

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIA E INGENIERIA



Procedimiento para una evaluación estructural en una vivienda de concreto armado

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de bachillera en ciencias con mención en

INGENIERÍA CIVIL

AUTORAS:

Espada Chilin, Sharon Mercedes
Mego Farías, Andrea Silvana

Trabajo de investigación para obtener el grado académico de bachiller en ciencias con mención en

INGENIERÍA CIVIL

AUTORES:

Quevedo Rivera, Hans Félix
Barreto Mauricio, Ronald Jesús
Ñaupari Diaz, Antonio Hildebrando

ASESOR

Robinson Ucañan Diaz

Lima, diciembre,2020

RESUMEN

En el Perú la construcción de concreto armado es un sistema típico en viviendas de pequeña altura (2-4 pisos), esto debido al impactante y descontrolado crecimiento poblacional que ha sufrido el país y que ha motivado la construcción masiva de este tipo de viviendas con la finalidad de albergar a las familias, muchas de las cuales emplean la autoconstrucción. Además, esta mencionada autoconstrucción se aprecia más en los sectores socioeconómicos más bajos, en donde el factor calidad se ve opacado por el factor económico, y por ende la seguridad de la vivienda es discutible.

Respecto de este último aspecto, el Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento (2018), señaló que las viviendas particulares constituyen un espacio importante de desarrollo y seguridad para las familias, siendo esta afectada por el significativo impacto que tiene la autoconstrucción en la calidad de estas viviendas.

Es por esto que surge la necesidad de encontrar alternativas que permitan realizar una evaluación estructural en una vivienda de concreto armado con la finalidad de posteriormente poder ejecutar la reparación o reforzamiento para este tipo de vivienda. De manera que se le brinde una garantía de funcionalidad y seguridad.

En ese sentido, la investigación propuesta contribuirá a determinar un método viable tanto técnica como económicamente para una evaluación estructural en una vivienda de concreto armado que evalúe el desempeño sísmico de una vivienda, para esto se realizará una comparación de los distintos métodos de evaluación estructural en viviendas de concreto armado encontrados en las distintas normas de evaluación estructural existentes actualmente.

De los resultados y comparaciones realizadas, se concluye que primero deberá desarrollarse la observación detallada de campo, esta deberá iniciar inmediatamente terminada la recopilación de la información preliminar o primaria. Luego, deberá analizarse el presupuesto con el cliente, para lo cual se realizarán distintos ensayos que se pueden aplicar a este tipo de viviendas (viviendas de concreto armado) en su actual estado. Finalmente, deberán analizarse los datos recabados y resumirse en un informe que ha de incluir la comprobación de la resistencia estructural, la viabilidad del proyecto, el listado de problemas estructurales y el análisis de la aplicación del método de evaluación estructural propuesto.

INDICE

1. GENERALIDADES	1
1.1.INTRODUCCIÓN.....	1
1.2.JUSTIFICACIÓN.....	1
1.3.ALCANCE.....	2
1.4.OBJETIVOS	3
1.5.METODOLOGÍA.....	4
2. REVISION DE LITERATURA	6
3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN	14
4. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES	27
4.1. CONCLUSIONES.....	27
4.2. RECOMENDACIONES.....	28
5. REFERENCIAS	29



LISTA DE FIGURAS

Ilustración 1: Diagrama de Tutti.....	9
Ilustración 2: Objetivos múltiples de desempeño (SEAOC)	11
Ilustración 3: Mapa de zonificación sísmica del Perú.....	12
Ilustración 4: Resistencia a la compresión	19
Ilustración 5: Esclerómetro	20
Ilustración 6: Radiografía del acero.....	20
Ilustración 7: Corrosión del acero – detección de defectos	21
Ilustración 8: Carbonatación del concreto.....	21



1. GENERALIDADES

1.1. INTRODUCCIÓN

Nuestro país está ubicado en una zona altamente sísmica, en donde las edificaciones son susceptibles a ser afectadas por eventos sísmicos. Además, debido al crecimiento acelerado y poco planificado pasando desde 662 000 habitantes en 1940 a 8 482 619 para finales del 2007 (Banco de Desarrollo de América Latina, 2011), se originó la cultura de normalización de la autoconstrucción sin asistencia técnica, las malas prácticas constructivas, la inadecuada estructura de la cimentación de las viviendas en relación a la calidad del suelo, la falta de autorizaciones y control municipal, entre otros.

En las zonas periféricas de las ciudades, el nivel de informalidad en la construcción puede alcanzar el 90% de viviendas con estas características (Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres, 2010). En el eventual caso de un sismo, las circunstancias ya mencionadas amplificarían las ondas sísmicas haciendo que las demandas de las fuerzas dinámicas se incrementen sobre dichas edificaciones, en especial cuando no se tiene en consideración un aspecto determinante: los suelos.

Los efectos derivativos en una vivienda construida de manera informal producto de un movimiento sísmico son alarmantes y pueden ir desde fugas de agua que pueden corroer el acero de los elementos estructurales, hasta el desgaste en un nivel tal que provocaría el derrumbe de elementos no funcionales (Maestro, 2018). Es por estos efectos que se requiere una evaluación estructural para analizar la condición en la que se encuentra la edificación.

1.2. JUSTIFICACIÓN

Establecer un procedimiento para una evaluación estructural en una vivienda de concreto armado es de suma importancia actualmente, pues en nuestro país las edificaciones son susceptibles a ser afectadas por eventos sísmicos. Además, debido al crecimiento acelerado y poco planificado, la cultura de normalización de la autoconstrucción se ha visto incrementada acompañada de la poca o nula asistencia técnica, las malas prácticas

constructivas, la inadecuada estructura de la cimentación de las viviendas en relación a la calidad del suelo, la falta de autorizaciones y control municipal, entre otros.

Tomando como referencia lo mencionado por el ACI en su informe 364.1 R-94, debe empezarse por una investigación preliminar, así como la definición de los lineamientos que esta ha de seguir. Los objetivos de esta observación preliminar serán los de proporcionar información inicial sobre el estado de la estructura y el calibre de los problemas que la afectan, la factibilidad de efectuar una rehabilitación e informar sobre el apuro de un análisis mucho más detallado.

La investigación preliminar deberá ser autorizada por el propietario, siendo un hecho forzoso reunirse con el propietario para examinar minuciosamente todas las necesidades y percepciones del propietario y calcular los objetivos del estudio. Los acuerdos a los cuales se lleguen deberán ser por escrito, indicando de manera clara los objetivos y el alcance del estudio. Resulta importante mencionar que la investigación preliminar será de carácter introductorio y no exhaustivo.

1.3. ALCANCE

La investigación preliminar comúnmente identificara si es necesario un análisis más detallado. sin embargo, pueden presentarse casos en donde la investigación preliminar concluye que no es idóneo continuar con un análisis más detallado.

Cuando no se dispone de documentos originales, que suele ser el caso de muchas viviendas, se deberá emprender la investigación sin un concepto preciso de la estructura. Se deberán establecer medidas especiales para sopesar la información faltante. Se puede hacer uso de pruebas no destructivas y mediciones físicas para complementar las observaciones visuales. Las primeras pueden ser una solución práctica para localizar el refuerzo en comparación con las remociones exploratorias. El uso de técnicas no destructivas puede favorecer la obtención de documentación valiosa en la que podremos basar las decisiones relacionadas a las pruebas y evaluaciones adicionales.

