

## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Miguel Peralta Salas, Ing. Rommel Cuevas Kaufmann, Ing. Hugo Navarro Serrano, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



---

Ing. Miguel Peralta Salas.  
En representación del Director



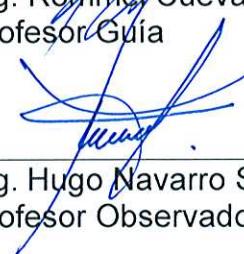
---

Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Profesor Lector



---

Ing. Rommel Cuevas Kaufmann.  
Profesor Guía



---

Ing. Hugo Navarro Serrano.  
Profesor Observador

**Instituto Tecnológico de Costa Rica**  
**Escuela de Ingeniería en Construcción**

Guía para la evaluación de daños en edificaciones después de un sismo en Costa Rica

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Katalina Sanabria Meneses

Cartago, Marzo 2019

# **Guía para la evaluación de daños en edificaciones después de un sismo en Costa Rica**

# Abstract

Costa Rica is located in an area of high seismicity, reason why it is so important to study the typological damage and usability characteristics of buildings, in the emergency phase following an earthquake, establishing a common language for the description of damage and vulnerability. Thus, developing a quick survey for post-earthquake damage assessment, short term countermeasures and usability assessment of buildings would be a vital resource, which's main purpose would be to protect people's integrity. In this way, the form will allow a first identification of the building usability. The observation and the interpretation of the apparent damage allows to identify the seriousness of modifications suffered by the structural and non-structural elements with respect to the reduction of safety of the building. In case of significant damage, it allows to immediately declare the no usability of the building for evident structural problems. In case of non-significant damages, on the other hand, it allows to understand which resistant mechanisms have been triggered so that building use can be restricted. Keeping track of the inspection and of the corresponding evaluation of risk and usability, will allow a better computerization of the data. With the aim of providing a tool for a correct evaluation and for a full awareness of the principles of the form, a manual which extends the procedures for preparing and carrying out the building survey is given. This methodology was applied to two existing buildings presenting structural damages as a consequence of a past earthquake.

Keywords: evaluation, damage, post-earthquake, buildings, habitability

# Resumen

Costa Rica al encontrarse en una zona de alta sismicidad, requiere desarrollar una metodología única para evaluar el daño estructural de edificaciones que se vean afectadas después de un sismo. Es por ello que al proponer una herramienta para la evaluación del impacto estructura post-sismo se tiene como principal fin proteger la integridad de las personas, acatando una propuesta de actuación sobre un edificio específico: permitir, restringir o prohibir el acceso al edificio. Es decir, se pretende determinar en forma rápida pero detallada cuáles son aquellas parcialmente dañadas, cuya entrada deba ser restringida debido al riesgo de atentar contra la vida humana, cuáles presentan daños severos por los que sea necesario restringir por completo su uso y prevenir el acceso de personas para que su integridad no se vea comprometida, y cuáles edificaciones son las más seguras para permitir su ocupación. De este modo, se aspira por medio de esta herramienta contribuir a la generación de una base de datos que registre las edificaciones habitables, las edificaciones dañadas o aquellas que llegaron al colapso. Para una correcta evaluación, la metodología propuesta contará con un manual de uso que indique detalladamente el modo de captura de datos. Dicha metodología fue aplicada dos edificaciones existentes que presentaban daños estructurales.

Palabras clave: evaluación, daño, post-sismo, edificaciones, habitabilidad

# **Guía para la evaluación de daños en edificaciones después de un sismo en Costa Rica**

# **Guía para la evaluación de daños en edificaciones después de un sismo en Costa Rica**

KATALINA SANABRIA MENESES

Proyecto final de graduación para optar por el grado de  
Licenciatura en Ingeniería en Construcción

Marzo del 2019

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

<b>PREFACIO .....</b>	<b>3</b>
<b>RESUMEN EJECUTIVO.....</b>	<b>5</b>
<b>INTRODUCCIÓN .....</b>	<b>8</b>
<b>MARCO TEÓRICO .....</b>	<b>10</b>
Tectónica y sismicidad.....	10
Distribución geográfica de sismos en Costa Rica .....	15
Riesgo sísmico en Costa Rica .....	25
Comportamiento sísmico de edificios .....	36
Daño sísmico .....	39
Evaluación de daños en edificaciones post-sismo .....	40
<b>METODOLOGÍA.....</b>	<b>45</b>
<b>RESULTADOS .....</b>	<b>53</b>
<b>ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS .....</b>	<b>62</b>
<b>CONCLUSIONES .....</b>	<b>75</b>
<b>RECOMENDACIONES.....</b>	<b>76</b>
<b>APÉNDICES .....</b>	<b>77</b>
<b>ANEXOS.....</b>	<b>92</b>
<b>REFERENCIAS .....</b>	<b>107</b>

# Prefacio

Nuestro país, Costa Rica, está ubicado en una zona de amenaza sísmica elevada, lo que ha llevado a constituir historial de eventos sísmicos de diferente magnitud e intensidad, que han causado la pérdida de vidas humanas y daños a la infraestructura pública y privada. Teniendo en cuenta que el país cuenta existe un alto porcentaje de estructuras antiguas que fueron diseñadas bajo códigos obsoletos o sin ningún diseño sismo-resistente oficial.

Aunado a esto, después de un terremoto de gran magnitud pueden presentarse réplicas que aumenten los daños en los edificios, aumentando su vulnerabilidad y causando en determinado momento la posible pérdida de vidas de aquellas personas que habitan en los edificios afectados que continúan en uso.

Ferliche (1998) establece que “los efectos de los terremotos en las construcciones son especialmente relevantes debido a que éstas son las que albergan a la población y los daños sufridos por ellas repercuten directamente sobre la vida de las personas que las ocupan”.

Ante tal situación, la estimación de daños es una actividad crítica y un componente primordial en la preparación para la atención de emergencias y desastres. La evaluación sísmica es definitivamente esencial para prevenir y mitigar daños.

Una estrategia bien preparada después del sismo en donde se incluya la evaluación de daños es una necesidad que debe desarrollarse de modo que pueda darse la aplicación inmediata después de un evento. Esto con el fin de evaluar bajo un solo método el daño físico y llevar a cabo una estimación consistente de la posibilidad de uso o habitabilidad del edificio para buscar la seguridad de las personas.

