cantidad de propiedades construidas en zonas de riesgo. El sector en estudio se vería afectado principalmente por los flujos laháricos que correrían por el cauce del río San Pedro, para la determinación del área de estudio se utilizó el mapa de amenazas del volcán Cotopaxi que se indica en (Secretaría de Gestión de Riesgos, s.f).





## RIESGO SÍSMICO

### Metodología FEMA P-154

El Análisis Visual Rápido conocido como (RVS), por sus siglas en inglés "Rapid Visual Screening", es un procedimiento que se ha desarrollado con la finalidad de identificar aquellas estructuras que son potencialmente peligrosas ante eventos sísmicos, es decir que frente a un evento sísmico son preocupantemente vulnerables. Una vez que se ha identificado a una estructura como potencialmente peligrosa, se la debe evaluar a mayor profundidad por un profesional con experiencia en el diseño sísmico, quien ayudará a determinar si en verdad la construcción es peligrosa sísmicamente (FEMA, 2015).

El procedimiento RVS usa una metodología que se basa en un estudio visual de la estructura, lo que implica la recopilación de datos de la misma en formularios específicos para esta metodología. La persona que conduce el estudio y recopilación de datos de la estructura realiza una observación de la misma desde el exterior de la construcción y de ser posible desde el interior.

El objetivo de los formularios es ayudar a determinar una puntuación final para cada estructura que se analice, lo cual nos proveerá una indicación de cuál sería el desempeño sísmico esperado de la estructura. Existen dos niveles

de análisis: el Nivel 1, y adicional a este se tiene un nivel opcional, Nivel 2.

El formulario de Nivel 1 recolecta información de la descripción de la estructura que incluye: el uso de la misma, su tamaño, geometría, fotografía, boceto y otra documentación, así como datos pertinentes al desempeño sísmico de la estructura (FEMA, 2015). A cada estructura se le asigna una puntuación básica que está en función del sistema estructural que constituye la misma, la puntuación básica y los diversos sistemas estructurales que reconoce el FEMA se encuentran definidos en el formulario del Nivel 1.

El evaluador obtendrá la puntuación final afectando la puntuación básica con los modificadores de puntuación, los cuales están relacionados con los atributos de desempeño de la estructura que se puedan observar en campo, estos son sumados o restados a la puntuación básica para así obtener la puntuación final del Nivel 1.

Como ya se mencionó existe también un nivel opcional de análisis, este se define como nivel 2. El nivel 2 es un análisis más detallado del edificio, para ser realizado se utiliza el formulario correspondiente a este nivel, el cual permite al evaluador ajustar la calificación final de la estructura.



La puntuación básica, modificadores de puntuación y puntuación final han sido desarrolladas tomando en cuenta la probabilidad del colapso de la estructura debido a la ocurrencia de un sismo poco frecuente (FEMA, 2015), es decir debido al movimiento de suelo que se produce como consecuencia del Máximo Sismo Considerado (MCE).

El rango en el cual oscila la puntuación final está entre 0 a 7, una mayor puntuación indica que la estructura tiene un mejor desempeño sísmico y una probabilidad baja de colapso. FEMA sugiere que a este rango de calificaciones se establezca un valor mínimo para diferenciar la respuesta de una estructura ante el MCE entre aceptable y no aceptable. Este valor mínimo se lo llama "Cut-Off" y se sugiere que sea 2; y representa el valor para el cual estructuras con esta o menor calificación tendrán que ser sometidas a evaluaciones más detalladas, pues no se espera una buena respuesta de la estructura (FEMA, 2015).

Un aspecto fundamental en la evaluación y calificación de la estructura es que la calificación de la misma depende de la región sísmica en donde

se encuentra implantada la estructura, buscando determinar la probabilidad de colapso para el MCE, para lo cual FEMA P-154 ha definido cinco regiones sísmicas y un formulario específico para cada una de ellas: Regiones de Baja Sismicidad, Regiones de Moderada Sismicidad, Regiones de Moderadamente Alta Sismicidad, Regiones de Alta Sismicidad y Regiones de Muy Alta Sismicidad.

Para nuestro sector en estudio, al seguir lo que indica FEMA se estableció que corresponde a una zona de Muy Alta Sismicidad, lo cual se ha determinado verificando los valores de aceleración espectral a período corto "Ss" y a un segundo "S1" con los cuales mediante la (Tabla 1) se obtuvo la región sísmica. Los valores de Ss y S1 fueron obtenidos con la aplicación del USGS "Worldwide Sismic Design Tool Beta" (Gráfico 1) y comprobados con las Curvas de Peligro Sísmico para Quito a diferentes Periodos Estructurales indicadas en (Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente NEC-SE-DS, 2015)

El formulario que se ha utilizado para el presente estudio se lo indica en el (Anexo 2).



Tabla 1. Determinación de las Regiones Sísmicas en base a la Respuesta de Aceleración Espectral para MCE.

Región Sísmica	Respuesta de Aceleración Espectral, $S_s$ (período corto o 0.2 segundos)	Respuesta de Aceleración Espectral, $S_1$ (período largo o 1 segundo)
Bajo	Menor que 0.25g	Menor que 0.10g
Moderado	Mayor o igual que 0.25g y menor que 0.50g	Mayor o igual que 0.10g y menor que 0.20g
Moderadamente Alto	Mayor o igual que 0.50g y menor que 1.00g	Mayor o igual que 0.20g y menor que 0.40g
Alto	Mayor o igual que 1.00g y menor que 1.50g	Mayor o igual que 0.40g y menor que 0.60g
Muy Alto	Mayor o igual que 1.50g	Mayor o igual que 0.60g

Nota: g = aceleración de la gravedad en dirección horizontal.

