

UNIVERSIDAD PERUANA UNIÓN

FACULTAD DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA

Escuela Profesional De Ingeniería Civil



Una Institución Adventista

Análisis de las ventajas y desventajas del método FEMA-154 empleando en la evaluación de edificaciones con posible riesgo sísmico

Trabajo de Investigación para obtener el Grado Académico de
Bachiller en Ingeniería Civil

Por:

Nicool Betsabe Orostegui Melendrez

Asesor:

Roberto Roland Yoctun Rios

Lima, diciembre 2020

DECLARACION JURADA DE AUTORIA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

Roberto Roland Yoctún Rios, de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Escuela Profesional de Ingeniería Civil, de la Universidad Peruana Unión.

DECLARO:

Que el presente trabajo de investigación titulado: “Análisis de las ventajas y desventajas del método FEMA-154 empleando en la evaluación de edificaciones con posible riesgo sísmico”. Constituye la memoria que presenta la estudiante Nicool Betsabe Orostegui Melendrez para aspirar al grado de bachiller en Ingeniería Civil, cuyo trabajo de investigación ha sido realizado en la Universidad Peruana Unión bajo mi dirección.

Las opciones y declaraciones en este trabajo de investigación son de entera responsabilidad del autor, sin comprometer a la institución.

Y estando de acuerdo, formo la presente declaración en Lima, a los 3, diciembre del 2020.



Ing. Roberto Roland Yoctún Rios

ACTA DE SUSTENTACIÓN DE TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

En Lima, Ñaña, Villa Unión, a los 3 día(s) del mes de diciembre del año 2020 siendo las 17:15 horas, se reunieron los miembros del jurado en la Universidad Peruana Unión campus Lima, bajo la dirección del (de la) presidente(a): Ing. Carlos Franck Yoctun Ríos, el (la) secretario(a): Mg. Leonel Chahuares Paucar y los demás miembros: Ing. Fiorella Maira Zapata Antezana y el (la) asesor(a) Ing. Roberto Roland Yoctun Ríos con el propósito de administrar el acto académico de sustentación del trabajo de investigación titulado: "Análisis de las ventajas y desventajas del método FEMA-154 empleando en la evaluación de edificaciones con posible riesgo sísmico". de los (las) egresados (as):

a) **NICOOL BETSABE OROSTEGUI MELENDREZ**
 b)

conducente a la obtención del grado académico de Bachiller en:

INGENIERÍA CIVIL

(Denominación del Grado Académico de Bachiller)

El Presidente inició el acto académico de sustentación invitando al candidato(a)/s hacer uso del tiempo determinado para su exposición. Concluida la exposición, el Presidente invitó a los demás miembros del jurado a efectuar las preguntas, y aclaraciones pertinentes, las cuales fueron absueltas por el candidato(a)/s. Luego, se produjo un receso para las deliberaciones y la emisión del dictamen del jurado.

Posteriormente, el jurado procedió a dejar constancia escrita sobre la evaluación en la presente acta, con el dictamen siguiente:

Candidato/a (a): **NICOOL BETSABE OROSTEGUI MELENDREZ**

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	
APROBADO	16	B	BUENO	MUY BUENO

Candidato/a (b):

CALIFICACIÓN	ESCALAS			Mérito
	Vigesimal	Literal	Cualitativa	

(*) Ver parte posterior

Finalmente, el Presidente del jurado invitó ... al... candidato(a)/s a ponerse de pie, para recibir la evaluación final y concluir el acto académico de sustentación procediéndose a registrar las firmas respectivas.

 Presidente
 Ing. Carlos Franck Yoctun
 Ríos



 Secretario
 Mg. Leonel Chahuares
 Paucar

 Asesor
 Ing. Robert Roland
 Yoctun Ríos

 Miembro

 Miembro
 Ing. Fiorella Maira
 Zapata Antezana

 Candidato (a)
 Nicool Betsabe
 Orostegui Melendrez

 Candidato/a (b)

Análisis de las ventajas y desventajas del método FEMA-154 empleando en la evaluación de edificaciones con posible riesgo sísmico

OROSTEGUI MELENDREZ NICCOOL*

EP. Ingeniería Civil, Facultad de Ingeniería y Arquitectura, Universidad Peruana Unión, Perú

Resumen

El objetivo de este trabajo es analizar las ventajas y desventajas del método FEMA – 154, empleados en la evaluación de las edificaciones con posible riesgo sísmico. La evaluación del riesgo sísmico o vulnerabilidad sísmica es muy importante, esta evaluación consta de dos métodos, uno es el método cuantitativo y el otro método es cualitativo, en este artículo de investigación utilizaremos el método cualitativo, este método está basado en el diagnóstico FEMA – 154 (Rapid Visual Screaming, RVS), este procedimiento sirve para la estimación de puntajes estructurales para los edificios, lo cual mediante los resultados hallados podremos saber en qué estado se encuentra la edificación. Es muy importante aprender sobre este método de evaluación, para poder realizar una correcta evaluación.