Si bien es cierto, ya existen manuales y fichas de evaluación a nivel internacional, no es tan sencillo simplemente optar una de ellas en nuestro país, además, no todas contienen toda la

información necesaria, otras están basadas en técnicas demasiado empíricas siendo guías muy breves o, por el contrario, demasiado extensas, problematizando su uso en situaciones de emergencia.

En Costa Rica, existen guías de evaluación de viviendas, escuelas y colegios por parte del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Urbanos y el Ministerio de Educación Pública. Recientemente, la Caja Costarricense del Seguro Social desarrolló una guía de este tipo titulada “Guía de evaluación rápida de edificaciones post evento sísmico”, dirigida a la evaluación de instituciones de salud pública, más, sin embargo, esta no ha sido validada, y está sujeta a cambios y modificaciones. A pesar de la existencia de estos documentos, se destaca el valor de crear un documento que integre todos los criterios necesarios y que pueda ser aplicado de acuerdo a las prácticas constructivas locales., y sobretodo que durante el proceso de investigación la guía pueda ser aplicada y validada a partir de experiencia en campo.

Por lo cual al comparar dicha guía y las existentes en otros países, se definió la importancia contar con una metodología única que considere los lineamientos constructivos del país, tanto en edificaciones públicas como privadas de cualquier uso. Una correcta evaluación estructural después de un movimiento telúrico tiene como fin último proteger la vida humana tras determinar con precisión, el nivel de daño generado en los elementos estructurales de las edificaciones, así como no estructurales, pero de modo más superficial.

Como ya se señaló, el presente trabajo tiene el objetivo de crear un formulario de referencia para la evaluación estructural post sismo, así como “constituir una herramienta o manual de consulta para que el inspector ejecute en primera instancia, la recopilación de la información mínima, para que después se realice

la evaluación de la seguridad de los inmuebles con un procedimiento sistematizado y uniforme” CENAPRED (2011).

Por otro lado, quisiera expresar mi agradecimiento al profesor guía en este proyecto de graduación, el Ing. Rommel Cuevas Kauffmann, por la dedicación y apoyo brindado, y por sus sugerencias y observaciones para la realización de un mejor trabajo. Gracias por la confianza ofrecida y la orientación brindada en mi camino como estudiante de ingeniería.

Asimismo, agradezco al Ing. Miguel Cruz y al Ing. Javier Castro, expertos del tema de ingeniería sísmica; quienes compartieron sus conocimientos para atender mis consultas y realizar sugerencias y que además me brindaron material de gran apoyo en este trabajo.

Gracias a mis compañeros de carrera con quienes compartí cursos y proyectos durante estos años, con una meta en común.

Finalmente, quisiera expresar mi agradecimiento a mis padres, hermanos y amigos por el reconocimiento y apoyo vital en mis años de trayectoria como estudiante de esta institución prestigiosa, por el apoyo en los momentos cruciales que dificultaron el desarrollo de este trabajo y por el ánimo brindado para seguir creciendo como persona y como profesional a pesar de las adversidades.

# Resumen ejecutivo

Costa Rica está ubicada en una zona de alta sismicidad. El país forma parte de la placa Caribe y la microplaca de Panamá, las cuales interactúan con las placas del Coco y Nazca. Estas cuatro placas se unen en territorio costarricense y sus movimientos son los responsables de la gran cantidad de terremotos que afectan al país.

Un sismo corresponde al movimiento horizontal causado por la liberación súbita de energía debido a una dislocación o desplazamiento en la corteza terrestre. Es percibido en la superficie como una vibración del terreno, si no causa daños se denomina temblor, pero cuando la sacudida es violenta y el evento es destructivo, se denomina terremoto, tal como lo describe la Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior de España (s.f.).

Grunthal (1998) explica que la duración de la sacudida influye en los daños, ya que cuando esta aumenta, también se incrementan los esfuerzos. La fuerza del movimiento es mayor cuanto más grande sea la magnitud del terremoto y más cerca se esté del epicentro. Esa fuerza decrece conforme se aleja del epicentro, sin embargo, los sismos lejanos pueden producir ondas de largo periodo que afectan principalmente a edificios altos ya que tienen un periodo muy similar al de la onda.

Es por ello que muchas edificaciones resultan enormemente comprometidas tras ocurrir un sismo moderado o severo. La evaluación post-sísmica de dichas edificaciones se vuelve indispensable para establecer de forma sencilla si la estructura afectada continua o no siendo habitable.

En palabras claras, Pinto & Torres (2016) destacan la importancia de la evaluación

post-sísmica de edificaciones ya que “es un procedimiento visual que permite determinar el estado del daño o deterioro presente en una estructura, inmediatamente o a pocos días de ocurrido un terremoto; su objetivo es proteger de forma inmediata a las personas que habitan en ella.”

Los mismos autores explican que como consecuencia de los terremotos ocurridos en las últimas décadas en países con alta amenaza sísmica, ha sido necesario elaborar y desarrollar técnicas, procedimientos, metodologías y manuales, que permitan realizar evaluaciones inmediatas a los edificios afectados de alguna manera por estos fenómenos naturales. Esto también ocurre en nuestro país, que como se mencionaba anteriormente es víctima de movimientos sísmicos frecuentes, y en ocasiones bastante severos.

Por lo tanto, con el fin de resguardar la vida de las personas que se ven afectadas cuando acontecen catástrofes de este tipo, se quiso proponer una metodología que tomara en cuenta las exigencias y necesidades del país, con base en información recopilada de trabajos y experiencias sobre evaluación post-sísmica a nivel nacional y principalmente aquellos trabajos realizados en otros países más desarrollados y que han sido afectados por fenómenos de la misma naturaleza.

En el presente trabajo se desarrolla un procedimiento para la evaluación de edificios de varios niveles después de un movimiento telúrico, con base en la revisión de literatura y documentos internacionales desarrollados en este ámbito. Entre las principales referencias destacan el documento ATC-20 de Estados Unidos y el

“Manual de campo para la inspección de edificaciones después de un sismo” de Colombia.

El trabajo representa la adaptación herramientas existentes, que permite efectuar una evaluación de daños, cautelosa pero rápida, con el fin de identificar las edificaciones que han sido afectadas y que representan un peligro, al mismo tiempo será posible identificar las edificaciones que son seguras y que podrán continuar funcionando o como lo sugiera la Asociación de Ingeniería Sísmica de Colombia (2002), “servir de refugios temporales para las personas afectadas víctimas de los terremotos”.

Vale la pena resaltar que la guía es aplicable tras la ocurrencia de un sismo, por lo que, si suceden otro tipo de desastres, entendidos como inundaciones, huracanes, incendios, entre otros, se deben verificar otros aspectos que no fueron considerados en la guía presentada más adelante.