Fuente: (FEMA, 2015, págs. 16, Capítulo 2). Traducido por los autores



Gráfico 1. Valores para los coeficientes  $S_s$  y  $S_1$  para el sector La Armenia 1.  
Fuente: (U.S. Geological Survey, 2016)





## Resultados Provistos por la Evaluación RVS

### Tipos de Estructuras

Los tipos de estructuras a los que se hacen mención en este estudio son los detallados en la norma FEMA P-154.

En el sector evaluado se encontraron un total de 57 edificaciones iden-

tificadas como C3 del total de las 80 edificaciones evaluadas. Esta cantidad corresponde al 71%, mientras que las edificaciones C1 y URM son las que ocupan los siguientes lugares. En el (Gráfico 2) se pueden observar los resultados por porcentajes de edificaciones presentes en el sector.

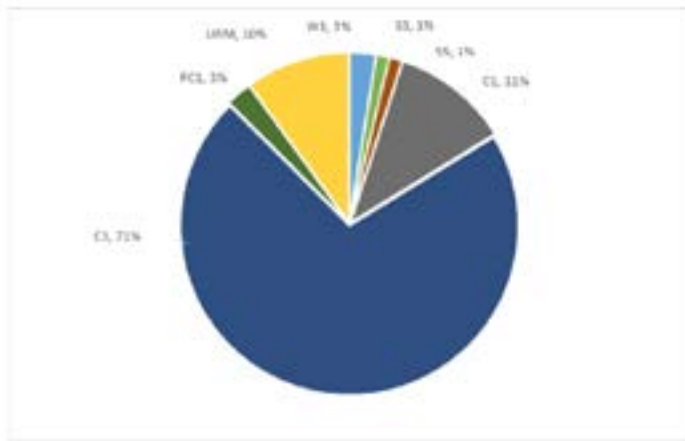


Gráfico 2. Tipos de estructuras presentes en el área de estudio.  
Elaborado por los autores.

En el Ecuador la mayoría de edificaciones existentes son de hormigón armado, pues las estructuras con este material son las que mayor demanda tienen en el mercado ecuatoriano. De tal manera la mayoría de viviendas existentes son construidas con vigas y columnas de hormigón armado y con mampostería sin refuerzo estructural; este tipo de

construcciones en FEMA corresponden a las C3.

Las edificaciones predominantes encontradas en la zona de evaluación fueron efectivamente las de tipo C3; al ser una zona residencial, la mayoría de viviendas tienen este estilo de construcción como se muestra en el (Gráfico 3).



Gráfico 3. Ilustración de edificación C3.

Aunque las edificaciones C3 tienen muchas desventajas, las edificaciones URM (Edificaciones de Mampostería no Reforzada) presentan una mayor vulnerabilidad, pues carecen de un sistema estructural que resista las cargas que se producen por un movimiento sísmico. En el Ecuador todavía existen un gran número de construcciones antiguas hechas de ladrillo y adobe; como se indica en el (Gráfico 2), pues el 10% de las edificaciones evaluadas corresponden a este tipo de estructuras. En el (Gráfico 4) se presenta un ejemplo de este tipo de edificaciones, encontrada en el sector de estudio.



Gráfico 4. Ilustración de edificación URM.



## Irregularidades

El comportamiento de una estructura ante un movimiento sísmico se ve influenciado en gran parte por la forma de la estructura; lo ideal es que en una estructura el centro de masas coincida con su centro de rigideces para evitar que se produzcan efectos de torsión (Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras NEC-SE-RE, 2015). Muchas veces por motivos arquitectónicos la estructura tiene formas irregulares

que producen cambios en su rigidez y resistencia, produciendo que los esfuerzos se acumulen en determinadas partes de la estructura y el riesgo de daño de la misma sea más elevado.

Las irregularidades pueden ser de dos tipos, en planta o en elevación. Para los dos tipos de irregularidades existentes se tienen diversos casos de afectación a la estructura, en el (Gráfico 5) se presentan las irregularidades encontradas en la zona de estudio.

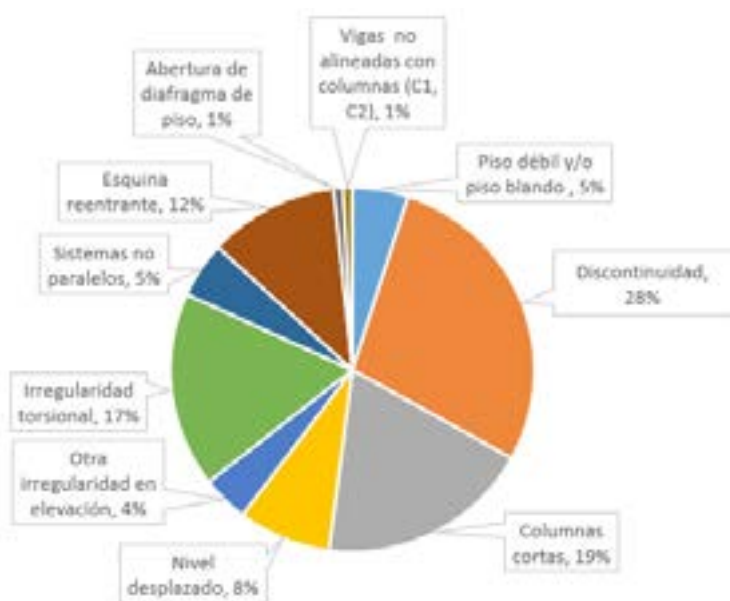


Gráfico 5. Irregularidades identificadas durante la evaluación.  
Elaborado por: Pablo Almagro y Xavier Paredes.



### Peligros Estructurales

Después de haber aplicado los modificadores de calificación a cada una de las estructuras según sus características constructivas, se obtuvieron los resultados de la calificación del nivel 1 y los resultados definitivos correspondientes al nivel 2. Como ya se determinó anteriormente se considera que una estructura necesita de una evaluación

estructural cuando su puntuación es menor a 2.