Si se cuenta con planos y especificaciones, y se han realizado verificaciones de campo de la estructura para ratificar que la vivienda cumple con los planos, se puede continuar a una prospección de los planos, especificaciones y los registros de construcción.

Seguidamente han de llevarse a cabo comprobaciones de los detalles críticos del diseño, la disposición de los grupos críticos y el arraigo de cualquier atributo particular. Si se detectan incompatibilidades en los dibujos o si se dieran cambios en el alcance durante la construcción, se deberá elaborar la documentación pertinente para que las observaciones del lugar puedan corroborar o explicar las características de la vivienda real.

1.4. OBJETIVOS

1.4.1. OBJETIVOS GENERALES

Elaborar una propuesta técnica para realizar un procedimiento de evaluación estructural para el diagnóstico de una vivienda de concreto armado.

1.4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- 1.4.2.1. Analizar si las normas peruanas actuales proponen un procedimiento mínimo para la evaluación estructural de una edificación existente destinado a vivienda.
- 1.4.2.2. Analizar si es posible aplicar a todo tipo de vivienda este procedimiento de evaluación.
- 1.4.2.3. Identificar los ensayos que se requieren para la evaluación estructural aún si se tienen los planos as-built (como construidos) de la vivienda.
- 1.4.2.4. Analizar la aplicación de la evaluación estructural propuesta en un futuro a una vivienda que se está diseñando, o a una similar que haya sido construido hace algunos años.

1.5. METODOLOGÍA

La metodología que se empleara para esta investigación es generalmente revisión bibliográfica.

1.5.1. METODOS DE LA INVESTIGACIÓN

Los métodos de la investigación son el modo de obtener la información que se desea para responder las dudas planteadas y corroborar la hipótesis asumida y los alcances pueden ser divididos en cuatro tipos exploratoria, descriptiva, correlacional y explicativa (Fernandez Collado, Baptista Lucio, & Hernandez Sampieri, 1998)

Los métodos que se emplearan para esta investigación son el método descriptivo, ya que a partir de la información obtenida en la revisión bibliográfica formularemos un óptimo procedimiento para una evaluación estructural de una vivienda de concreto armado.

1.5.2. MÉTODO EMPLEADO: REVISIÓN DE LITERATURA

Este método consiste en elaborar un escrito en donde se demuestra la capacidad de juicio, la comprensión y la capacidad de extraer información valiosa que englobe las ideas centrales de los textos y de síntesis para resumirlo. Para realizar una buena revisión bibliográfica la información debe proceder de diversas fuentes y en ocasión de fuentes contradictorias para realizar una comparación de las diferentes posturas que asumen los autores y obtener un panorama total para nuestras conclusiones. (Bernardo, 2010).

En primer lugar, deberán identificarse los documentos y fuentes de información que se deberán tenerse como base al momento de realizar la evaluación de la vivienda. Esta revisión resulta primordial para minimizar los supuestos necesarios al evaluar la vivienda.

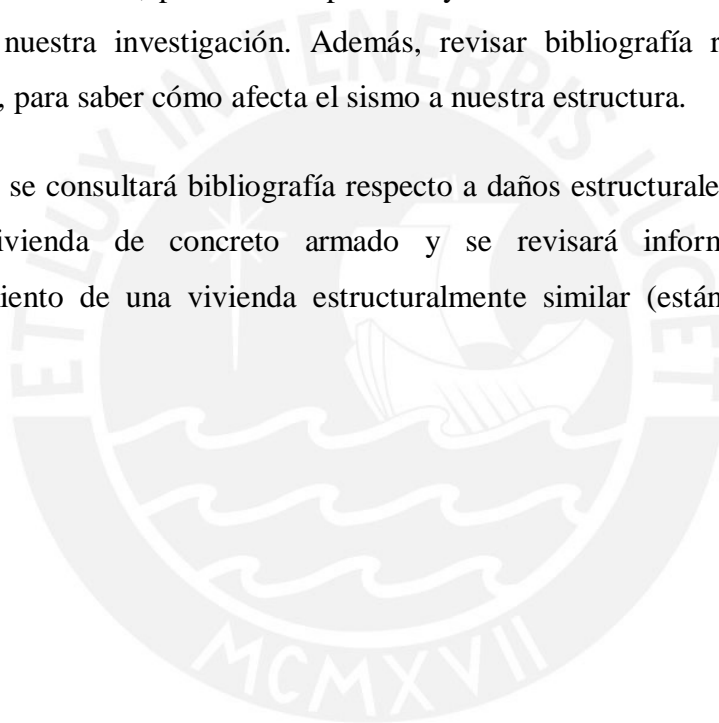
Respecto de la información primaria, es importante cerciorarse cuales eran los requisitos vigentes en los códigos al instante del diseño o construcción. Estos deben compararse con los códigos actuales y, se debe revisar los datos críticos, como los requisitos de tributo y las tensiones permitidas. Para ello se empleará fundamentalmente una revisión descriptiva en donde se centrará en información encontrada en normas de construcción en el Perú y evaluación de estructuras de concreto armado.

En complemento con las normas peruanas, se recopilará información respecto a la aplicación de normas extranjeras de concreto armado a todo tipo de viviendas, las similitudes y las excepciones que pueden presentar.

Así mismo, puede ser importante valorar las propiedades físicas de los materiales de construcción para ello se consultará bibliografía respecto a la mecánica de los materiales. Además, se consultará bibliografía respecto a la capacidad portante de suelo.

También, revisar bibliografía existente de estudios hechos para elaborar un método de evaluación estructural, para así compararlos y evaluar cuál es el más efectivo que nos ayudara a nuestra investigación. Además, revisar bibliografía respecto a ingeniería antisísmica, para saber cómo afecta el sismo a nuestra estructura.

Por último, se consultará bibliografía respecto a daños estructurales, ensayos necesarios en una vivienda de concreto armado y se revisará información respecto del comportamiento de una vivienda estructuralmente similar (estándar), pero con edad diferente.



2. REVISION DE LITERATURA

Preservation Technology: Evaluating Concrete in Structures

Aquí se expone la necesidad de analizar la condición del hormigón en una edificación de concreto armado siempre que el análisis gire en torno a la aparición evidente de cambios, poniendo como ejemplo al agrietamiento, la fisuración, el pandeo, hinchamiento, pérdida de resistencia, etc.; la aptitud de la edificación para rehabilitación, reutilización o ampliación de sus funciones en el tiempo; y a los usos futuros que puede presentar la edificación (factor de uso).

Una primera estimación puede contener una evaluación visual en el desarrollo de los trabajos de campo, pruebas no destructivas in situ como el ensayo de aplicación de cargas progresivas, muestreo y valoración de los resultados obtenidos en pruebas de laboratorio sobre estas muestras. Además, se detalla que las técnicas de laboratorio pueden incluir al microscopio polarizador, difracción de rayos X y tanto pruebas químicas como físicas. (Mather, 1985)

Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service (201.1R)

ACI propone en esta guía una metodología para realizar una inspección visual del hormigón puesto en servicio en la vivienda. Se entiende que una inspección visual es un examen realizado al hormigón con la finalidad de identificar muchas de las diversas condiciones que se pueden presentar en el hormigón durante su tiempo útil. Esta inspección generalmente se ve limitada a las superficies de la edificación que son accesibles visualmente.

La inspección visual, entonces, servirá específicamente para identificar la presencia de alguna anomalía en el hormigón; sin embargo, la explicación de este fenómeno se dará tras la interpretación de los resultados obtenidos a través del ensayo correspondiente que explique lo que se observa en campo.