El procedimiento contempla dos niveles de evaluación: la evaluación rápida y la evaluación detallada. Pinto & Torres (2016) definen ambos conceptos: la evaluación rápida es el primer nivel de inspección que permite determinar de forma inmediata si la estructura es segura o insegura, con base en el nivel de riesgo por inestabilidad y problemas geotécnicos. La evaluación detallada es una inspección visual a fondo, donde se explora cuidadosamente la edificación, describiendo el nivel de daño estructural.

La propuesta de reestructuración de los edificios afectados es una limitación de este proyecto, pues se encuentra fuera de los alcances del trabajo. Dicha guía tampoco considera una evaluación en el ámbito electromecánico, únicamente se hace mención a ciertos aspectos meramente generales.

La evaluación de elementos no estructurales se evalúa de manera somera, apegándose a la idea que son elementos vulnerables a caer en réplicas del sismo principal, implicando un riesgo para sus ocupantes.

Después de la evaluación detallada, se pueden realizar evaluaciones adicionales conocidas como evaluaciones ingenieriles, las cuales son practicadas por especialistas en ingeniería estructural en posición de indicar “las medidas a seguir para las reparaciones en general, refuerzo estructural, demolición total o parcial de la estructura” (Pinto & Torres, 2016).

Los resultados de inspección se asocian a tres niveles de seguridad: habitable, uso

restringido y no habitable. Dicha clasificación se basa en los resultados de la inspección sobre las condiciones que muestre el edificio de manera global, los daños en sus elementos arquitectónicos y estructurales y las condiciones geotécnicas de su entorno, así como se explica en la guía técnica para la inspección de edificaciones elaborada por la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2002).

La organización previa al terremoto es fundamental, por lo que lo ideal es establecer previamente comisiones de inspección debidamente capacitadas, así como se deben establecer planes de operación a seguir una vez ocurrido un sismo.

De acuerdo con Vizconde (2017), para realizar la evaluación de una edificación se organiza un equipo de al menos dos ingenieros estructurales con experiencia en el diseño sísmico de edificios. Se requiere de un buen juicio del equipo de inspección, ya que es muy difícil desarrollar procedimientos y guías para evaluar los daños sin un criterio técnico acertado.

Con la creación de un manual de campo, es decir un manual de uso del formulario propuesto, se cuenta con una herramienta de apoyo al trabajo a desarrollar por parte comité evaluador que llevará a cabo las labores de inspección de edificaciones, ya que orienta desde un punto de vista técnico la aplicación del formulario de inspección y clasificación de los edificios. Es decir, aporta elementos que contribuyen a unificar los criterios del personal experto y sirve de guía para toma de decisiones por parte de los profesionales con menor experiencia.

Dando a los evaluadores descripciones completas de los daños que pueden encontrar en los diferentes elementos estructurales y no estructurales de los edificios, se puede lograr una mejor valoración de los problemas encontrados para así definir de una manera más adecuada la habitabilidad del edificio.

La validación de las herramientas propuestas se realizó mediante su aplicación a casos reales. En primer lugar, se evaluó un edificio dentro de las instalaciones del Tecnológico de Costa Rica en Cartago, el cual además de los daños existentes debido al paso de los años, se consideró afectado por los efectos de un sismo años atrás. De esta evaluación, se obtuvo que la edificación podía clasificarse como uso

restringido, y se recomendó una evaluación ingenieril adicional.

El segundo edificio evaluado se trataba de una edificación de 5 niveles en el centro de la provincia de San José. En este caso el edificio fue afectado tras el sismo de Limón en 1991, para lo cual se contó con un registro completo de los daños por lo que se evaluó el edificio recreando la escena a partir de la información brindada. Con ello se concluyó que el edificio requería la rehabilitación inmediata y la decisión más óptima era clasificarlo como uso restringido hasta realizar las reparaciones requeridas.

# Introducción

Costa Rica se ubica a lo largo del Cinturón de Fuego del Pacífico, en una zona de subducción de placas donde interactúan grandes placas tectónicas: Cocos, Nazca, Caribe y la Microplaca de Panamá.

Debido a la ubicación geográfica dentro de las placas tectónicas, Costa Rica se ve afectada por una alta sismicidad, por lo que una excelente estrategia de prevención de riesgos sería examinar las condiciones que tienen las edificaciones de nuestro país. Al realizar un estudio de diagnóstico de edificios, es posible proponer un diseño del reforzamiento, que las nuestras edificaciones, de manera que en el futuro se puedan enfrentar terremotos con daños más limitados. Para ello, se vuelve indispensable una guía de evaluación estructural, que al mismo tiempo sería un método garantizado para medir la vulnerabilidad de edificaciones al momento de ocurrido el sismo.

Después de un sismo, es deseable que la evaluación de los daños y la seguridad de las edificaciones sean realizadas usando criterios confiables, objetivos y uniformes, de tal manera que se puedan caracterizar los daños estructurales en las edificaciones. Además, como la ocurrencia de réplicas es muy probable, la evaluación inmediata es indispensable con el fin de evitar daños de segundo orden.

Por ejemplo, según Linkimer & Soto (2012), durante el período de un mes posterior al terremoto del 5 de setiembre ocurrido en Nicoya, la Red Sismológica Nacional localizó 920 sismos. Los sismos mayores ocurrieron el 8 y 15 de setiembre, con magnitudes de 5,4 y 5,2, respectivamente. Por ello, se vuelve de suma importancia la evaluación inmediata, pues esto permite generar información de la situación para que las autoridades puedan tomar decisiones y definir estrategias de emergencia que permitan a largo plazo reducir los efectos de futuros eventos sísmicos.

Entre los terremotos importantes ocurridos en Costa Rica, se encuentran el de Golfito en 1983

(magnitud 7,4), Cóbano en 1990 (magnitud 7,0), Limón en 1991 (magnitud 7,7) Cinchona en el 2009 (magnitud 6,2) y Nicoya en el 2012 (magnitud 7,6).

Debido a las consecuencias sufridas en sismos anteriores, la magnitud de daños personales y materiales ocurridos, su repercusión económica y su trascendencia social, se pretende la redacción de una guía de evaluación de impacto estructural con fin de definir una serie de pautas de actuación sobre el edificio ya sea permitir el acceso, restringir o prohibir el acceso al edificio y área circundante.