Palabras clave: FEMA - 154; evaluación; método; riesgo sísmico; edificación.

Abstract

The objective of this work is to analyze the advantages and disadvantages of the FEMA - 154 method, used in the evaluation of buildings with possible seismic risk. The evaluation of seismic risk or seismic vulnerability is very important, this evaluation consists of two methods, one is the quantitative method and the other is qualitative, in this research article we will use the qualitative method, this method is based on the diagnosis of FEMA: 154 (Rapid Visual Screaming, RVS), this procedure is used to estimate the structural scores of the buildings, which through the results found we will be able to know what state the building is in. It is very important to know this evaluation method, in to carry out a correct evaluation.

Key words: FEMA - 154; evaluation; method; seismic risk; edification.

**Correspondencia de Nicool Betsabe Orostegui Melendrez*

Km. 19 Carretera Central, Ñaña, Lima.

E-mail: nicoolrostequi@upeu.edu.pe

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existen distintos métodos, los cuales sirven para el estudio de vulnerabilidad sísmica dentro de los cuales está el método FEMA – 154, el cual veremos cómo es empleado en un estudio de distintas edificaciones que sufrieron daños en terremotos, sismos o algún otro desastre natural, pero este método no solo es usado en edificaciones que estén dañadas, sino también en algunas otras edificaciones que quieran ver en qué estado se encuentra, si necesitara o no un refuerzo o una evaluación detallada.

El fin de este artículo es el análisis de las ventajas y desventajas del método FEMA – 154, mediante la revisión bibliográfica con métodos cualitativos, lo cual se realizara desarrollo de la investigación sobre este método para conocer cuáles son sus ventajas y desventajas y posterior a ello podremos realizar un análisis de estos.

El método maneja un formato que completa una descripción de la edificación que incluye: localización, número de pisos, año de construcción, área de construcción, nombre del edificio, uso, foto de la edificación, un espacio para esquematizar irregularidades tanto en planta como en elevación.

DESARROLLO DEL TEMA

Método fema – 154:

Es un método cualitativo, sirve para identificar rápidamente, realizar un inventario e identificar los edificios que representan riesgos, lesiones o si tendrán limitación en su uso después de un sismo. Este método también nos determina si la edificación se reforzará, y esto lo hace a través de un índice. (Charón, Ramírez, & Portela., 2003)

Según Sameh A. en su estudio de la evaluación de vulnerabilidad sísmica de edificaciones existentes de RC, nos menciona que es necesaria la evaluación de vulnerabilidad sísmica de los edificios existentes, la evaluación del riesgo sísmico considera la probabilidad de un terremoto de una magnitud o intensidad particular que afecte a la estructura. el método FEMA 154 esta vasado en una evaluación de puntajes los cuales generalmente varían de 0 a 7 con puntajes más altos que corresponden a un mejor rendimiento sísmico esperado. Los edificios con una puntuación final de 2 o menos deben investigarse en la evaluación detallada. Sameh A. nos menciona que los edificios que no lograron la resistencia sísmica en la inspección visual rápida, se utilizara el procedimiento de múltiples fases de ASCE / SEI 41-13. (Sameh A. El-Betar, 2016)

El modelo de estudio de caso 1 es una muestra de edificios de la vieja escuela de Egipto, que fue diseñado y construido durante tres décadas antes del terremoto de 1992. Para este caso nos brinda los

siguientes datos: La altura típica del suelo del modelo es de 3,3 m y el suelo desde el nivel de los cimientos es de 4,5 m. El modelo está completamente diseñado para cargas de gravedad para representar los edificios GLD. El sistema de resistencia a la carga lateral en ambas direcciones consiste en marcos de hormigón armado no dúctil. El edificio tiene paredes de ladrillo huecas llenas con una gran abertura, por lo que las paredes de relleno se descuidan. Las secciones transversales de las columnas exteriores e interiores son 250 x 500 mm y 250 x 600 mm. Las secciones transversales de las vigas son 120 x 620 mm para B1, 120 x 920 mm para B2 y 250 x 720 mm para B3.