En viviendas recién construidas, la inspección visual del hormigón proporciona información muy importante del rendimiento y durabilidad a lo largo del tiempo; por ejemplo, la presencia de fisuras producto de un deficiente proceso constructivo y/o producto de su propio comportamiento y características intrínsecas. Estos resultados resultan sumamente útiles en la

detección temprana de problemas y desgaste, lo que permite establecer programas tanto para la reparación como rehabilitación que minimicen al máximo la necesidad de reemplazo.

El investigador debe documentar cualquier observación relacionada con la exposición ambiental, durabilidad y rendimiento del hormigón; y, deberán de recopilarse y revisarse los registros de materiales de concreto y las prácticas en obra a fin de identificar algún mal procedimiento o praxis. Esta recopilación incluye a todos aquellos elementos que pueden alterar la durabilidad y el rendimiento del hormigón.

El personal que ha de realizar la inspección deben contar con la experiencia necesaria además de ser competente en la realización de estudios de condiciones de concreto. Deben presentarse bocetos de las características relevantes y fotografías, donde se incluya una escala que indique las dimensiones. (ACI , 1997)

Nondestructive Evaluation in Rehabilitation and Preservation of Concrete and Masonry Materials

ACI describe los métodos de evaluación no destructiva (ECM) como la inspección visual, ensayos radiográficos en concreto, partículas magnéticas, identificación positiva de materiales (PMI), etc., que más comúnmente se usan para analizar el estado de los materiales y componentes del hormigón y la mampostería en estructuras que están siendo rehabilitadas o preservadas.

Asimismo, se discute acerca del uso más conveniente de ECM, y en base a esto recomienda un enfoque para escoger el método más adecuado para cada situación específica. Los métodos de ECM se explican en función de su principio de funcionamiento, la información proporcionada, sus aplicaciones, la experiencia que requiere, su uso y las ventajas y limitaciones de ello. (Sabnis, 1985)

NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings

Este documento tiene como propósito central suministrar pautas técnicas aceptables para la rehabilitación sísmica de edificaciones como las viviendas de concreto armado a evaluar en el presente trabajo de investigación.

Estas pautas relacionadas a la rehabilitación sísmica de edificios están destinadas a servir como una herramienta para el ejercicio profesional, referencia para los funcionarios ligados al desarrollo y supervisión de las obras de construcción, así como base para el desarrollo, implementación y actualización de códigos y normas de construcción.

Por lo dicho anteriormente, existen capítulo de la Guía para la Rehabilitación Sísmica de Estructuras que serán de mucha utilidad al momento de realizar el diseño, análisis y comportamiento futuro de las edificaciones.

La experiencia ligada al diseño y construcción se considera un requisito importante para el uso oportuno de las pautas que proporciona esta guía, y la totalidad de las disposiciones que se desarrollan a lo largo del documento.

Este documento sirve para ayudar al propietario a seleccionar los criterios de evaluación estructural más adecuados. Además, el ingeniero también puede emplear la guía para el diseño y estudio de proyectos de rehabilitación sísmica; sin embargo, las pautas aquí desarrolladas no deben considerarse con el mismo rango que se les otorga a las normas y por lo tanto se debe tomar como complemento a estas.

Finalmente se indica que el uso de esta guía resulta completamente voluntario por parte de los propietarios y profesionales a cargo del diseño, teniendo en cuenta que su empleo proporciona una mayor holgura a la seguridad. (BSSC, 1997)

Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings

Este manual proporciona una alternativa para la evaluación sísmica de edificios existentes. Una gran componente está dedicada a instruir en el diseño al profesional encargado de la evaluación sobre cómo valorar si una edificación está correctamente diseñada y construida para soportar las solicitaciones sísmicas propias del área en la que se encuentra. Todos los aspectos del

desempeño de la arquitectura se consideran y definen en términos de estructura, además de los peligros no estructurales y geológicos. (FEMA-310, 1998)

Vida útil de una edificación

Es el periodo comprendido desde la puesta en uso de la edificación hasta que es necesaria una intervención importante que le permita seguir funcionando; es decir, desde que se inaugura hasta que se hace una reparación importante, que puede ser en una semana, 40 años o 70 años, esto se debe a que no se sabe cuándo vendrá el sismo de diseño que hace que la estructura entre en el rango inelástico, ya que así está diseñado, y esto se traduce en daño estructural que puede afectar de manera significativa a su funcionamiento que obligue a una evaluación e intervención en sus elementos resistentes/estructurales para seguir funcionando en condiciones normales.

Según el diagrama de Tutti se tienen dos etapas la primera es el inicio de la vida útil la parte horizontal y luego ocurre la degradación en el tiempo que es la vida residual en donde se tiene un límite máximo. Si no se restaura antes de que llegue al límite el deterioro va a seguir creciendo.

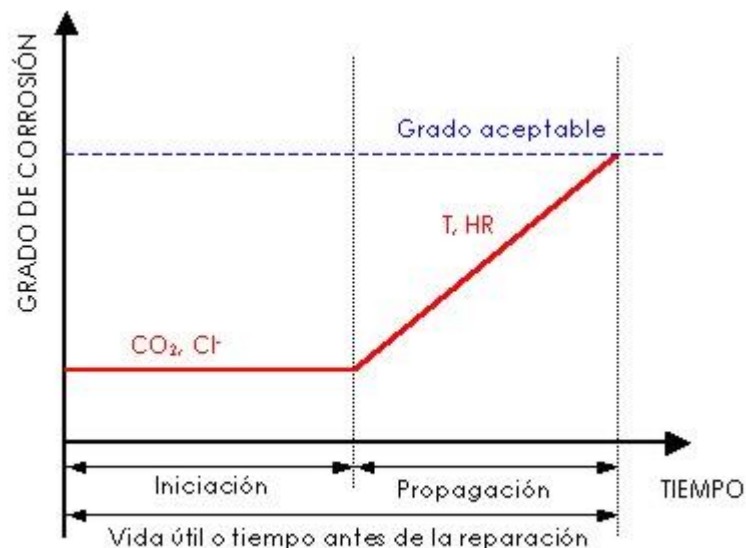


Ilustración 1: Diagrama de Tutti.

Fuente: <https://victorypes.blogs.upv.es/2016/10/28/aplicacion-de-metodos-matematicos-en-la-estimacion-de-la-vida-util-de-los-puentes/>

Visto: 11/11/2020

Un sismo severo puede llevar hasta el límite máximo de degradación no importa que tan nueva sea la estructura. Así que el efecto de los sismos puede ser igual para una edificación nueva y una edificación antigua.

Las conclusiones a las que se puede llegar es que no existe un número de años fijo para la vida útil de las edificaciones ya que ello depende de varios factores como el diseño los materiales, la mano de obra y el uso y mantenimiento; un sismo puede terminar con la vida de una edificación independientemente del número de años de vida que tenga, por lo tanto los sismos no se cuentan para la vida útil porque es difícil de predecir. (Torrealva, 2020)

Seguridad respecto a Sismos

El reglamento de edificaciones en la norma E.030 define el nivel de seguridad por la probabilidad de ocurrencia de un sismo dado en la localidad donde se ubica la edificación. La norma es aplicable para el diseño de edificaciones nuevas. (SENCICO, 2018)

Relación entre la norma E.030 y el criterio de diseño por desempeño visión 2000-SEAOC-1995

Para un diseño basado en el desempeño se define los niveles de movimiento sísmico, cantidad de daño, estados límites y el impacto en actividades después del sismo; es decir, el desempeño del edificio después del sismo. Para este procedimiento el SEAOC define cuatro niveles de movimiento sísmico de acuerdo a las probabilidades de ocurrencia que tienen respecto al periodo medio de retorno en años o la probabilidad de excedencia que hay en un determinado número de años y para ello define sismos frecuentes, ocasionales, raros y muy raros. El sismo raro coincide con el sismo de diseño de la norma E.030 y es el único que hay en dicha norma. La fuerza de diseño aumenta conforme a la probabilidad de ocurrencia disminuye.