Se examinaron registros de métodos aplicados en ocasiones anteriores para la evaluación post-sismo en edificaciones en Costa Rica y a nivel internacional.

En diversos países, ya se han realizado investigaciones en el tema de la evaluación de edificaciones post-sismo. Países como El Salvador, Guatemala, Colombia, México, entre otros ubicados en zonas de alta amenaza sísmica, poseen métodos que permiten evaluar el daño en edificaciones que han sido afectadas por sismo, con el principal objetivo de determinar si dichas estructuras son aún seguras o si deben ser evacuadas para salvaguardar la vida de las personas y evitar un incremento en el número de las posibles víctimas. Entre las principales referencias destacan el documento ATC-20 de Estados Unidos y el “Manual de campo para la inspección de edificaciones después de un sismo” de Colombia.

A nivel nacional, la Ing. Christa Schaubek en el 2003 realizó una investigación académica denominada “Evaluación y cuantificación de daños en viviendas causados por movimientos sísmicos”. Posteriormente en febrero del presente año, el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos preparó una guía de Evaluación rápida de viviendas ante una emergencia. Sin embargo, dicha guía se limita únicamente a la evaluación de vivienda. Por otro lado, el Ministerio de Educación cuenta con su propia guía para la evaluación de

escuelas y colegios. Recientemente el departamento de Dirección de Proyectos Especiales de la Caja Costarricense del Seguro Social inició el desarrollo de un procedimiento de inspección de edificios de salud pública.

No obstante, se requiere a nivel nacional un patrón evaluativo para todo tipo de edificaciones adecuado a los sistemas estructurales más comunes. Es por ello que el principal objetivo de esta investigación es desarrollar una guía para la evaluación del impacto estructural post-sismo en edificaciones, que facilite la labor a profesionales encargados de llevar a cabo dichas actividades. Se debe dejar claro que aquellas obras de infraestructura que no se puedan considerar como “edificaciones” tales como carreteras y puentes, no están dentro del ámbito de aplicación de la guía.

“Un sistema estructural se define como aquel que está constituido por elementos como columnas, vigas, paredes o una combinación de los mismos, estos elementos deben de ser capaces de resistir las cargas gravitacionales y laterales, así como proporcionar una adecuada capacidad a la torsión a través de su resistencia, rigidez y disposición estructural.” (Najarro, 2008)

De acuerdo con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, los sistemas constructivos “modernos” o de más uso en la actualidad son la mampostería, marcos de concreto, las estructuras de perfiles metálicos y cerramientos livianos, y los paneles prefabricados. También, afirma que la mampostería es el sistema más utilizado en Costa Rica y ha demostrado un buen comportamiento ante los sismos, siempre que se haya realizado una adecuada inspección y control de calidad de los materiales que la componen.

Según Najarro (2008), los procedimientos para la evaluación post-sísmica normalmente se aplican por medio de tres niveles o etapas de desarrollo: 1) La evaluación rápida (o de habitabilidad) que se basa en el nivel de riesgo o peligro que representa una edificación para la población, 2) La evaluación detallada, que describe el nivel de daño estructural y su clasificación y 3) La evaluación ingenieril especializada, la cual hace un estudio más detallado de la edificación y propone una rehabilitación o la demolición del mismo.

En este caso, la guía planteada no determina si es necesaria la reconstrucción o si se requiere la demolición del edificio, tampoco tiene

como finalidad implantar medidas de rehabilitación a las edificaciones dañadas por sismos.

Dicha guía tampoco considera una evaluación en el ámbito electromecánico únicamente se hace mención a ciertos aspectos meramente generales.

Además, la inspección de los elementos estructurales se basa en la observación, la presente guía no sugiere la realización de pruebas físicas a los materiales ni cálculos estructurales de ningún tipo, sin embargo, de ser considerado necesario, se puede recomendar una evaluación ingenieril detallada como se explicaba anteriormente.

La formulación de la guía está acompañada por la elaboración de un manual de campo para evaluación post-sismo adecuado a las condiciones del país, que permitirán evaluar de una manera objetiva la seguridad de una edificación.

Con herramientas como esta se logrará identificar en un primer plano, cuáles son las edificaciones con mayor daño después de ocurrido un sismo, ya sea este moderado o severo. Así mismo, precisar si aquellas edificaciones dañadas deben prohibir o restringir su uso pues estaría representando un peligro a la comunidad. Del mismo modo, será posible clasificar las edificaciones estables que puedan servir como refugio temporal a personas que perdieron sus viviendas o que hayan sido evacuadas para resguardar su seguridad debido al estado de la edificación que ocupaban.

Otro beneficio de la creación de esta guía, pero fuera del alcance del proyecto, es que una vez evaluadas las edificaciones, la información obtenida podría convertirse en una base de datos oportuna para la estimación de las pérdidas y la elaboración de posibles planes de acción para la rehabilitación y construcción sismo resistente.

Como objetivo final se implementa la guía de manera que se valide la propuesta, no se realizó la evaluación de un edificio por cada sistema constructivo descrito, únicamente dos edificaciones de dos y cinco niveles, fueron evaluadas bajo la metodología propuesta.

# Marco Teórico

Para el desarrollo de una Guía de evaluación del impacto estructural post-sismo en edificaciones es preciso definir algunos fundamentos teóricos. Se inicia con la comprensión del fenómeno sísmico, y las principales afectaciones al país debido a ello. Se continúa con una descripción del riesgo sísmico en Costa Rica con sus componentes: exposición, amenaza y vulnerabilidad sísmica.

Posteriormente, se aborda el comportamiento estructural de las edificaciones bajo los movimientos horizontales generados en un sismo. Además, se describen diferentes guías de evaluación existentes en otros países, y las cuales serán la base para el desarrollo de este trabajo.

## Tectónica y sismicidad

El Servicio Geológico Mexicano (2017), asegura que cualquier proceso que pueda lograr grandes concentraciones de energía en las rocas puede generar sismos y entre las causas más comunes se tiene:

- Tectónica: desplazamiento de las placas tectónicas que conforman la corteza.
- Volcánica: las erupciones violentas pueden generar grandes sacudidas que afectan a los lugares cercanos.
- Hundimiento: la acción erosiva de las aguas subterráneas en el interior de la corteza, deja un vacío, el cual termina por ceder ante el peso de la parte superior.
- Deslizamientos: el propio peso de las montañas es una fuerza enorme que puede producir sismos al ocasionar deslizamientos a lo largo de fallas.