Los resultados obtenidos de la evaluación indicaron que 6 edificaciones no requerían una evaluación estructural detallada y 74 edificaciones si requerían de esta evaluación, estos resultados se aprecian en el Gráfico 6 y se los puede visualizar en el Anexo 3.



Gráfico 6. Resultados Nivel de Evaluación 2.

Elaborado por los autores

### Peligros No Estructurales

Adicionalmente la evaluación permite determinar si se requiere una evaluación no estructural detallada. Durante la evaluación que se realizó se encontraron peligros no estructurales como chimeneas, parapetos, etc; que podían ser mitigados y no necesariamente ser evaluados.

Se necesita criterio y experiencia para determinar si un peligro no es-

tructural es mitigable o necesita de una evaluación detallada, por lo que los resultados obtenidos en este estudio son subjetivos, es decir dependen del juicio de quien realice la evaluación. En el sector evaluado se determinó que 67 edificaciones no requieren de una evaluación no estructural detallada, mientras que 13 si lo requieren. Estos resultados se indican en el Gráfico 7.

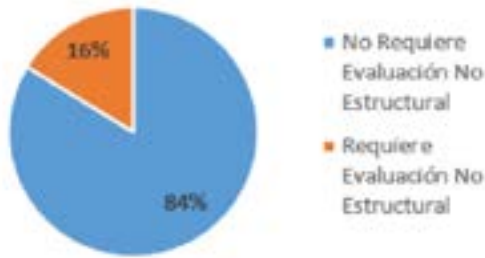


Gráfico 7. Peligros no estructurales.  
Elaborado por los autores

## RIESGO VOLCÁNICO

De los posibles escenarios eruptivos del volcán Cotopaxi (Samaniego, 2004) menciona que el más probable es aquel con un índice de explosividad volcánica, "V.E.I" por sus siglas en inglés, igual a 4. Evento que sería de similares características a la gran erupción acaecida el 26 de junio de 1877.

### Metodología de Evaluación

Riesgo se define como la probabilidad de que ocurra un peligro y la magnitud de daño que se genere debido a la vulnerabilidad (Aneas de Castro, 2000). Por lo que para la evaluación del riesgo se debe cuantificar el mismo determinando la probabilidad y gravedad de daño que puede ocasionar el evento,

en el presente estudio los eventos que se evalúan son los fenómenos volcánicos.

La evaluación de los fenómenos volcánicos que afectarán a las edificaciones del sitio en estudio se llevará a cabo con la generación de una matriz de riesgos, para cuyo fin se establece en primera instancia la siguiente fórmula, misma que cumple con lo que se ha mencionado sobre evaluación de riesgos.

La magnitud de daño que el fenómeno puede causar y la probabilidad de ocurrencia del mismo se valorarán como se indica:

1 = Baja o Ninguna

2 = Mediana

3 = Alta

Con los parámetros anteriormente definidos se establece el siguiente gráfico que nos ayudará a entender cómo se realizará la evaluación cualitativa del riesgo. La cual se ha elaborado a base de lo que se destaca en (Gestión de Riesgo, 2009).

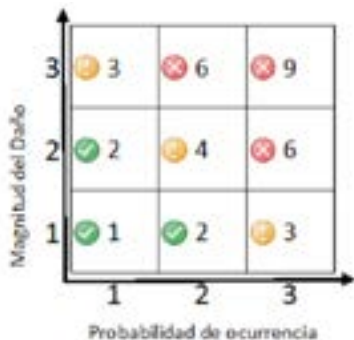


Gráfico 8. Parámetros de evaluación.  
Elaborado por los autores

Tomando en cuenta los parámetros ya definidos para calificar la ocu-

rrencia y la magnitud del daño podemos encontrar el producto de los mismos y con esto obtener la evaluación cualitativa para cada riesgo. De donde se puede identificar tres tipos de riesgo.

- Bajo Riesgo = 1 - 2 (Aceptable)
- Medio Riesgo = 3 - 4 (Advertencia)
- Alto Riesgo = 6 - 9 (Peligro inminente)

Los principales fenómenos naturales que se generarían como producto de la erupción del volcán Cotopaxi ordenados de menor a mayor peligrosidad según menciona (Andrade, y otros, 2005) son los detallados en la Tabla 2 y se los ha valorado de acuerdo con los criterios anteriormente mencionados y en función a la recopilación de datos históricos por medio de informes, narraciones de eventos pasados, estudios geológicos, entre otros.



Tabla 2. Matriz de riesgos de los fenómenos volcánicos del Cotopaxi.

Fenómeno volcánico	Magnitud del daño	Probabilidad de Ocurrencia	Riesgo
Sismos volcánicos	1	1	1
Gases volcánicos	1	2	2
Flujos de lava	1	2	2
Domos de lava	1	1	1
Flujos piroclásticos	1	3	3
Lluvia de ceniza y piroclastos	2	3	6
Flujo de lodo y escombros	3	3	9
Avalanchas de escombros	1	1	1

Elaborado por los autores

Como se observa en la matriz los fenómenos que presentan un mayor riesgo para el sector en estudio son la lluvia de ceniza y piroclastos, así como el flujo de lodo y escombros. Es así que a continuación se realiza un estudio del posible nivel de afectación que tendrían las edificaciones ante la ocurrencia de estos dos fenómenos volcánicos.

### Afectación Ante la Lluvia de Ceniza y Piroclastos

Los piroclastos de gran tamaño son propensos a caer en las cercanías






del cráter del volcán, por consiguiente, debido a la distancia a la que se encuentra el sector que se evalúa en esta investigación, 40 kilómetros, el estudio de la afectación del fenómeno se centrará en ver el daño que podría ocasionar la ceniza, que por acción del viento y al ser pequeña y liviana puede viajar grandes distancias.

Para realizar la metodología de evaluación, el estudio se basó en los tipos de cubiertas presentes en las edificaciones; se encontraron 5 tipos para los cuales se les asignó a cada uno su respectivo



grado estimado de afectación. A continuación, se presenta lo mencionado.