Los niveles de daño se dividen en cuatro: despreciable, ligero, moderado y severo; de igual manera el nivel de desempeño se divide en cuatro: totalmente operacional, operacional, seguridad de vida y pre-colapso. Estos niveles de daño se pueden graficar en una curva de capacidad que puede representar la deformación respecto a la resistencia de un edificio, elemento estructural o una subestructura dentro de una estructura.

En la curva de capacidad se tiene una parte elástica en donde está completamente operativo y un rango inelástico en donde se encuentran los otros niveles hasta llegar al colapso. En donde según la norma para un sismo raro para una edificación común se encuentra en el resguardo de vida todo para construcciones nuevas. (vision 2000 SEAOC, 1995)

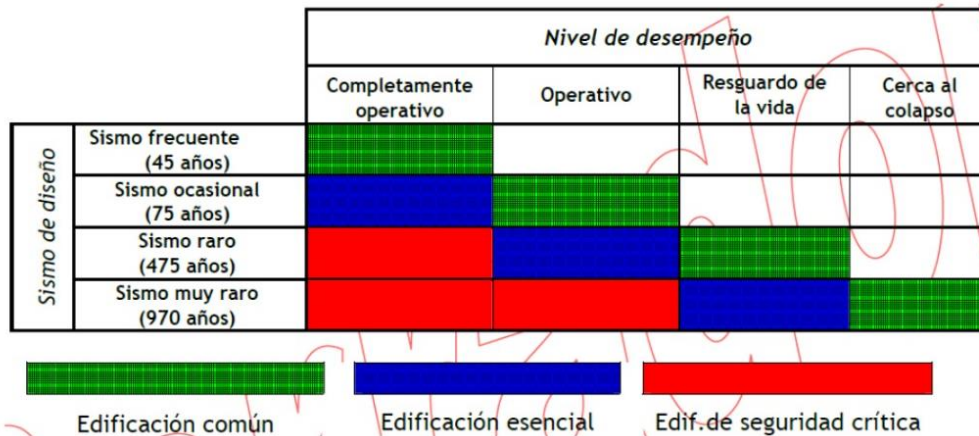


Ilustración 2: Objetivos múltiples de desempeño (SEAOC)
 Fuente: Muñoz, J.A. (2004). Ingeniería Sismorresistente
 Visto: 12/11/2020

La norma define solo un sismo de diseño 0.45g y no define niveles de desempeño, en su lugar describe una filosofía y principios del diseño sismorresistente, en donde la filosofía consiste en evitar pérdida de vidas humanas, asegurar la continuidad de los servicios básicos y minimizar los daños a la propiedad, y los principios engloban que la estructura no debería colapsar ni causar daños graves a las personas, aunque podría presentar daños importantes debido a movimientos sísmicos clasificados como severos para el lugar del proyecto. La estructura debería soportar movimientos del suelo calificados como moderados para el lugar del proyecto pudiendo presentar daños reparables dentro de límites aceptables y para las edificaciones esenciales se deberían tener consideraciones especiales orientadas a que permanezcan en condiciones operativas luego de un sismo severo.

Según la norma, las estructuras de concreto armado y de albañilería pueden ser analizadas considerando las inercias de las secciones brutas, ignorando la fisuración y el refuerzo. Para el procedimiento de análisis sísmico se considera un modelo de comportamiento lineal y elástico con las solicitaciones sísmicas reducidas en donde la deriva máxima para edificaciones de concreto armado no debe ser más de 0.007.

En síntesis, el objetivo de la norma es solo el cuadrado de resguardo de vida para una aceleración de 0.45g en la matriz de desempeño sísmico. (SENCICO, 2018)

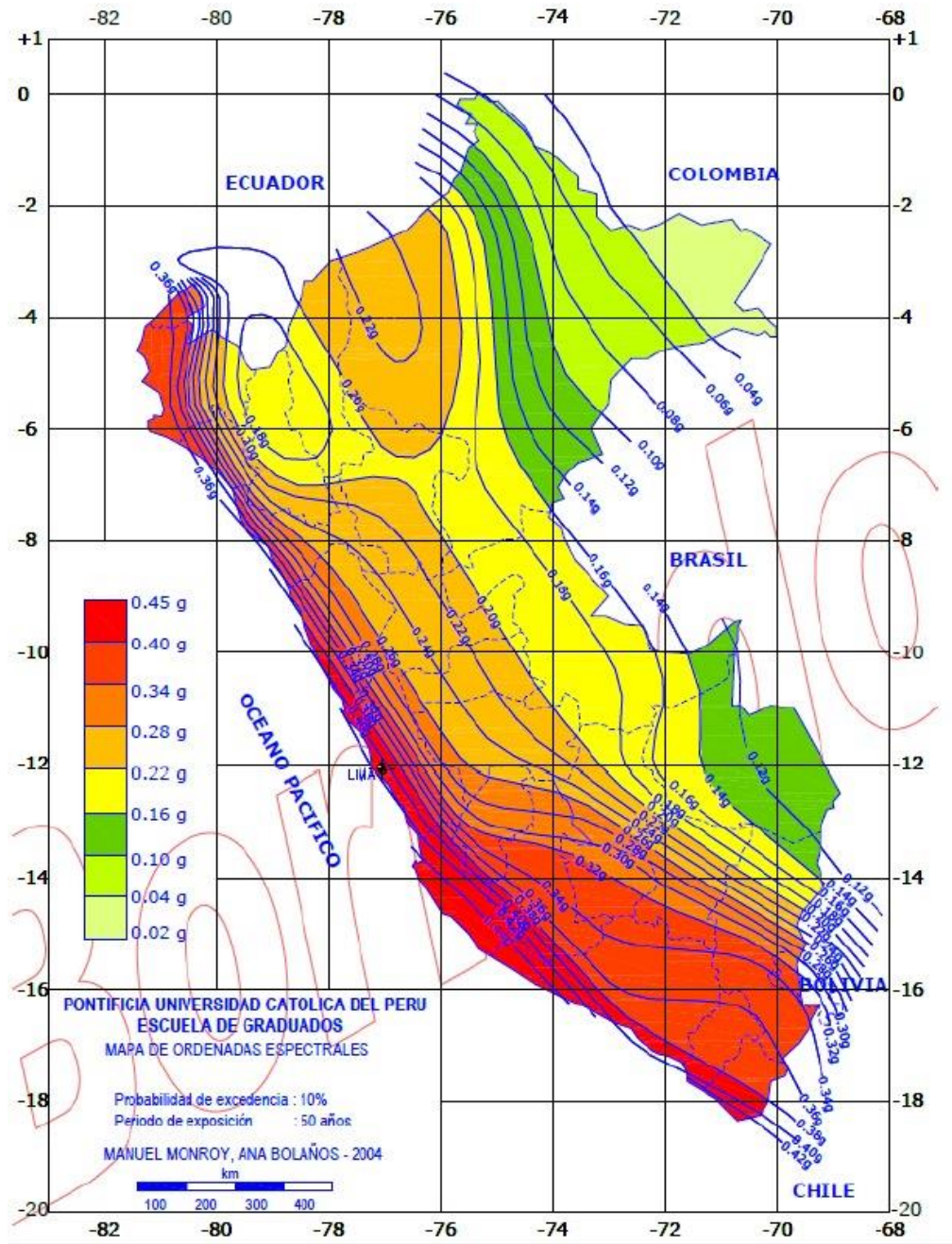


Ilustración 3: Mapa de zonificación sísmica del Perú
 Fuente: Muñoz, J.A. (2004). Ingeniería Sismorresistente
 Visto:12/11/2020