Como se ha descrito anteriormente, la interacción entre placas tectónicas no es la única causa del fenómeno sísmico más, sin embargo, es considerada como la causa principal y de mayor interés en el desarrollo de este trabajo.

Por lo tanto, la teoría de la tectónica de placas explica el intercambio de energía desde el interior de la Tierra hacia la superficie. Esta teoría señala que la litosfera compuesta por la corteza terrestre y el manto superior está dividida en segmentos denominados placas que se desplazan o flotan sobre el manto terrestre. (Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central, 2011)

Las placas tectónicas, se desplazan pasivamente gracias a las corrientes de convección. El movimiento de las placas no se da en forma uniforme, se tienen zonas donde es muy lento, y otras donde es muy rápido. Estos movimientos son llamados tectónicos, afirma el Servicio Geológico Mexicano en el 2017.

Cuando existe un roce entre las placas - tectónicas se genera una acumulación de energía, a causa de restricciones del movimiento y debido a la ocurrencia de fuertes deformaciones de las rocas bajo la superficie terrestre, con el tiempo dicha energía acumulada se libera y se produce un sismo. A continuación, se describe a profundidad este fenómeno.

## Sismos

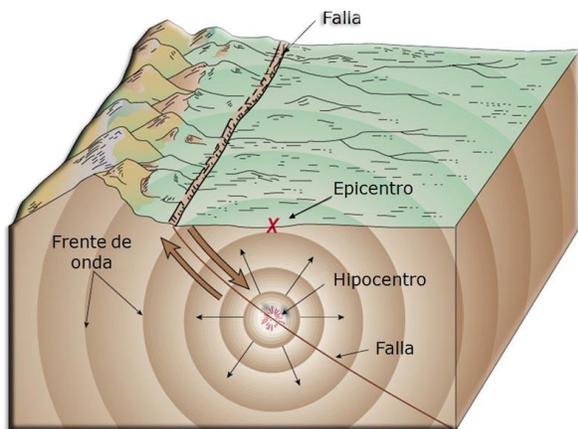
Un sismo o temblor es el movimiento percibido en la superficie de la corteza terrestre como resultado de la ruptura súbita de las rocas y de su capacidad para deformarse elásticamente con el paso de ondas elásticas. La mayoría de los sismos provienen de pequeñas rupturas en las rocas imperceptibles por la población (Linkimer & Alvarado, 2014).

El Servicio Geológico Mexicano (2017), explica que cuando una roca se deforma acumula en su interior energía elástica de deformación; si el esfuerzo aplicado es relativamente pequeño la roca se comporta elásticamente, es decir que se deforma al aplicar una fuerza, pero retorna a su forma original cuando la fuerza ya no está presente. Mientras que, si el esfuerzo aplicado es

muy grande producirá deformaciones permanentes demasiado grandes, y llega a romper la roca súbitamente, lo cual se conoce como falla.

De este modo, la Red Sismológica Nacional (2015), expone que un sismo es aquella vibración de la Tierra tras una rápida liberación de energía a causa de un deslizamiento de la corteza terrestre a lo largo de un plano de falla.

La literatura afirma que la mayor cantidad de energía acumulada en el proceso es disipada como calor, mientras que la energía restante es irradiada en forma de ondas. Estas ondas, que se propagan en todas las direcciones a partir de la zona de ruptura llamada foco o hipocentro, hacen vibrar la superficie terrestre. La proyección vertical en la superficie terrestre del hipocentro es llamado epicentro (Alvarenga, García, & Pérez, 2017).



**Figura 1.** Partes de un sismo

La Figura 1 anterior muestra gráficamente las partes de un sismo. Al entender esto, es posible afirmar que los sismos pueden ser clasificados según su fuente de origen y su cercanía a los límites o fronteras entre las placas tectónicas, de este modo se indica que puede tratarse de sismos interplaca o sismos intraplaca.

Según el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (2017), los tipos de sismo mencionados anteriormente se definen de la siguiente manera:

#### **a) Sismo de interplaca**

Los sismos interplaca son los que ocurren asociados directamente al contacto entre dos placas, comúnmente son de magnitud considerable y con profundidades de no más de 40 km.

#### **b) Sismos de falla local o de intraplaca**

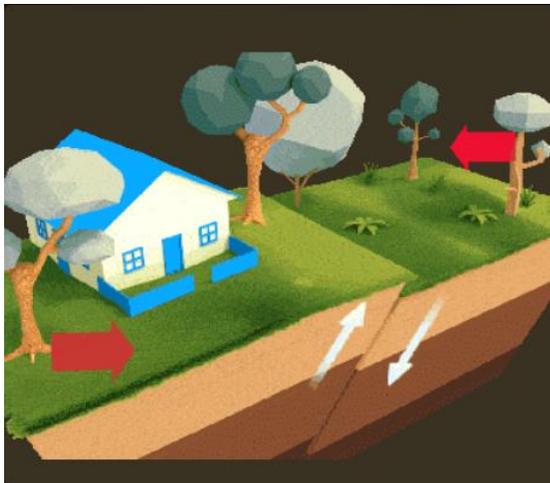
Los sismos intraplaca son aquellos que ocurren debido a una deformación interna de las placas tectónicas. Pueden ocurrir en cualquier lugar donde existan fallas geológicas activas.

Estos sismos son menos comunes y generalmente de menor magnitud. Sin embargo, aquellos de magnitud moderada, superficiales y cercanos a las ciudades, pueden ser más desastrosos que los sismos de interplaca de gran magnitud.

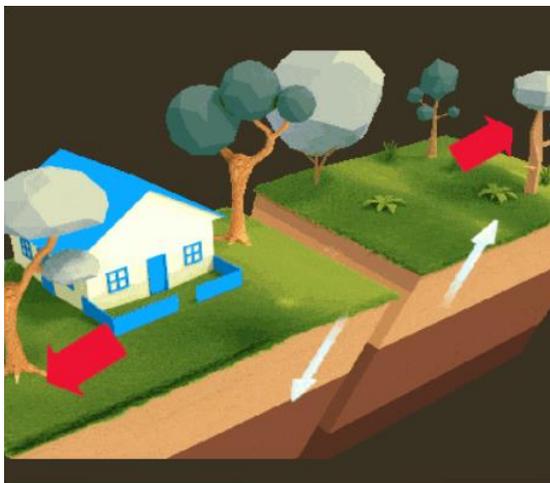
Los sismos de intraplaca se clasifican a su vez según el tipo de falla, estas pueden ser fallas inversas, normales o de corrimiento lateral. De acuerdo con Montero, Arauz, Jiménez, & Quesada (2016), la explicación de las tres diferentes fallas es la siguiente:

- **Falla inversa:** Es producida por esfuerzos de compresión horizontal (representados por la flecha gruesa de la Figura 2). El bloque de techo sube y el bloque del piso baja. Son típicas de las zonas de subducción.
- **Falla normal:** Es producida por esfuerzos de tensión horizontal (representados por la flecha gruesa de la Figura 3). El bloque de piso sube y el bloque de techo baja. Son típicas de las zonas de subducción en la placa subducida.
- **Falla de corrimiento lateral:** Estas fallas son verticales y el movimiento de los bloques es horizontal. Se distinguen dos tipos de fallas de desgarre: derechas e izquierdas. Las derechas son aquellas en donde el movimiento relativo de los bloques es hacia la derecha, mientras que en las izquierdas es el opuesto. Son típicas de las fallas locales y los límites de rozamiento.