**Tabla 3. Tipos de cubiertas y sus valoraciones**

<b>Tipo de Cubierta</b>	<b>Grado de Afectación Estimado</b>	
Teja	Grave	
Láminas de acero delgadas	Grave	
Paneles de Acero	Moderado	
Fibro cemento	Moderado	
Losa de hormigón armado	Bajo	

Elaborado por los autores

Los resultados obtenidos en este análisis del número total de edificaciones y su tipo de cubierta se describen en la Tabla 4 y Gráfico 9.

**Tabla 4. Edificaciones clasificadas por el tipo de cubierta**

<b>Tipo de Cubierta</b>	<b># Unidades</b>	<b>%</b>
Teja	26	32
Hojas de Zinc	6	8
Planchas de Fibrocemento	14	18
Panel de Acero	5	6
Losa de Hormigón Armado	29	36
<b>Total Edificaciones</b>	<b>80</b>	<b>100</b>

Elaborado por los autores



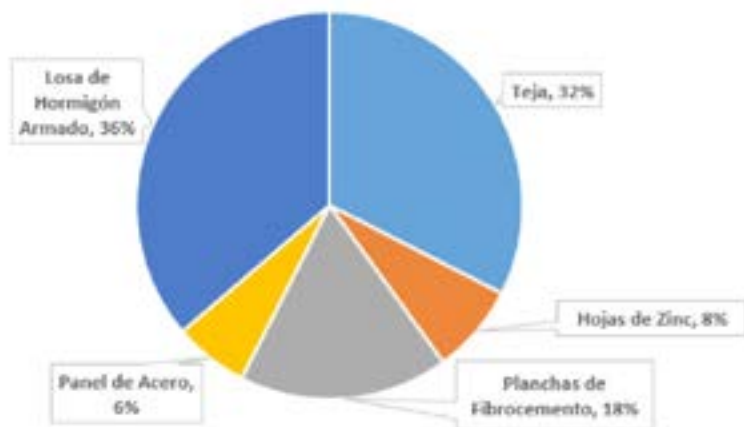


Gráfico 9. Tipo de cubiertas de edificaciones.

Elaborado por los autores

En la Tabla 5 y Gráfico 10 que se indican a continuación, se presenta la cantidad y el respectivo porcentaje del grado de afectación del total de edifi-

caciones evaluadas. Adicionalmente se puede observar en el Anexo 4 los resultados obtenidos en el área evaluada.

Tabla 5. Edificaciones clasificadas según el grado de afectación en su cubierta.

Grado de Afectación	# Unidades	%
Bajo 	29	36
Moderado 	19	24
Grave 	32	40
<b>Total Edificaciones</b>	<b>80</b>	<b>100</b>

Elaborado por los autores





Gráfico 10. Grado de Afectación de edificaciones.  
Elaborado por los autores

### Estudio de Afectación de los Flujos de Lodo y Escombros

La determinación del grado de afectación de cada una de las edificaciones se ha determinado en función de la altura de sumergimiento que tendría cada una de las estructuras si se produjese un lahar debido a la erupción del Cotopaxi.

En las cercanías al sector en estudio se encuentran tres ríos principales los cuales llevarían los lahares del volcán Cotopaxi, estos son los ríos Pita, San Pedro y Santa Clara. El río Santa Clara desemboca en el río San Pedro antes del sector conocido como Bocatoma; y a la altura del colegio Farina el río San Pedro se une con el río Pita. Sin embargo, en caso de una erupción los ríos Santa Clara

y Pita llevarán los lahares pero unirán sus caudales antes del centro comercial San Luis Shopping. Es por esta razón que se asumió como altura más desfavorable a los flujos laháricos transportados por el río Pita en las cercanías del sector en evaluación, que es de 15 metros según lo que menciona (Aguilera & Toulkeridis, 2005).

Tomando en cuenta este precedente se ha determinado que la altura del lahar en este sector llegaría a los 2459 metros sobre el nivel del mar; esta altura esperada de crecida se la determinó al sumar los 15 metros a la cota de fondo de río que se encuentra a los 2444 m.s.n.m. El lugar donde se determinó la cota de fondo del río fue antes del embaulamiento del mismo; a partir de este







punto el río se encuentra embaulado debido a las recientes obras viales del sector.

Una vez que se establecieron las cotas de cada una de las edificaciones y la cota a la que puede llegar el lahar en caso de erupción del volcán Cotopaxi,

se determinaron criterios para evaluar el grado de afectación que tendría una estructura, principalmente según el grado de sumergencia que tendrán cada una de las edificaciones por el paso de los flujos laháricos. Los grados de afectación estimados se describen a continuación

**Tabla 6. Alturas de Sumergencia y su grado de afectación**

<b>Tipo de Cubierta</b>	<b>Grado de Afectación Estimado</b>	
0 metros	Nulo	
Menor o igual a 1 m.	Bajo	
Desde un metro hasta cubrir la planta baja.	Moderado	
Altura del lahar mayor al nivel de la planta baja.	Grave	

\*Nota: En el grado de severidad moderado no se consideran las edificaciones de un solo piso, pues en caso ya sería de una severidad grave

Elaborado por los autores

Del estudio de afectación de las edificaciones ante flujo de lodo y escombros se ha identificado el grado de afectación para el total de estructuras, cuyos

resultados se presentan en la Tabla 7 y Gráfico 11 que se indican a continuación y cuya representación en el área de evaluación se encuentra en el Anexo 5.



Tabla 7. Edificaciones clasificadas según el grado de afectación.