Razones que dificultan la aplicación de la norma E.030 a las edificaciones existentes

Si el sistema estructural es antiguo no está contemplado en la norma E.030 y no se puede asegurar a priori que la estructura será capaz de ingresar en el rango inelástico y comportarse de acuerdo con lo que espera la norma. No existe un factor de ductilidad R para construcciones existentes antiguas.

Las propiedades de los materiales de construcción no necesariamente son los mismos que los contemplados en la norma. El paso del tiempo deteriora el material original de diversas formas y en una sola edificación el mismo material puede tener diferentes características mecánicas debido al deterioro. (SENCICO, 2018)

Definición del sismo de diseño para construcciones existentes

Mientras no se cuente con normas nacionales específicas para estructuras tales como reservorios, tanques, silos, puentes, torres de transmisión, muelles, estructuras hidráulicas, túneles, viviendas existentes y todos aquellos cuyo comportamiento sísmico difiera del de las edificaciones nuevas, se debe utilizar los valores de Z y S del capítulo II amplificados de acuerdo a la importancia de la estructura considerando la práctica internacional. La aceleración en la base del edificio será ZUS . (SENCICO, 2018)

Evaluación, reparación y reforzamiento de estructuras

Las estructuras dañadas o carencias estructurales por sismos son evaluadas, reparadas y/o reforzadas de tal manera que se corrijan los posibles defectos estructurales que provocaron los daños y recuperen la capacidad de resistir nuevos eventos sísmicos acorde con la filosofía sismorresistente. (SENCICO, 2018) Según el artículo 49.3 para la reparación y el reforzamiento sísmico de edificaciones se siguen los lineamientos del reglamento nacional de edificaciones (RNE). Se pueden emplear otros criterios y procedimientos diferentes a los indicados en el RNE con la debida justificación teórica y con la aprobación del propietario. (SENCICO, 2006) En el artículo 35 describen que si se trata de verificación no lineal se puede utilizar las especificaciones del ASCE/SEI 41 Seismic Rehabilitation of Existing Buildings. (ASCE/SEI 41, 2014)

3. DESARROLLO DE LA INVESTIGACIÓN

Debido a la revisión de la información literaria recabada, se puede observar que no existe una norma peruana específica de la cual nos podamos guiar para una correcta evaluación estructural de viviendas existentes de concreto armado. Por lo cual, a partir de las fuentes consultadas sobre evaluación estructural en edificaciones nuevas y existentes, se planteará un procedimiento tentativo de evaluación estructural en viviendas de concreto armado existentes, siguiendo los lineamientos de las normas vigentes y teniendo en cuenta aspectos económicos y ambientales.

3.1.1. PROCEDIMIENTOS

La finalidad de la evaluación estructural es brindarle al cliente un resumen de las condiciones actuales de la vivienda a través de una verificación de las características estructurales actuales, tales como la capacidad portante, deformaciones totales y relativas, etc., para que se puedan tomar decisiones en cuanto a rehabilitaciones y/o reforzamientos.

Es así, que se propone un procedimiento dividido en tres etapas que tengan en cuenta la recopilación de la información primaria propia de la vivienda y su entorno y una evaluación preliminar y detallada de campo, teniendo en cuenta los aspectos económicos (presupuesto del cliente) y ambientales.

3.1.1.1. PRIMERA FASE: Recopilación de información primaria

Antes de realizar cualquier evaluación preliminar o detallada, y con la finalidad de enmarcar el entorno, el estado actual antes de cualquier intervención y las características propias de la vivienda que guíen las decisiones en las etapas siguientes, es necesario recopilar toda la información primaria disponible, la cual se lista a continuación:

- **Recopilación de los planos existentes**

Todos los planos existentes con los que cuente la vivienda, tales como los planos de cimentación, estructuras, instalaciones sanitarias, instalaciones eléctricas y arquitectura, deberán ser recopilados con la finalidad de determinar si, a lo largo de su vida, ha sufrido algún cambio significativo como deformaciones, fisuras, desplazamientos, etc., en sus dimensiones y aspectos físicos.

En adición, sería útil obtener las memorias de cálculo y especificaciones adicionales (de existir y estar disponibles), con la finalidad de detectar posibles fallas en el diseño estructural.

- **Revisión del proceso constructivo**

Analizar el proceso constructivo a través de la recopilación de informes de supervisión (de existir) y/o controles de todo tipo, permitirá detectar fallas y deficiencias en el proceso constructivo y así listar los posibles efectos/consecuencias de ello, como por ejemplo posibles problemas de corrosión en el acero estructural.

- **Recopilación de la información sobre las condiciones de emplazamiento y características del suelo sobre el cual está cimentada la vivienda.**

Las condiciones de emplazamiento y las características del suelo tales como su capacidad portante, es fundamental para estudiar la interacción de la vivienda con el terreno en condiciones normales de servicio o inusuales de sismo.

- **Recopilación de la información sobre las características de los materiales empleados**

Las características de los materiales empleados tienen un papel importante en el comportamiento estructural de la vivienda y puede explicar muchas de las deficiencias que se determinen en la misma durante la etapa de evaluación preliminar. Cuando éstas no puedan ser obtenidas a partir de información existente o fuentes confiables, este paso pasará a la segunda fase del proceso, donde será necesario el uso de ensayos no destructivos y toma de muestras representativas.

Sí las deficiencias encontradas no pueden ser sustentadas, en parte, por el empleo de materiales de baja calidad, puede ser sinónimo del empleo de malas prácticas constructivas en la etapa inicial de la vivienda.

- **Estudio y análisis de las normas vigentes al momento de la construcción**

Con la finalidad de realizar una evaluación estructural acertada, será necesario el estudio y análisis de las normas vigentes al momento de la construcción y verificar si éstas han sufrido alguna modificación durante los años en la que la vivienda se encontraba en servicio.

- **Estudio de los movimientos sísmicos y condiciones climatológicas adversas a los cuales ha estado expuesta la vivienda**

Es importante considerar el desgaste que ha sufrido la estructura producto de los movimientos sísmicos importantes que ha sufrido y las condiciones climatológicas a las que ha estado expuesta.

La información sobre los movimientos sísmicos importantes, se puede obtener de la base de datos del Instituto Geofísica del Perú y las condiciones climatológicas pueden determinarse con la información de estaciones meteorológicas representativas durante un periodo de tiempo adecuado; sin embargo, estos valores deben trabajarse con cuidado ya que la verdadera magnitud de sus efectos no se puede determinar de manera tan directa.