Inmediatamente después de que ocurre un gran temblor, éste es seguido por temblores de menor magnitud llamados réplicas. Estos sismos ocurren en la zona de ruptura del temblor principal, su ocurrencia se debe probablemente al reajuste mecánico de la región afectada que no recupera su estado de equilibrio inmediatamente después del temblor principal. (Servicio Geológico Mexicano, 2017).



**Figura 2.** Falla inversa (Montero et al, 2016)



**Figura 3.** Falla normal (Montero et al, 2016)



**Figura 4.** Falla de corrimiento local (Montero et al, 2016)

## Ondas sísmicas

Como ya se conoce, en un sismo se libera energía que es propagada a través de ondas sísmicas. Según el Servicio Geológico Mexicano (2017), las ondas sísmicas se propagan en todas las direcciones y transmiten la fuerza que se genera en el foco sísmico hasta el epicentro en proporción a la intensidad y magnitud de cada sismo.

Se han reconocido tres tipos de ondas principales, a saber: ondas-P, ondas-S y ondas superficiales. El Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central, realizó en el 2011 una cartilla informativa en temas de sismicidad, en la cual se caracterizaron los tres tipos de ondas mencionados. Por lo tanto, a partir de dicha información se describen de la siguiente manera:

Ondas primarias o longitudinales:

- El suelo o el medio es comprimido o dilatado en la dirección de propagación de las ondas.
- Se propagan a una velocidad de entre 8 y 13 km/s.
- Viajan a través de cualquier tipo de material (líquido o sólido).

Ondas secundarias:

- El suelo o medio es desplazado en forma transversal a la dirección de propagación de las ondas sísmicas.
- Se desplazan en forma transversal a la dirección de la propagación.
- Se propagan a una velocidad de entre 4 y 8 km/s, se trasladan a través de materiales.

Ondas superficiales:

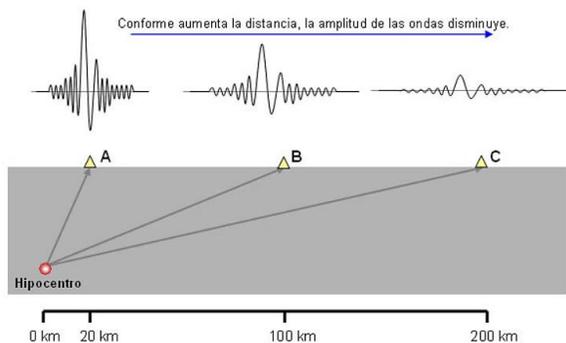
- Se propagan a una velocidad de 3,5 km/s.
- Producto de la interacción entre las ondas P y S a lo largo de la superficie de la Tierra.
- A medida que la profundidad aumenta disminuye la amplitud de su movimiento
- Se subdividen en dos tipos: ondas Rayleigh y ondas Love

Debido a la diferencia en la velocidad de cada tipo de onda, cuando ocurre un sismo, las primeras sacudidas son debidas a las ondas P, siendo las siguientes las ondas S y por último las superficiales.

Pero también, las ondas S son las que transportan la mayor cantidad de la energía de un sismo y sacuden la superficie del terreno vertical y horizontalmente.; esto significa que la mayoría de los daños producidos a estructuras se debe a las ondas S.

Para comprender el fenómeno de propagación se hace referencia a la amplitud de la onda que es el pico máximo medido desde la línea central y el período que se refiere al tiempo que transcurre para completar un ciclo.

Las ondas sísmicas en la región del epicentro de un sismo se caracterizan por poseer amplitudes altas y períodos cortos. Conforme las ondas se propagan por todas direcciones, empiezan a perder energía, tal como se muestra en la Figura 5, considerando además que las ondas tienden a cambiar de ángulo conforme atraviesan diferentes capas de la Tierra.



**Figura 5.** Amplitud de onda (LIS, 2011)

Por lo general, las ondas de período corto son las que poseen amplitudes mayores, mientras que las de períodos largos poseen amplitudes menores.

Las ondas sísmicas se registran en aparatos denominados sismógrafos. En ellos quedan registradas las ondas correspondientes a los tres tipos de ondas. Las líneas que describen estas ondas aportan la información sobre la intensidad del terremoto.

Por otro lado, el fenómeno de resonancia, puede aumentar la amplitud de la onda y prolongar la duración del sismo. De acuerdo con Najarro (2008), la resonancia se produce cuando una onda llega hasta la superficie a través de un suelo blando y luego baja hasta rebotar con la roca que había atravesado con anterioridad. Cuando el período de las ondas sísmicas coincide con el

período de vibración de la capa de suelo, el fenómeno de resonancia se vuelve máximo.

Conjuntamente, sobre los edificios y estructuras recae el efecto del movimiento de las ondas sísmicas, pues puede ocurrir la transferencia de movimientos horizontales de la superficie del suelo a un edificio o estructura, la creación de fuerzas por medio de la aceleración horizontal, las cuales actúan sobre la edificación o estructura o bien un aumento de la aceleración cuando la estructura empieza a resonar, según explica Pérez (2013).

## Magnitud

El concepto de magnitud fue introducido por Charles F. Richter en 1935; quien estableció una escala de magnitud a la que llamó Escala de Magnitud de Richter, también conocida como escala de magnitud local (ML).

La magnitud está relacionada con la cantidad de energía liberada desde el hipocentro del terremoto. Es una escala logarítmica cuyo valor se basa en la amplitud de la onda registrada en un sismógrafo situado a menos de 100 km del epicentro; y abierta, por lo cual no tiene límite superior ni inferior.