El segundo estudio de caso representa los edificios escolares que se construyeron en Egipto después de 1990. El edificio consta de columnas y vigas monolíticamente fundidas con losas macizas. La altura típica del piso es de 3.45 m, mientras que la altura del piso es de 4.5 m. El edificio está diseñado de acuerdo con el código egipcio. Las secciones transversales de las columnas exteriores e interiores son 300 x 700 mm y 300 x 800 mm. La sección transversal de las vigas es de 250 x 700 mm.

Los estudios de caso no incluyen irregularidades verticales o planas o golpes. Por lo tanto, solo el Nivel 1 en FEMA P-154, para este caso se utilizó el modificador de puntajes. Donde se tuvo en cuenta que los estudios de caso se ubican en una región de sismicidad moderada y de un tipo de suelo denso. (Sameh A. El-Betar, 2016)

Tabla 1 Determinación del Puntaje final a partir del formulario de recolección de datos.

	Caso 1 (vieja escuela)	Caso 2 (nueva escuela)
Puntaje básico	2.1	2.1
Irregularidad vertical severa	-1.1	-1.1
Irregularidad vertical Moderada	-0.7	-0.7
Irregularidad de plan	-0.8	-0.8
Pre-codificar	-0.3	-0.3
Después del código	2	2
Suelo de roca dura	1.1	1.1
Suelo blando (1-3 pisos)	-0.7	-0.7
Suelo blando (>3 pisos)	-0.8	-0.8
Puntaje mínimo	0.3	0.3
Puntuación final	1.8	4.1
Comentario	Requiere evaluación detallada	

Fuente: (Sameh A. El-Betar, 2016)

En el caso 1 la puntuación total (S) es igual a 1.8 que es menor que 2 por lo tanto, el edificio ha necesitado una evaluación detallada.

En el caso 2 la puntuación total (S) es igual a 4.1 que es mayor a 2 por lo que no necesitara una evaluación detallada.

Se determinó que los edificios escolares GLD tienden a ser más vulnerables bajo altas cargas sísmicas, que los edificios escolares diseñados de acuerdo al código egipcio, ya que estos tienen una alta capacidad para resistir terremotos.

Adalberto V, Rommel D.. La isla Isabela de Galápagos, se considera una zona de sismicidad alta según la norma ecuatoriana con un factor de Z 0.30 g. Para realizar este estudio se utilizó dos metodologías de inspección sísmica 1: los Índices de Priorización de Edificios para la Gestión del Riesgo Sísmico de la Fundación Venezolana de Investigación Sismológicas (FUNVISIS). 2: la Inspección Visual Rápida (IVR). (Adalberto Vizconde. Rommel Delgado. , 2018)

Durante la recolecta de datos se logró identificar algunas tipologías que fallaron durante el sismo de Bahía de Caráquez y el de Pedernales en 1998 y 2016. Las tipologías estructurales típicas según el FEMA P-154 Encontradas fueron: Pórtico con tabique de mampostería de Relleno (C3), Pórtico de concreto resistente a momento (C1), Pórtico de madera ligera para vivienda unifamiliar (W1). Mampostería reforzada con piso rígido (RM1) y Mampostería No reforzada (URM). (Adalberto Vizconde. Rommel Delgado. , 2018)

Tabla 2. Sistema Estructural Identificados según FEMA 54

Sistema Estructural	Puntaje Básico	Puntaje mínimo (Smin)
C1	1.4	0.3
C3	1.7	0.3
W1	4.1	1.6
RM1	1.8	0.3
URM	1.2	0.2

Fuente: (Adalberto Vizconde. Rommel Delgado. , 2018)

El edificio Karina en Bahía de Caráquez sufrió daños en los extremos de las columnas en sus dos primeros pisos y poseía sólo 9 columnas con la consiguiente falta de redundancia estructural. Este edificio clasificado como un pórtico resistente a momento (C1) poseía columnas de 35x35 cm en el primer piso y 35x30 cm en el segundo piso, además de vigas banda ancha de 30 cm x25 cm de peralte

embebidas en la losa. Obtuvo un SL_1 de 0.2, menor al S_{min} de 0.3, por tanto, era vulnerable y requería una evaluación más detallada. (Adalberto Vizconde. Rommel Delgado. , 2018)

La vivienda esquinera de Manta y el Hostal El Ancla, ambas catalogadas como pórticos resistentes a momento C1, aunque este sistema estructural no es propiamente un C1 debido a la ausencia de vigas peraltadas las dos direcciones principales, obtuvieron un puntaje SL_1 de 0.1 y 0.2, respectivamente. Ambos son menores al S_{min} de 0.3, por tanto, eran vulnerables y requerirían un nivel 2 de evaluación y una evaluación estructural más detallada.