Grado de Afectación	# Unidades	%
Nulo 	27	34
Bajo 	18	22
Moderado 	3	4
Grave 	32	40
<b>Total Edificaciones</b>	<b>80</b>	<b>100</b>

Elaborado por los autores

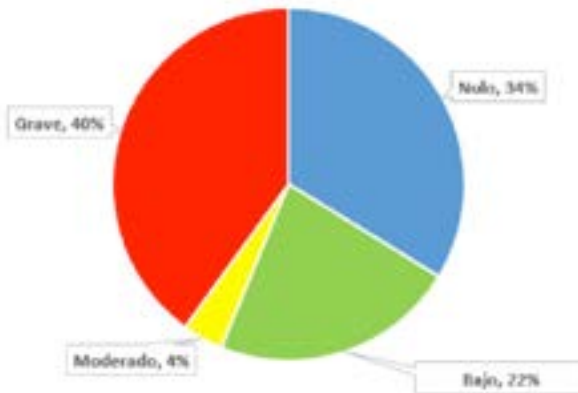


Gráfico 11. Grado de Afectación de edificaciones.  
Elaborado por los autores



## CONCLUSIONES

Como resultado final al aplicar la metodología FEMA P-154 se obtuvo que el 93% de las estructuras requieren de una evaluación estructural detallada, y el 16% requiere de una evaluación no estructural detallada. El alto porcentaje de edificaciones que requieren de una evaluación estructural detallada se debe principalmente a que en el sector de estudio el 71% de las estructuras corresponden a las tipo C3, mismas que tienen una calificación inicial de 0.9 y al no haberse encontrado el modificador "Readecuaciones" en ninguna de las estructuras del sector que aumentaría la calificación inicial en +1.2, con lo que se conseguiría llegar al 2.1 que ya cumpliría con el criterio del *cut-off*, el mismo que la clasificaría como una edificación que no requiere evaluación estructural detallada. El único calificador positivo para este tipo de edificación encontrado fue el de redundancia por lo que la máxima calificación que obtuvieron las estructuras de este tipo fue 1.1.

Tomando en cuenta el espesor de ceniza que podría caer sobre las cubiertas del sector en evaluación, la investigación ha concluido que las cubiertas de hormigón armado siempre y cuando se diseñen con lo que se especifique en la Norma Ecuatoriana de la Construcción no presentarían ningún problema ante una lluvia de ceniza, este porcentaje de edificaciones para el sector es de 36%.

El estudio realizado en esta investigación de las edificaciones afectadas por los flujos de lodo y escombros ha concluido que el sector La Armenia 1 tiene una zona de afectación semejante a la que ha determinado la Secretaría de Gestión de Riegos. Específicamente la diferencia que se puede establecer es en aquellas edificaciones que en el estudio se han identificado con un grado de afectación bajo o nulo, las mismas que en el mapa de amenazas del volcán Cotopaxi de la Secretaría de Gestión de Riesgos varían en cuanto a si son afectadas o no.

## RECOMENDACIONES

Es importante mencionar que el estudio que se ha realizado en cuanto a la evaluación de las estructuras ante eventos sísmicos, la matriz de riesgos

para eventos volcánicos, así como el estudio de los fenómenos volcánicos: lluvia de ceniza y piroclastos, y de flujo de lodos y escombros, tiene su grado de



incertidumbre y no deben ser tomados como valores definitivos, sino más bien como un esfuerzo por determinar el posible grado de afectación de las edificaciones ante los fenómenos antes mencionados, por lo que posteriores y más minuciosos estudios de las edificaciones del sector podrían no estar de acuerdo completamente con lo que se describe en esta investigación.

De la información que se ha recopilado se evidencia que en el Distrito Metropolitano de Quito se pueden observar varias construcciones edificadas en zonas de riesgo por lo que se recomienda que las entidades públicas tengan un mayor control en cuanto a la planificación del desarrollo urbano, uso del suelo y un control adecuado con respecto a la ejecución de las estructuras.



## BIBLIOGRAFÍA

- Aguilera, E., & Toulkeridis, T. (2005). *El Volcán Cotopaxi, una amenaza que acecha*. Quito.
- Andrade, D., Hall, M., Mothes, P., Troncoso, L., Eissen, J.-P., Samaniego, P., . . . Yepes, H. (noviembre de 2005). Los peligros volcánicos asociados con el Cotopaxi. Quito, Ecuador: Corporación Editora Nacional.
- Aneas de Castro, S. (2000). Riesgos y peligros: una visión desde la Geografía. *Scripta Nova (en línea)* (60). Obtenido de <http://www.ub.edu/geocrit/sn-60.htm>
- Chamorro, D. (14 de agosto de 2015). El Instituto Geofísico reportó dos explosiones en el volcán Cotopaxi; ceniza cae en el sur de Quito. *El Comercio*. Recuperado el 19 de julio de 2016, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/ministerio-ambiente-explusiones-volcan-cotopaxi.html>
- Cuatro temblores sacudieron a Quito. (12 de agosto de 2015). *El Comercio*. Recuperado el 19 de julio de 2016, de <http://www.elcomercio.com/actualidad/temblor-sacudio-quito.html>
- FEMA. (2015). *Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook* (Tercera ed.).
- Gestión de Riesgo*. (2009). Recuperado el 15 de agosto de 2016, de [https://protejete.wordpress.com/gdr\\_principal/matriz\\_riesgo/](https://protejete.wordpress.com/gdr_principal/matriz_riesgo/)
- IGEPN. (17 de abril de 2016). *INFORME SÍSMICO ESPECIAL N. 13 - 2016*. Recuperado el 19 de julio de 2016, de <http://www.igepn.edu.ec/servicios/noticias/1317-informe-sismico-especial-n-13-2016>
- Peligro Sísmico Diseño Sismo Resistente NEC-SE-DS*. (2015).
- Riesgo Sísmico, Evaluación, Rehabilitación de estructuras NEC-SE-RE*. (2015).
- Secretaría de Gestión de Riesgos. (s.f). *Mapa de amenaza volcán Cotopaxi*. Obtenido de <https://www.google.com/maps/d/viewer?mid=1YiUOIQopou41BghFs-lEuFGxngXE>



## ANEXO 1. “LA ARMENIA 1”, ÁREA DE ESTUDIO



Área a Evaluarse. Adaptado de: Google Earth.