- **Establecimiento de limitaciones en función del presupuesto propuesto y motivo del cliente**

Dependiendo del presupuesto propuesto por el cliente, se evaluarán los ítems y limitaciones a considerar dentro de la evaluación estructural de la vivienda, tales como los tipos de ensayo y sus cantidades. Así mismo, dependiendo del motivo del servicio, se presentarán diversas opciones con distintos niveles de profundidad en la evaluación.

3.1.1.2. SEGUNDA FASE: Evaluación preliminar

- **Inspección visual de la vivienda**

Esta fase iniciará con una inspección cualitativa de la vivienda, describiendo en qué condiciones se encuentra y cuáles son las fallas locales y/o globales más resaltantes; es decir, se inspeccionará las condiciones físicas y de su entorno en las que actualmente opera la vivienda.

Esta etapa nos permitirá delimitar y jerarquizar las zonas o elementos estructurales a las que se les debe prestar especial atención en lo que resta del proceso.

- **Registro de las condiciones encontradas**

Una vez inspeccionada toda la vivienda se procederá a registrar las condiciones tanto físicas como de su entorno en el que se encuentra cada área de la vivienda según la jerarquización hecha en el paso anterior. Por ejemplo:

- ✓ Grietas en múltiples columnas
- ✓ Deflexiones altas en algún paño de losa
- ✓ Asentamientos diferenciales notables en algunas áreas de la vivienda
- ✓ Acero de refuerzo en columnas sin recubrimiento
- ✓ Coloraciones en los elementos estructurales que puedan ser señal de corrosión
- ✓ Condiciones ambientales agresivas (elevada humedad, exposición a sales, cloruros, etc.) que desencadenen problemas de corrosión o agresión al concreto.
- ✓ Grado de exposición a estas sustancias y/o condiciones

Dichas condiciones se registrarán por medio escrito (informes de control por casa área) y fotográfico.

- **Verificación preliminar de las condiciones actuales y características estructurales de la vivienda**

En esta parte, el inspector deberá registrar de manera cualitativa y cuantitativa la condición estructural en que se encuentra la vivienda. Dicha descripción cuantitativa podría describir las siguientes mediciones:

- ✓ Capacidad portante de la vivienda
- ✓ Ángulos de volteo de algún elemento estructural vertical(columnas)
- ✓ Medición de fisuras
- ✓ Ancho de grietas

Asimismo, se deberá describir las características estructurales de la vivienda, tales como:

- ✓ Exposición a sulfatos y/o iones cloruro (ubicación).
- ✓ Solicitaciones de carga a las que ha sido sometida la vivienda y cuyo diseño no lo contemplaba.
- ✓ Eliminación o adición de algún elemento estructural al momento de alguna remodelación en la vivienda.

- **Determinación y ubicación de los ensayos y muestras que se requerirán para la evaluación detallada**

En base a los resultados que se obtenga de la descripción cualitativa y cuantitativa realizada en los anteriores pasos, se determinará qué tipo de ensayo se ejecutará, ya que si la estructura presenta daños leves solo se terminaría en inspección visual, pero si presenta daños moderados o daños en elementos estructurales que no se pueden determinar simplemente se requerirán sacar muestras para realizar ensayos y determinar qué tan dañada esta la vivienda de concreto armado y si existe alguna solución.

Por otro lado, para determinar y confirmar la resistencia de los materiales en los elementos evaluados (con falla), se podrían emplear los siguientes ensayos clásicos para estructuras de concreto armado:

- ✓ Resistencia a la Compresión: Mediante ensayos de compresión aplicados en testigos tomados de los elementos de concreto armado tales como vigas, columnas, muros. (Ensayo destructivo)

Así mismo, en el sitio, se puede emplear el Esclerómetro, en los elementos estructurales donde se ha obtenido el testigo, para evaluar la uniformidad del concreto y/o delimitar zonas de deterioro.



Ilustración 4: Resistencia a la compresión

Fuente: <https://civilgeeks.com/2011/03/22/ensayo-de-resistencia-a-la-compresion-del-concreto/>Visto: 23/12/2020



Ilustración 5: Esclerómetro

Fuente: <https://www.construmatica.com/construpedia/Escler%C3%B3metro>

Visto: 01/12/2020

- ✓ Escaneo del Acero: Permite ubicar el acero longitudinal respecto al elemento de concreto armado que lo contiene. Asimismo, permite calcular el diámetro del acero de refuerzo colocado en cualquier sección. (Ensayo no destructivo)

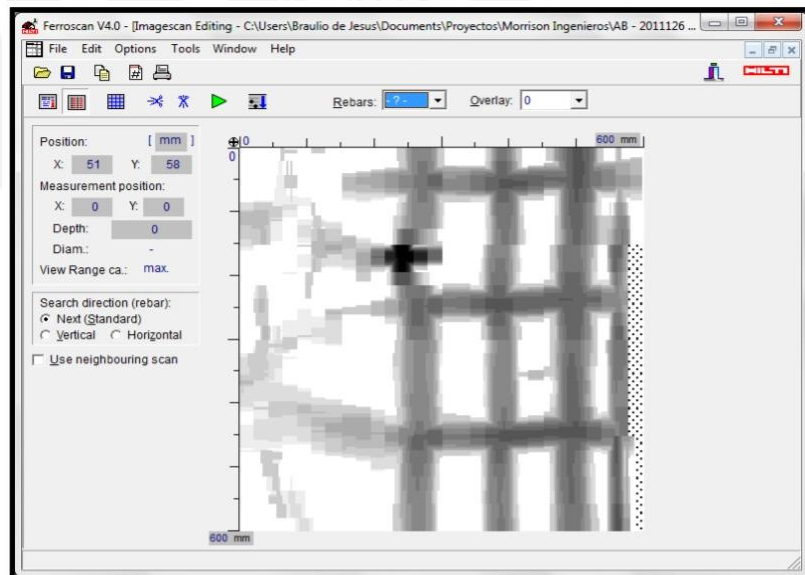


Ilustración 6: Radiografía del acero

Fuente: [http://www.onu.org.do/Licitaci.NSF/5b4908be027078f0042570a5005ea141/6f220d2a12f542e604257935005a84c3/\\$FILE/Informe%20Final-23.pdf](http://www.onu.org.do/Licitaci.NSF/5b4908be027078f0042570a5005ea141/6f220d2a12f542e604257935005a84c3/$FILE/Informe%20Final-23.pdf)

Visto: 01/12/2020

- ✓ Corrosión del Acero: Para determinar el grado de corrosión del acero in situ, se emplean los ensayos por ultrasonidos (ensayo no destructivo). Este tipo de ensayos emplea una sonda dual para inspeccionar el metal corroído, a través de la medición de espesores o detección de defectos.