Durante la evaluación de la escuela Cornelio Izquierdo, tipo URM, con estructura frágil e irregularidad tipo L en planta. El método FEMA 154 nos dio como dato que esta edificación no es vulnerable, pero durante la evaluación usando la metodología FUNVISIS obtuvo un $I_v = 85.4$, siendo muy vulnerable. Mediante el desarrollo del tema llegaron a la conclusión que el Ecuador si era factible el uso del método FEMA, entre otros métodos; para la evaluación de la vulnerabilidad sísmica y su riesgo de las 50 edificaciones que usaron dentro de las cuales estaban viviendas, comerciales, hoteles, escuelas e otros. Al realizar la evaluación tuvieron como dato que el total de las edificaciones inspeccionadas se encuentran en una zona de alta amenaza sísmica según la NEC y modera alta según el FEMA P 154.

Endah W, Data I. Pujo A, Firman B, menciona que el formulario del método FEMA 154 sirve para la identificación del sistema estructural primario resistente. Este estudio se realizó con los siguientes edificios; el edificio de Administración de la academia ATK; el edificio del dormitorio del Ministerio del Interior; el edificio de oficinas del departamento de agricultura; el edificio educativo de Politécnicos de la Salud. La recopilación de datos previos fue analizada y registrados para la encuesta de campo, para el análisis del edificio.

En este estudio vemos nuevamente los puntajes finales y ellos nos mencionan que varían de 0 a 7, con puntajes S más altos correspondientes a un mejor rendimiento sísmico esperado. Se sugiere una puntuación S de 2 como "corte", según los criterios de diseño sísmico actuales. Usando este nivel de corte, los edificios que tienen una puntuación S de 2 o menos deben ser investigados por un profesional de diseño con experiencia en diseño sísmico. (Endah W. A. Iranata D. Firman B., 2016)

El estudio se determinó que el edificio de Administración de la Academia ATK con el método FEMA 157 (IVR) la puntuación del edificio fue de 2.8. Significa que el edificio es seguro. De la misma manera los edificios del dormitorio del Ministerio del Interior; el edificio de oficinas del departamento de agricultura; el edificio educativo de Politécnicos de la Salud, con resultados de 3.3 y 3.9 de puntuación final (S) por lo que estos edificios no requieren una evaluación detallada. Se puede decir

que todos los edificios son adecuados para el método RVS de FEMA 154. Llegando a la conclusión de que todos los edificios están a salvo del terremoto por el método FEMA 154. (Endah W. A. Iranata D. Firman B., 2016)

Tabla 3 Determinación del Puntaje final a partir del formulario de recolección de datos.

Tipo de Construcción	W2 (Wood)	S2 (BR)	C1 (MRF)
Puntaje básico	3.8	3.0	2.5
Irregularidad vertical	-0.2	-0.15	-1.5
Irregularidad de plan	-0.5	-0.5	-0.5
Pre-codificar	-1.0	-0.8	-1.2
Post-benchmarking	1.4	1.4	1.4
Tipo de suelo C	-0.4	-0.4	-0.4
Tipo de suelo D	-0.8	-0.6	-0.6
Tipo de suelo E	-0.8	-1.2	-1.2
Puntuación final	3.9	3.3	2.8
Comentario	NO Requiere evaluación detallada	NO Requiere evaluación detallada	NO Requiere evaluación detallada

Fuente: (Endah W. A. Iranata D. Firman B., 2016)

Amir M, Ehsan H, en el estudio de la evaluación de seguridad sísmica de edificios a través de la detección visual rápida, aplicaran el método FEMA 154 para la estimación preliminar de daños de edificios de hormigón armado. Este método fue desarrollado para filtrar y priorizar los edificios para una evaluación integral que ahorre tiempo y recursos. (Amir M., 2020)

Para poder examinar la aplicabilidad, se utilizaron tres métodos los cuales fueron FEMA P-154, este método es el más actualizado en 2015 y es la tercera edición de FEMA 154, Método Indio (IITK-GSDMA) y método Turco (EMPI), lo cual se logró mediante una comparación.