Elaborado por los autores

Coordenadas de puntos que limitan al Área a Evaluarse			Líderos del perímetro del Área a Evaluarse	
Pto	Latitud	Longitud		
P1	0°17'39.57"S	78°27'55.29"W	P1-P2	Calle José Villalba
P2	0°17'38.71"S	78°27'49.37"W	P1-P10-P9	Calle 18 de Mayo
P3	0°17'42.15"S	78°27'46.96"W	P9-P8	Calle Gonzales Suárez
P4	0°17'49.97"S	78°27'48.40"W	P8-P7	Pasaje entrada a Liceo Naval
P5	0°17'56.61"S	78°27'44.48"W	P7-P6-P5	Líderes Liceo Naval
P6	0°17'59.94"S	78°27'45.90"W	P5-P4-P3	Borde de río San Pedro
P7	0°17'56.42"S	78°27'52.51"W	P3-P2	Calle José Jobaven
P8	0°17'59.47"S	78°27'53.86"W		
P9	0°17'56.82"S	78°27'59.18"W		
P10	0°17'43.49"S	78°27'54.81"W		

Perímetro del área y coordenadas de la misma.

Elaborado por los autores





# ANEXO 2. FORMULARIO FEMA P-154, REGIÓN SÍSMICA MUY ALTA ANEXO 2 – FORMULARIO FEMA P-154, REGIÓN SÍSMICA MUY ALTA

Evaluación Visual Rápida de Edificaciones para Potenciales Peligros Sísmicos  
Formulario de Recolección de Datos FEMA P-154

Nivel II  
MUY ALTA Sismicidad

**FOTOGRAFÍA**

**BOQUEO**

**OTROS IDENTIFICADORES**

Nombre de la Edificación: \_\_\_\_\_  
 Ubicación: \_\_\_\_\_  
 Latitud: \_\_\_\_\_ Longitud: \_\_\_\_\_  
 No.: \_\_\_\_\_ SI: \_\_\_\_\_  
 Evaluaciones: Fecha(s): \_\_\_\_\_  
 No. Pisos: Sótano NPT: \_\_\_\_\_ Pisos NPT: \_\_\_\_\_ Año de construcción: \_\_\_\_\_ (EET)  
 Área total en planta (m<sup>2</sup>): \_\_\_\_\_ Año de estudio: \_\_\_\_\_  
 Amplificación:  Ninguna  Sí, Anexo de Construcción \_\_\_\_\_  
 Ocupación: Aumento General No. Usos  Habitación  Peligro  
 Gobierno central  
 Substrato: Otro: Madera  Concreto armado  
 No. Pisos: Sótano: Madera: Muros: Pisos: Otro: \_\_\_\_\_  
 Tipo de Suelo:  A  B  C  D  E  F  OBR  
 Flaca: Rasa Suave Suelto Suelto Suelto Suelto Asfalto  
 Dura Firme Densa Firme Firme Firme Firme Tipo: (C)  
 Peligros Geológicos: Deslizamiento: SUCURNE Deslizamiento: SUCURNE  
 Roturas de falla de superficie: SUCURNE  
 Afloramiento:  Despeque  Objeto peligroso al caer de edif. más alta.  
 Irregularidades:  En elevación (aperturas),  En planta (pil)  
 Peligros externos:  Chorro de agua en cualquier  Resaca entre juntas  
 Inestabilidad  Acceso construido  
 Otro: \_\_\_\_\_

**CONSTANTE**

**PUNTAJE BÁSICO, MODIFICADORES Y PUNTAJE FINAL DEL NIVEL I, SLI 1**

TIPO DE EDIFICACIÓN FEMA	No se sabe (NKS)	W1	W1A	W2	B1	B2	B3	B4	B5	C1	C2	C3	PC1	PC2	RM1	RM2	URM	MH
Puntaje Básico		2.1	1.9	1.8	1.5	1.4	1.4	1.4	1.2	1.9	1.2	1.8	1.1	1.8	1.1	1.1	1.1	1.1
Irregularidad en Elevación Superior, W.1		-0.9	-0.9	-0.9	-0.7	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.8	-0.8	-0.8	-0.7	-0.7	-0.7	-0.7	-0.6	NA
Irregularidad en Elevación Inferior, W.1		-0.8	-0.5	-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	NA
Irregularidad en Planta, P.1		-0.7	-0.7	-0.5	-0.5	-0.5	-0.5	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	-0.4	NA
Piso delgado		-0.3	-0.3	-0.3	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	-0.2	0.0
Protección		1.9	1.9	2.0	1.9	1.1	1.1	1.9	NA	1.4	1.7	NA	1.5	1.7	1.6	1.6	NA	0.5
Tipo de Suelo A o B		0.5	0.5	0.4	0.3	0.3	0.4	0.3	0.2	0.3	0.1	0.0	-0.2	0.3	0.3	0.3	0.1	0.1
Tipo de Suelo C (1-2 pisos)		0.0	-0.2	-0.4	-0.5	-0.2	-0.2	-0.2	-0.1	-0.1	-0.2	-0.2	-0.1	-0.2	-0.1	-0.2	-0.3	-0.1
Tipo de Suelo C (3+ pisos)		-0.4	-0.4	-0.4	-0.3	-0.3	NA	-0.3	-0.1	-0.1	-0.1	-0.1	NA	-0.1	-0.2	-0.2	0.0	NA
Puntaje Máximo, Sótano		0.7	0.7	0.7	0.8	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	1.0