Es una medida cuantitativa e instrumental del tamaño del evento, relacionada con la energía sísmica liberada durante el proceso de ruptura de la falla. El valor determinado está en función de la longitud de la falla y de las características mecánicas del suelo o rocas donde se produjo.

El mayor problema con la magnitud de Richter radica en su ineficacia para relacionarla con las características físicas del origen del terremoto, ya que terremotos originados a mayores profundidades tienen un nivel destructivo mucho menor que uno de igual magnitud, pero cuyo hipocentro es más superficial (Najarro, 2008).

Es posible predecir o determinar algunos posibles efectos a causa de un temblor de acuerdo con la magnitud registrada, esto se muestra en el Cuadro 1 realizado a partir de la información brindada por el Cuerpo de Bomberos de Cañete.

El periódico La Vanguardia (2016), describió los efectos de un terremoto según su magnitud en la escala de Richter. Para lo cual, se considera un sismo fuerte a partir de los 6 grados de magnitud, en donde el movimiento de la tierra es entre fuerte y violento. Cuando se trata de magnitudes entre 7 y 7,9, los daños suelen ser significativos en la zona situada hasta 250

kilómetros del epicentro. Si se superan los 8 grados, los daños son muy importantes en todos los edificios, provocan una destrucción casi total, pueden producir cambios permanentes en la topografía de la zona afectada por el movimiento y gran cantidad de muertes.

Según la Oficina Nacional de Emergencia de Chile, debido al carácter logarítmico de esta escala, cuando la amplitud del movimiento o energía liberada por el sismo varía por un factor de 10, la magnitud cambia en una unidad. Es decir que un sismo de magnitud 7 será diez veces más fuerte que un evento de magnitud 6, y cien veces más fuerte que uno de magnitud 5.

<b>CUADRO 1. ESCALA DE RICHTER</b>	
<b>Magnitud</b>	<b>Efectos del terremoto</b>
Menor a 3,5	Generalmente no se siente, pero es registrado.
3,5 -5,4	A menudo se siente, pero sólo causa daños menores.
5,5 – 6,0	Ocasiona daños ligeros a edificios.
6,1 – 6,9	Puede ocasionar daños severos en áreas muy pobladas.
7,0 – 7,9	Terremoto mayor. Causa graves daños.
8 o mayor	Gran terremoto. Destrucción total a comunidades cercanas.

Fuente: Oficina Nacional de Emergencia de Chile (s.f.)

## Intensidad

La intensidad es una medida subjetiva que trata de describir como es percibido un sismo en cualquier punto de la superficie. Es la medida con la cual se establece una relación entre la fuerza de un sismo y las percepciones y daños físicos provocados en una región.

La intensidad no mide la energía liberada en el hipocentro, pero en su determinación influye la distancia de este respecto a la posición del receptor, las características mecánicas del suelo, los procesos de refracción y reflexión de las ondas, entre otros.

Astrosa, Ruiz & Molina (2012), establecen que la intensidad sísmica no es un parámetro que se utilice actualmente en las normas de diseño sísmico en aras de definir la demanda sísmica, aunque su estimación es fundamental para

calificar la severidad de un terremoto según la respuesta en las personas, en los objetos, en las construcciones y en la naturaleza.

Para establecer una relación entre la fuerza del sismo y los daños provocados, se mide la aceleración del terreno durante un sismo y por consiguiente también de las estructuras que se apoyan sobre él, lo más común es utilizar instrumentos llamados acelerógrafos, LIS (2011).

Gran cantidad de escalas de intensidad han sido empleadas a lo largo la historia. A finales del siglo XIX, fue el vulcanólogo italiano Giuseppe Mercalli quien desarrolló una escala de este tipo, y la cual fue posteriormente modificada.

Entre dichas modificaciones se destaca su expansión a 12 posibles grados de intensidad. La escala de intensidad Mercalli Modificada se usa actualmente en los Estados Unidos y en nuestro país (RSN, 2014).

La escala está compuesta por doce niveles de intensidad, designados con números romanos, según sean movimientos imperceptibles hasta los fuertes y destructores. Se dice que estos niveles fueron establecidos en función de las percepciones de la población y de los daños provocados por el terremoto a las obras civiles.

En el Cuadro 2 se muestran de manera puntual los doce niveles de intensidad y para una descripción más detallada, se sugiere revisar el Anexo A.

<b>CUADRO 2. ESCALA DE INTENSIDAD DE MERCALLI MODIFICADA</b>	
<b>Grado</b>	
I	Imperceptible por humanos
II	Muy leve
III	Leve
IV	Moderado
V	Un poco fuerte
VI	Fuerte
VII	Muy fuerte
VIII	Destructivo
IX	Ruinoso
X	Desastroso
XI	Muy desastroso
XII	Catastrófico

Fuente: RSN (2015)

En el año 2006, el Ing. Víctor Schmidt realizó una redefinición de la escala de intensidad Mercalli Modificada tras considerar los daños

observados en las estructuras de los sistemas constructivos utilizados en Costa Rica y el valor de aceleración registrado por la red de acelerógrafos del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) durante el período 1983–2003. Los resultados de esta investigación se ajustan a los lineamientos del país, y se muestran en el Anexo B.

Cabe destacar que la intensidad dependerá del sitio en estudio, lo común es que sea alta en el área epicentral y disminuya de acuerdo con la distancia. La Red Sísmológica Nacional especifica que la intensidad con la cual se percibe un sismo varía de una localidad a otra debido a distintos factores. Por ejemplo, la amplificación de las ondas sísmicas, lo cual a su vez depende del tipo de roca sobre la cual se asienta una localidad. En rocas duras, las ondas sísmicas viajan con cierta amplitud y velocidad y esta tiende a amplificarse cuando viajan en terrenos poco consolidados o sedimentos blandos (RSN, 2014).

Ahora bien, la intensidad puede tener distintos valores dependiendo del lugar en dónde se realice el análisis de los daños causados en los edificios, efectos en el terreno y en las personas; mientras que la magnitud tiene un valor único pues se estima con la energía que liberó el terremoto.

Una forma de representar gráficamente los niveles de intensidad de un sismo en diferentes localidades es a través de mapas de isosistas, asevera Katyuska (2013).