Este estudio de calles se realizó en las calles de Bingöl, Turquía, inmediatamente después del terremoto del 1 de mayo de 2003. De la encuesta, se seleccionó información sobre 28 edificios para este estudio. La ciudad está en la parte oriental de Turquía, con un área aproximada de 8125 km. 2) Se han producido varios terremotos en esta región, en la cual los últimos dos eventos históricos importantes fueron Kovancilar en 1789 y Karlioiva en 1875. (Amir M., 2020)

De acuerdo a FEMA, Bingöl se encuentra en una zona de alta sísmica y por lo tanto se utilizó el formulario de recopilación de datos de alta zona sísmica. FEMA P-154 clasifico el tipo de suelo como tipo C, también se denotaron do tipos de construcción C2 y C3. (Amir M., 2020)

Tabla 4. Rangos de examen de detección visual rápida (RVS) y escalas con definición de estado de daño.

RVS a escala	Estado de daño	Definición
1 – 1.55	1	Muy alta probabilidad de grado 5 y alta probabilidad de grado 4
1.56 – 2.55	2	Probabilidad moderada de grado 4 y alta probabilidad de grado 3
2.56 – 3.55	3	Muy alta probabilidad de grado 3 y poca probabilidad de grado 2
3.56 – 4.55	4	Muy alta probabilidad de grado 2 y poca probabilidad de grado 1
4.56 – 5	4	Poca probabilidad de grado 2 y muy alta probabilidad de grado 1

Fuente: (Amir M., 2020)

Donde FEMA P-154 estimó casi el 58 por ciento de los edificios como estado de daño 1, lo cual no fue apropiado en consideración, ya que había menos edificios que mostraban el estado 1 y 2 en los datos de daños reales. Mientras tanto, Indian RVS no estimó ningún edificio como estado de daño 1, lo que tampoco es aceptable ya que hay menos edificios con daños de grado 1 y 2 en los datos reales del edificio. Además,

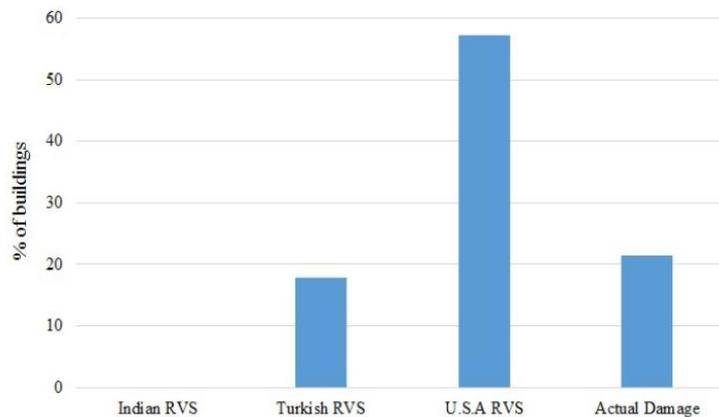


Ilustración 1. Porcentaje de los edificios en estado de daño 1 evaluados por diferentes metodologías RVS.
Fuente: Amir M.

En conclusión de presentaron tres enfoques alternativos para estamos el daño sísmico potencial a los edificios de hormigón armado existentes en Bingöl en Turquía. A partir de los resultados de este estudio, se puede determinar que el RVS turco (EMPI) tiene una eficiencia significativa en la evaluación de la vulnerabilidad de los edificios en la región de Bingöl. (Amir M., 2020)

Tabla 5. Ventajas y Desventajas de uso del método FEMA 154

Ventajas	Desventajas
<p>Es una metodología que proporciona la evaluación de la seguridad sísmica de una gran cantidad de edificios de forma rápida y económica.</p> <p>La ventaja de este método es que para realizar la evacuación no es necesario realizar constantes visitas a la edificación, es posible realizar son los datos adquiridos como la localización, número de pisos, uso de la edificación el área y la foto de la edificación.</p> <p>Esta metodología puede ser empleada en cualquier tipo de edificación y en cualquier lugar, como pudimos observar existen muchas investigaciones del uso del método FEMA – 154 en muchos países.</p>	<p>Esta metodología es muy conservadora, por lo cual tiene la desventaja de que puede ser demasiado conservador y la puntuación asignada puede indicar que el edificio posee un riesgo mayor de la que tiene.</p>

Fuente: Elaboración Propia

CONCLUSIONES

Pudimos observar que cada estudio realizado podemos ver que las ventajas de uso del método fema son más que las desventajas ya que es un método muy empleado en todas partes de mundo.