**PUNTAJE FINAL DEL NIVEL 1, SLI 1 sin**

EXTENSIÓN DE LA REVISIÓN	OTROS PELIGROS	ACCIÓN REQUERIDA
Examen: <input type="checkbox"/> Parcial <input type="checkbox"/> Todo el edificio <input type="checkbox"/> Otro Inspección: <input type="checkbox"/> Ninguna <input type="checkbox"/> Visible <input type="checkbox"/> Ingresa Planos Revisados: <input type="checkbox"/> Sí <input type="checkbox"/> No Fuente del Tipo de Suelo: _____ Peligros de los Peligros Geológicos: _____ Persona Inspectora: _____	¿Existen otros peligros que hacen que se requiera una Evaluación Sísmica Detallada? <input type="checkbox"/> Peligros geológicos, (a menos que SLI 2 + que el puntaje final sea aceptable) <input type="checkbox"/> Peligros de objetos que pueden caer de edificaciones adyacentes <input type="checkbox"/> Peligros geológicos o suelo Tipo F <input type="checkbox"/> Inestabilidad geológica en el sistema estructural	¿Se requiere de una Evaluación Sísmica Detallada? <input type="checkbox"/> Sí, tipo de edificación (EET) o de uso o de otro tipo de edificación. <input type="checkbox"/> Sí, puntaje menor que el puntaje final aceptable. <input type="checkbox"/> Sí, otros peligros presentes. <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/> Se recomienda una Evaluación Sísmica Detallada (EET) o una EET. <input type="checkbox"/> Sí, puntaje no menor que el puntaje final aceptable que debería ser evaluado. <input type="checkbox"/> No, ningún peligro no estructural que requiera de inspección, planos o de otro tipo de evaluación detallada. <input type="checkbox"/> No, no se han identificado peligros no estructurales. <input type="checkbox"/> Otro

**EVALUACIÓN DEL NIVEL 2 REALIZADA?**  
 Sí, Puntaje Final Nivel 2, SLI 2  No  
 Peligros no estructurales T  Sí  No

Proporcionar información que se pueda ser utilizada, si evaluar el edificio, si evaluar el edificio, analizar el sistema EET + Peligros + Acción de evaluación: (EET) o No lo Es

1. Examen: 0.00 - Peligros no estructurales; 0.25 - Examen preliminar; 0.50 - Examen detallado; 1.00 - Examen completo; 1.50 - Peligros no estructurales; 2.00 - Peligros no estructurales; 2.50 - Peligros no estructurales; 3.00 - Peligros no estructurales; 3.50 - Peligros no estructurales; 4.00 - Peligros no estructurales; 4.50 - Peligros no estructurales; 5.00 - Peligros no estructurales

# EVALUACIÓN TÉCNICO-VISUAL DE ESTRUCTURAS SEGÚN NEC-SE-RE EN EL SECTOR "LA ARMENIA 1" PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGO ANTE FENÓMENOS NATURA- LES ESPECÍFICOS.

**Evaluación Visual Rápida de Edificaciones para Potenciales Peligros Sísmicos**  
**Formulario de Recolección de Datos FEMA P-154**

**Nivel 2 (Opcional)**  
**MUY ALTA SISMICIDAD**

La evaluación de Nivel 2 debe ser realizada por un ingeniero civil o estructural, arquitectos o estudiantes graduados que tengan experiencia en la evaluación o diseño sísmico de estructuras.

<b>Nombre de la edificación:</b>	<b>Puntaje Final Nivel 1:</b> SL1 = _____ (no considerar S <sub>m</sub> in)	
<b>Evaluadores:</b>	<b>Modificadores de Irregularidad Nivel 1:</b> Irregularidad en elevación, VL1 = _____	Irregularidad en planta, PL1 = _____
<b>Fecha/Hora:</b>	<b>PUNTAJE AJUSTADO BASE:</b> S' = (SL1 + VL1 + PL1) = _____	