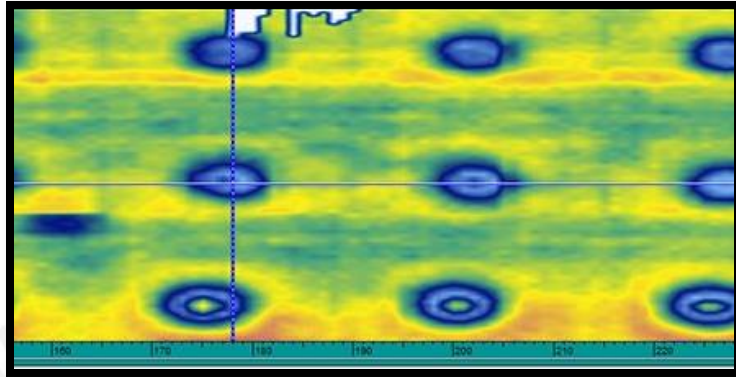


Ilustración 7: Corrosión del acero – detección de defectos

Fuente: <https://www.olympus-ims.com/es/corrosion-mapping-on-carbon-steel-using-the-rollerform-scanner/>
Visto: 23/12/2020

- ✓ Carbonatación del Concreto: Mediante la aplicación de fenolftaleína sobre una muestra de concreto tomada de una zona donde se sospecha la presencia de este fenómeno se detecta la carbonatación, ya que un cambio de color denota su ausencia y un color rosado brillante, la expone. (Ensayo destructivo)



Ilustración 8: Carbonatación del concreto

Fuente: 60enconcreto.com/blog/detalle/carbonatacion-del-concreto-como-detectarla#:~:text=En%20definitiva%2C%20la%20manera%20m%C3%A1s,una%20fenolftale%C3%ADna%20sobre%20el%20concreto.
Visto: 23/12/2020

3.1.1.3. TERCERA FASE: Evaluación detallada

- **Desarrollo de los ensayos in situ y de laboratorio determinados en la segunda fase**

Como lo sugerido en la segunda fase respecto a la determinación, ubicación de los ensayos y muestras que se requerirán dependiendo del estado en que se encuentre la vivienda se procede a la realización de estos para obtener valores más detallados y completos de cómo se encuentra la vivienda internamente, así como los efectos de sus condiciones climáticas sobre ella y, esto se logra a partir de las muestras enviadas a laboratorios y los ensayos realizados in situ.

Debido a estas razones se considerará como paso a seguir dentro de nuestra evaluación planteada el “Desarrollo de los ensayos in situ y de laboratorio”.

- **Determinación del estado y características estructurales actuales de la vivienda**

A partir de los ensayos realizados en el anterior paso, se determinará un valor representativo de los datos obtenidos, lo que nos ayudará a conocer el estado actual de la vivienda respecto de valores promedio y en rangos aceptados y, conocer las características internas de los elementos estructurales, así como observar cuanto se ha modificado desde su construcción para evaluar el porcentaje de deterioro por el que ha atravesado la vivienda tanto por sus condiciones intrínsecas como extrínsecas.

Debido a estas razones se considera como paso a seguir dentro de nuestra evaluación planteada la “Determinación del estado y características estructurales actuales de la vivienda”.

- **Comparación de los valores obtenidos con los rangos de valores aceptables establecidos por la norma**

A partir de los resultados obtenidos en el paso anterior y de las características de los elementos estructurales se procede a comparar con los rangos aceptables por la norma para así determinar si se pueden realizar reforzamientos a la vivienda o si está ya se encuentra cerca al colapso en donde se tendría que demoler para darle un mejor uso al terreno.

Debido a estas razones es que se considera como paso final para la evaluación estructural de viviendas existente la “Comparación de los valores obtenidos con los rangos de valores aceptables establecidos por la norma”.

- **Análisis de los datos obtenidos para saber si la vivienda estuvo bien diseñada, aun cuando los materiales son los adecuados en su construcción; ya que, si la norma ha presentado cambios, los valores de diseño pudieron haber cambiado para tener una construcción más conservadora y evitar grandes desplazamientos laterales.**

3.1.2. RESULTADOS: PROCEDIMIENTO PLANTEADO

El procedimiento de evaluación estructural tentativo que se muestra a continuación, es aplicable a viviendas de concreto armado existentes que, en su momento de concepción y construcción, siguió las normas, códigos y procedimientos de diseño y construcción vigentes.

3.1.2.1. PRIMERA FASE: Recopilación de información primaria

- Recopilación de los planos existentes
- Revisión del proceso constructivo
- Recopilación de la información sobre las condiciones de emplazamiento y características del suelo sobre el cual está cimentada la vivienda.

- Recopilación de la información sobre las características físicas y mecánicas de los materiales empleados
- Estudio y análisis de las normas vigentes al momento de la construcción
- Estudio de los movimientos sísmicos y condiciones climatológicas adversas a los cuales ha estado expuesta la vivienda
- Establecimiento de limitación en función del presupuesto propuesto y motivo del cliente

3.1.2.2. SEGUNDA FASE: Evaluación preliminar

- Inspección visual de la vivienda
- Registro de las condiciones encontradas
- Verificación preliminar de las condiciones actuales y características estructurales de la vivienda
- Determinación y ubicación de los ensayos y muestras que se requerirán para la evaluación detallada

3.1.2.3. TERCERA FASE: Evaluación detallada

- Desarrollo de los ensayos in situ y de laboratorio determinados en la segunda fase
- Determinación del estado y características estructurales actuales de la vivienda
- Comparación de los valores obtenidos con los rangos de valores aceptables establecidos por la norma

- Análisis de los datos obtenidos para saber si la vivienda estuvo bien diseñada, aun cuando los materiales son los adecuados en su construcción; ya que, si la norma ha presentado cambios, los valores de diseño pudieron haber cambiado para tener una construcción más conservadora y evitar grandes desplazamientos laterales.

3.1.3. DISCUSIÓN CRÍTICA

Debido a que en la norma peruana no existe una guía sobre el proceso de evaluación estructural en edificaciones existentes que engloban a las viviendas de concreto armado, nos hemos visto en la necesidad de realizar una investigación que proponga un procedimiento tentativo en base a la revisión de diferentes fuentes bibliográficas que nos aclaren el panorama sobre los pasos que otros autores han propuesto para edificaciones existentes y sobre los pasos que existen en edificaciones nuevas.

Es así, que se han propuestos tres fases para el desarrollo de la evaluación estructural, siendo éstas: recopilación de información primaria, una evaluación preliminar en campo y una evaluación detallada. La primera fase nos brindará toda la información necesaria para desarrollar y planificar los trabajos de campo y gabinete; la segunda nos brindará la información con la cual se desarrollará por completo los trabajos de gabinete; y, finalmente, de la tercera fase obtendremos las condiciones y características estructurales de la vivienda.

Dentro de las implicaciones del procedimiento planteado, podemos mencionar que se pueden emplear, por ejemplo, en las siguientes situaciones:

- Si se encuentran deformaciones, fisuras, etc., en elementos estructurales de importancia como las vigas, columnas y/o placas, teniendo en cuenta que la vivienda ya tiene un tiempo de servicio considerable y ha sufrido movimientos sísmicos importantes o ha estado expuesta a condiciones climatológicas severas.
- Si el propietario contempla la posibilidad de ampliar las cargas que recibe la estructura; ya que en su diseño y concepción inicial se tomó en cuenta una carga máxima menor

a la que se pretende alcanzar ahora. En el caso de viviendas, puede ser la habilitación de un piso adicional, en el cual se debe tomar en cuenta pesos muertos y vivos adicionales.

Así mismo, el procedimiento planteado, luego de ser validado por las entidades competentes, puede servir de base para estandarizar un proceso de evaluación de estructural en viviendas de concreto armado, el cual puede ser empleado en diversos sectores socioeconómicos, ya que considera variaciones de acuerdo al presupuesto que se tenga.

Como limitaciones del procedimiento, este no toma en cuenta la edad de una vivienda, ya que un sismo severo puede llevar hasta a la estructura a un límite máximo de degradación no importa que tan nueva sea esta. Así que el efecto de los sismos puede ser igual para una edificación nueva y una edificación antigua.