Durante el estudio realizado se obtuvo datos favorables, donde cada uno de ellos pudo obtener su puntuación final, sea para que la edificación tenga una evaluación detallada o que esa edificación tiene la capacidad de resistir movimiento sísmicos.

Sameh A. en su estudio obtuvo que su Caso 1 requeriría de una evaluación detallada ya que su puntuación final fue de 1.8 lo que nos quiere decir que el edificio no podría soportar un terremoto, pero en su Caso 2 no requeriría de una evaluación detallada, porque su puntuación final (S) fue de 4.1 lo que nos quiere decir que la edificación es capaz de resistir un terremoto.

Adalberto V, Rommel D, en el estudio de la evaluación de la escuela Cornelio Izquierdo, con el método FEMA 154 obtuvo los tipos de sistemas estructurales, C1, C3, W1, RM1 y URM. Donde llegaron a la conclusión que el de tipo URM con estructura frágil e irregularidad tipo L en planta, el cual el método

FEMA 154 nos dio como dato que esta edificación no es vulnerable, pero mediante la evaluación con el método FUNVISIS obtuvo un $I_v = 85.4$, siendo muy vulnerable. Lo que nos quiere decir que la edificación si requiere de una evaluación detallada.

Endah W, Data I. Pujo A, Firman B, en tu estudio realizado a los edificios estructurales de la Administración de la academia ATK; el edificio del dormitorio del Ministerio del Interior; el edificio de oficinas del departamento de agricultura; el edificio educativo de Politécnicos de la Salud. Durante la evaluación con el método FEMA 154 obtuvieron como puntuación final (S) 2.8, 3.3 y 3.9 por lo que llegaron a la conclusión de que los edificios están seguros del terremoto

En el análisis de Amir M, Ehsan H, el método RVS Turco (EMPI) tuvo una eficiencia significativa en la evaluación de la vulnerabilidad de los edificios en la región de Bingöl, en cuanto al método Indian RVS y el método FEMA154 fueron los que estaban más lejos de la estimación real de los daños.

Por lo que llegamos a una conclusión, que el método FEMA – 154, es un método efectivo y muy práctico, así como también vimos que es un método utilizado a nivel mundial. Lo cual es muy recomendable su empleo en la evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas con posible riesgo sísmico. Se pudo realizar evaluación exitosa de cada uno de las edificaciones.

REFERENCIAS

- Adalberto Vizconde. Rommel Delgado. . (2018). Evaluación del riesgo sísmico de edificaciones existentes en la isla Isabel, Glapagos. Ciencia e Investigación, 8.
- Amir M., E. H. (2020). Evaluación de seguridad sísmica de edificios a través de la detección visual rápida. MDPI, 15.
- Budi S. Cahyono B. Wahyuniarsih S. Endah W. (2018). Evaluación de edificios vulnerables debido a la carga del terremoto. Advanced Science Engineering., 6.
- Charón, I. J., Ramírez, I. J., & Portela., I. G. (2003). Inspección rápida para estructuras a ser consideradas para desalojo vertical.
- Endah W. A. Iranata D. Firman B. (2016). Estudio de detección visual rápida de edificios en busca de riesgos sísmicos de alto potencial según norma Indonesia. 4.
- Hernández, José; Lockhart Castro; Sindy Antonio. (2011). Metodología para la investigación de la vulnerabilidad sísmica de edificaciones de hormigón armado existente. Redalyc.org, 21.
- Herrera, M. C. (2019). Inspección Sísmica Visual Rápida de los edificios de la Universidad de Piura por el Método FEMA 154. Piura .
- Herrera, M. C. (Febrero de 2019). Inspección Sísmica Visual Rápida de los edificios de la universidad de Piura por el Método FEMA -154 . Tesis. Piura, Piura, Lima.
- Sameh A. El-Betar. (2016). Seismic vulnerability evaluation of existing R.C. buildings. HBRC, 9.