**MODIFICADORES ESTRUCTURALES PARA SER CONSIDERADOS EN EL PUNTAJE AJUSTADO BASE**

Tema	Enunciado (si es verdadero, encerrar en un círculo el modificador "S"; caso contrario tachar el modificador.)	SI	Subtotales
Irregularidad en elevación, VL2	Terreno en pendiente Edificación W1: Existe al menos un piso completo de diferencia de nivel entre un lado de la edificación con respecto al otro.	-0.9	
	Piso débil y/o piso blando (enrrostrar máximo uno) Edificación W1: Existe al menos un piso completo de diferencia entre un lado de la edificación con respecto al otro.	-0.2	
	Edificación W1 con paredes cortas de entramado de madera: es visible una pared corta de entramado de madera no arriostrada en el espacio dejado.	-0.5	
	Edificación W1 con espacio ocupado sobre el garaje: Por debajo del piso ocupado, existe un garaje sin un pórtico de acero resistente a momento, y existe menos de 20 cm de pared en la misma línea (para múltiples pisos ocupados por encima del garaje, usar como mínimo 40.6 cm de pared)	-0.9	
	Edificación W1A con abertura frontal: Existen aberturas en la planta baja (como parqueaderos) sobre al menos el 50% de la longitud de la edificación.	-0.9	
	Edificación no W1: La longitud del sistema lateral en cualquier piso es menor que el 50% que la del piso superior o la altura de cualquier piso es mayor de 2.0 veces la altura del piso superior.	-0.7	
	Edificación no W1: La longitud del sistema lateral en cualquier piso se encuentra entre el 50% y 75 % que la del piso superior o la altura de cualquier piso está entre 1.3 y 2.0 veces la altura del piso superior.	-0.4	
	Discontinuidad Los elementos verticales del sistema lateral en un piso superior están desplazados hacia fuera con aquellos en el piso inferior causando que el diafragma de piso trabaje en voladizo.	-0.7	
	Los elementos verticales del sistema lateral en pisos superiores están desalineados hacia adentro con aquellos en pisos inferiores.	-0.4	
	Existen una discontinuidad en el plano de los elementos laterales que es mayor que la longitud de estos elementos.	-0.2	
Irregularidad en planta, PL2	Columnas cortas C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: Al menos el 20% de las columnas (o pilares) a lo largo del eje de columna en el sistema lateral tienen relaciones altura/profundidad menores al 50% de la relación nominal altura/profundidad en ese nivel.	-0.4	
	C1, C2, C3, PC1, PC2, RM1, RM2: La profundidad de la columna (o ancho de pilares) es menor que la mitad de la profundidad del antepecho, o existen paredes de relleno o pisos adyacentes que acortan a la columna.	-0.4	
	Nivel desplazado Existe un nivel desplazado en una de las plantas o en el techo.	-0.4	
	Otra irregularidad Se observa otra irregularidad severa en elevación que obviamente afecta al desempeño sísmico de la edificación.	-0.7	VL2 = _____
	Se observa otra irregularidad moderada en elevación que pueda afectar al desempeño sísmico de la edificación.	-0.4	(Tope en -0.9)
	Irregularidad torsional: El sistema lateral no aparece relativamente bien distribuido en planta en cualquier dirección o en ambas direcciones.	-0.5	
	Sistemas no paralelos: Existen uno o más elementos verticales principales del sistema lateral que no son ortogonales entre sí.	-0.2	
	Esquina reentrante: Ambas proyecciones desde una esquina interior superan el 25% de toda la dimensión en planta en esa dirección.	-0.2	
	Abertura de diafragma de piso: Existe una abertura en el diafragma de piso con un ancho mayor al 50% del ancho total del diafragma en ese nivel.	-0.2	
	Discontinuidad fuera del plano en Edificaciones C1, C2: Las vigas exteriores no están alineadas con las columnas en planta.	-0.2	PL2 = _____
Redundancia Otra irregularidad: Se observa otra irregularidad en planta que obviamente afecta al desempeño sísmico de la estructura.	-0.5	(Tope en -0.7)	
La edificación tiene al menos dos vanos con elementos laterales en cada lado de la edificación en cada dirección.	-0.2		
Golpeo	La edificación está separada de la estructura adyacente en menos de 61 cm.	-0.7	
	Los pisos no se alinean verticalmente por más de 61 cm.	-0.7	
	Una edificación es 2 o más pisos más alta que la otra.	-0.7	
	La edificación está al final del bloque de edificaciones.	-0.4	
Edificación S2	Arriostramiento con geometría K.	-0.7	
Edificación C1	Picazas planas sirven como o vigas en el pórtico resistente a momento.	-0.3	
Edificación PC1/RM1	Existen conexiones entre muros y el techo que son visibles o que se las ha podido apreciar en planos que no tienen tensión perpendicular a las fibras. (No se combina con modificadores de Post-Referencia o Readequación)	+0.2	
Edificación PC1/RM1	La edificación está estrechamente espaciada, paredes interiores de altura completa (en lugar de un espacio interior con pocas paredes como en un almacén).	+0.2	
URM	Paredes triangulares presentes.	-0.3	
MH	Existencia de un sistema de arriostramiento sísmico adicional, implementado entre la estructura y el suelo	+0.5	
Readequación	Reforzamiento sísmico integral es visible o se conoce de planos de la edificación.	+1.2	M = _____

**PUNTAJE FINAL NIVEL 2, SL2 = (S' + VL2 + PL2 + M) ≥ S<sub>m</sub> in:** (Transferir al formulario del Nivel 1)

Se observa algún daño o deterioro u otra condición que afecta negativamente al desempeño sísmico de la edificación:  SI  No  
Si ha marcado "SI", describir la condición en la sección comentarios en la parte inferior e indicar en el formulario del Nivel 1 que una evaluación detallada es requerida independiente del puntaje de la edificación.

**PELIGROS NO ESTRUCTURALES EVIDENTES:**

Ubicación	Aspecto (Chequear "SI" o "No")	SI	No	Comentario
Exterior	Existe un antepecho de mampostería no reforzada no arriostrada o una chimenea de mampostería no reforzada			
	Existen revestimientos pesados			
	Existe una cubierta pesada sobre puertas de salida o pasillos peatonales que parecen estar soportados de manera inadecuada.			
	Existe un anexo de mampostería no reforzada sobre puertas de salida o pasillos peatonales.			
	Existe un letrero colocado en la edificación que indica que hay materiales peligrosos presentes			
Interior	Existe una edificación adyacente más alta con una pared URM no anclada o un antepecho URM no arriostrados o chimenea.			
	Otro peligro exterior observable no estructural que pueda caer.			
	Existen lajas de arcilla o tabiques de ladrillo en gradas o corredores de salida.			
	Otro peligro interior observable no estructural que pueda caer.			

**Desempeño Sísmico No Estructural Estimado** (Chequear el recuadro apropiado y transferirlo a las conclusiones del formulario del Nivel 1)

- Peligros potenciales no estructurales con una amenaza significativa a la seguridad de vida de los ocupantes → Evaluación No Estructural Detallada Recomendada
- Peligros no estructurales identificados con una amenaza significativa a la seguridad de vida de los ocupantes → Pero no requiere una Evaluación No Estructural Detallada
- Peligros no estructurales menores o inexistentes que amenazan a la seguridad de vida de los ocupantes → No se requiere Evaluación No Estructural Detallada

**Comentarios:**

### ANEXO 3. RESULTADOS DE ESTRUCTURAS QUE REQUIEREN Y NO REQUIEREN DE UNA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL DETALLADA.



## ANEXO 4. RESULTADOS DEL GRADO DE AFECTACIÓN POR CAÍDA DE CENIZA Y PIROCLASTOS



## ANEXO 5. RESULTADOS DEL GRADO DE AFECTACIÓN DE LAS ESTRUCTURAS ANTE LOS FLUJOS DE LODO Y ESCOMBROS