Las conclusiones a las que se puede llegar es que no existe un número de años fijo para la vida útil de las edificaciones ya que ello depende de varios factores como el diseño los materiales, la mano de obra y el uso y mantenimiento; un sismo puede terminar con la vida de una edificación independientemente del número de años de vida que tenga, por lo tanto, los sismos no se cuentan para la vida útil porque es difícil de predecir.

4. CONCLUSION Y RECOMENDACIONES

4.1. CONCLUSIONES

Conclusión 1:

Las normas actuales suelen estar basadas en exigencias y condiciones diferentes, y generalmente más estrictas que las vigentes en el momento en que se proyecta una vivienda. Debido a ello, muchos edificios existentes se clasificarían como no fiables si se evaluaran según las normas actuales. Además, las normas no describen un proceso exacto para realizar una evaluación estructural en viviendas de concreto armado y los procedimientos que se detallan para dicho fin son únicamente para edificios y/o edificaciones nuevas.

La evaluación que se realice deberá tener en cuenta las características y las condiciones reales del edificio, características que normalmente no están contempladas en las normas de dimensionado que incorporan la incertidumbre asociada al proceso.

Conclusión 2:

El procedimiento de evaluación estructural que se ha planteado en el presente trabajo de investigación es aplicable a todo tipo de vivienda. Esto se debe a que, en todas las fases, principalmente en la primera y segunda, se toma en consideración el tipo de material, el proceso constructivo, las características propias de la vivienda, las características del suelo, etcétera, para la decisión de los ensayos a aplicar en la segunda fase y el procesamiento y análisis de los datos en la tercera fase.

Conclusión 3:

La ejecución de la evaluación estructural por el procedimiento propuesto en este trabajo de investigación contempla ensayos que se van a determinar en función de los resultados que se obtenga de la descripción cualitativa y cuantitativa. Es así, que se pueden emplear, por ejemplo, métodos convencionales-clásicos de la estadística, cuya holgura de su metodología conlleva a valores conservadores. Además, para determinar y confirmar la resistencia de los materiales en los elementos evaluados (con falla), se pueden emplear los siguientes ensayos clásicos para estructuras de concreto armado:

- Resistencia a la Compresión
- Escaneo del Acero
- Corrosión del Acero
- Carbonatación del Concreto

Conclusión 4:

Como se ha encontrado en la revisión bibliográfica, un sismo severo puede llevar hasta el límite máximo de degradación no importa que tan nueva sea la estructura. Así que el efecto de los sismos puede ser igual para una edificación nueva y una edificación antigua. Por lo tanto, el procedimiento propuesto para la evaluación estructural se puede aplicar en un futuro a una vivienda que se está diseñando, o a una similar que haya sido construido hace algunos años.

4.2. RECOMENDACIONES

Resulta necesario analizar si las normas actuales proponen un procedimiento mínimo para la evaluación estructural de una edificación existente destinado a vivienda.

Se establece como una futura línea de investigación el analizar si es posible aplicar a todo tipo de vivienda el procedimiento de evaluación seleccionado.

Se recomienda la identificar de los ensayos que se requieren para la evaluación estructural aún si se dispusiera de los planos as-built (como construidos) de la vivienda.

Se hace la invitación a continuar con el análisis de la aplicación de la evaluación estructural propuesta en un futuro a viviendas que se estén diseñando, o a similares que hayan sido construido hace algunos años.

5. REFERENCIAS

ACI . (1997). *Guide for Making a Condition Survey of Concrete in Service*. ACI 201.1 R-92.

ASCE/SEI 41. (2014). *Seismic Evaluation and Retrofit of Existing Building*.

Banco de Desarrollo de America Latina. (2011). *Desarrollo urbano y movilidad en América Latina* . CAF.

Bernardo, L. (2010). *Proyecto de Indagación*. Bogotá: Pontificia Universidad Javeriana.

BSSC. (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings, developed by the Buildings Seismic Safety Council for the Federal Emergency Management Agency* . Washington D.C.

Capital. (viernes 22 de septiembre del 2017). Informalidad en el sector construcción: ¿Por qué las edificaciones se caen? ¿Cómo evitarlo? Obtenido de <https://capital.pe/actualidad/informalidad-en-el-sector-construccion-por-que-las-edificaciones-se-caen-como-evitarlo-noticia-1078286>

Centro Peruano-Japonés de Investigaciones Sísmicas y Mitigación de Desastres. (2010). *Evaluación de la vulnerabilidad, peligro y riesgo sísmico del distrito de la Molina*. Lima: UNI.

FEMA-310. (1998). *Handbook for the Seismic Evaluation of Buildings*.

Fernandez Collado, C., Baptista Lucio, P., & Hernandez Sampieri, R. (1998). *Metodología de la investigación* . México: Mcgraw-hill.

Guerrero, J at. al. (2020). Identificación y evaluación del riesgo de la corrosión en estructuras de concreto armado en plantas industriales sometidas a un ambiente ácido. *CienciaAcierta*. No. 46. Obtenido de <http://www.cienciacierta.uadec.mx/2016/06/29/identificacion-y-evaluacion-del-riesgo-de-la-corrosion-en-estructuras-de-concreto-armado-en-plantas-industriales-sometidas-a-un-ambiente-acido/>

Guirao, S. (2015). Utilidad y tipos de revision de literatura. *ene*, volumen 9.

Sodimac Maestro. (10 de mayo del 2018). El alto riesgo de las viviendas informales. Construye bien. Obtenido de:

<https://www.construyebien.com/blog/construccion-viviendas-informales/>

Mather, K. (1985). *Preservation Technology: Evaluating Concrete in Structures*. Concrete International: Design & Construction.

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (18 de mayo de 2018). Se destinarán S/ 5 millones para elaborar mapas de riesgos y estudios de microzonificación sísmica a nivel nacional. Obtenido de:

<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/11798-se-destinaran-s-5-millones-para-elaborar-mapas-de-riesgos-y-estudios-de-microzonificacion-sismica-a-nivel-nacional>

Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento. (9 de junio de 2017). MVCS evalúa experiencia suiza en capacitación para autoconstrucción segura, saludable y sostenible en el norte del país. Obtenido de

<https://www.gob.pe/institucion/vivienda/noticias/7484-mvcs-evalua-experiencia-suiza-en-capacitacion-para-autoconstruccion-segura-saludable-y-sostenible-en-el-norte-del-pais>

Osorio, D. (2020). Carbonatación del concreto: ¿Cómo detectarla?. *360 en concreto*. Obtenido de: <https://www.360enconcreto.com/blog/detalle/carbonatacion-del-concreto-como-detectarla#:~:text=En%20definitiva%2C%20la%20manera%20m%C3%A1s,una%20fenolftale%C3%ADna%20sobre%20el%20concreto.>

Sabnis, G. M. (1985). *Nondestructive Evaluation in Rehabilitation and Preservation of Concrete and Masonry Materials,*” *Rehabilitation, Renovation, and Preservation of Concrete and Masonry Structures*. ACI publication .

SENCICO. (2006). *Reglamento Nacional de Edificaciones*. Lima: Ministerio de Vivienda, Construcción y Saneamiento.

SENCICO. (2018). *Norma E.030 Diseño sísmoresistente*. Lima.

Vision 2000 SEAOC. (1995). *Diseño por desempeño sísmico* . Sacramento, CA.