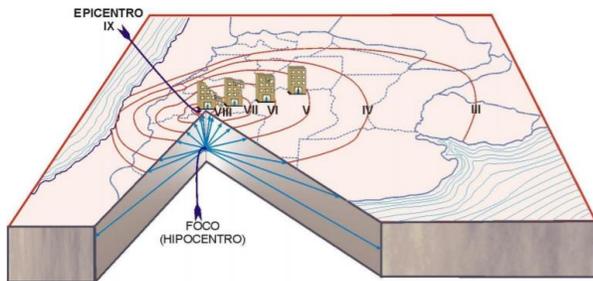


Figura 6. Isosistas de un terremoto (INPRES, s.f.)

## Distribución geográfica de sismos en Costa Rica

Costa Rica está localizada en el sur de América Central y forma parte de la placa Caribe y de la Microplaca de Panamá o Bloque de Panamá, es

una zona sismotectónica muy activa. Se caracteriza por la interacción de las placas Cocos, Nazca, Caribe y Microplaca de Panamá (Segura, Quintero, Burgoa, & Jiménez, 2014).

Los movimientos relativos de las placas mencionadas anteriormente varían entre 2 y 9 cm/a, y están acompañados por volcanismo activo y alta sismicidad superficial e intermedia, según expresan Climent, Rojas, Alvarado y Benito en el 2008.

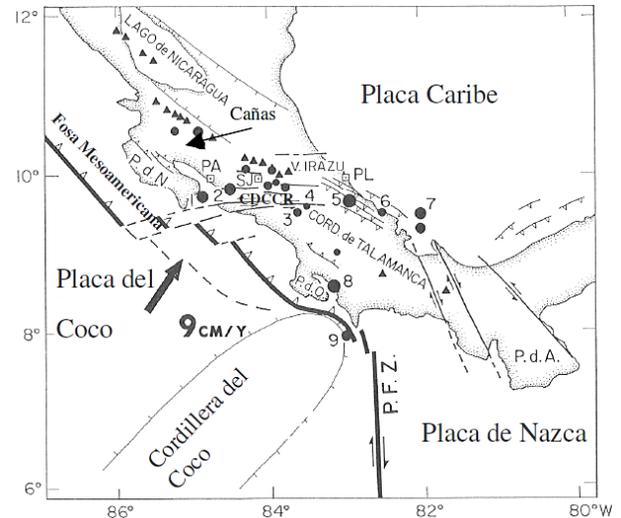


Figura 7. Marco tectónico regional de Costa Rica (Climent et al, 2003)

Astorga et al. (1991) proponen la existencia de un importante sistema de fallas que atraviesa la parte central del país, a esto lo denominaron la falla transcurrente sinistral de Costa Rica. Este sistema de falla divide al país en dos grandes bloques denominados Costa Rica Norte y Costa Rica Sur (Véase Figura 8). Además, el extremo noroeste comprende un sistema de fallas inversas que son parte del Cinturón Deformado de Panamá.

Godínez, Arroyo y Linkimer (2018), analizaron la distribución espacio-temporal de la sismicidad en Costa Rica, contenida en el catálogo sísmico de la Red Sísmológica Nacional para el periodo 1975-2014. A partir de su estudio llegaron a las siguientes conclusiones importantes:

- La sismicidad es abundante en la costa Pacífica de Costa Rica, especialmente entre la línea de costa y la Fosa Mesoamericana. En esta región se ubica, aproximadamente, la zona sismogénica interplacas de la subducción de la placa

del Coco bajo la placa Caribe y la microplaca de Panamá.

- La alta densidad de sismos también expone la posición de las Fallas del Arco Volcánico (FAV) a lo largo de la cordillera de Guanacaste y del Cinturón Deformado del Norte de Panamá (CDNP), en el sector Caribe.
- Alta densidad de sismos en varios cúmulos ubicados sobre la zona sismogénica interplacas del Pacífico Central, entre las penínsulas de Nicoya y Osa.
- Alta concentración de sismos en el llamado “nido de Parímina”, relacionado con una falla local en el piso oceánico de la placa Caribe.
- La zona norte del país presenta una sismicidad muy baja, especialmente de sismos superficiales (< 30 km).
- En los alrededores de la península de Santa Elena, en donde a pesar de la ocurrencia de sismos de magnitud intermedia y alta, la zona posee una densidad de sismos baja en comparación con el resto del país.

Estas observaciones realizadas por Godínez et al (2018) sugieren que la subducción tanto de montes submarinos como de una falla genera una alta deformación en la placa cabalgante, que resulta en la alta sismicidad concentrada en estas regiones específicas.

Por otro lado, a lo largo de la historia, se ha concluido que la mayoría de los sismos en Costa Rica ocurren como consecuencia del proceso de subducción de la placa Coco bajo la placa Caribe o bien a causa del rompimiento de fallas locales en la corteza de la placa Caribe y la microplaca Panamá.

Respecto a lo anterior Climent et al (2003) reafirman que la tectónica está regida por dos grandes sistemas que interactúan entre sí, estos son los siguientes:

#### **a) Proceso de subducción:**

Según el Servicio Geológico Mexicano (2017), la placa subducida avanza sin resbalar, la deformación aumenta hasta que los esfuerzos son más grandes que la fricción entre ellas, el contacto se rompe y ambos lados de la ruptura se desplazan, dando lugar a un sismo.

La placa del Coco es más densa que la placa del Caribe o la micro placa de Panamá, por lo que cuando ocurre un choque frontal, las placas más livianas cabalgan sobre la placa del Coco, la cual penetra dentro del manto terrestre formando una zona de Benioff o zona de sismicidad profunda. (OVSI-CORI, 2005)

En otras palabras, la introducción de la placa del Coco debajo de la Caribe origina una zona de sismicidad profunda. Algunos sismos asociados a la subducción pueden suceder a grandes profundidades (mayores a 50km), en la parte más baja de la placa hundida.

Esta zona es de particular importancia pues en ella se forman los sismos más fuertes en Costa Rica, esto ocurre en daños significativos en las regiones costeras cercanas al epicentro y daños menores hacia el interior del país.

Esta fuente sísmica es una de las más importantes, dado que se caracteriza por grandes liberaciones de energía en forma de terremotos de magnitudes altas ( $M_s > 7,7$ ) que pueden generar intensidades máximas de grado VIII o IX en la zona epicentral y, además, por su profundidad son sentidos en una región más amplia que los originados en fallas locales. (Climent, Salgado, Slob, & Westen, 2003)

De hecho, según registros de la Red Sismológica Nacional (2015), en Costa Rica, los sismos de magnitud más importante han sido provenientes de esta fuente (por ejemplo, recientemente, el terremoto de Sámara o Nicoya del 2012 con una magnitud de 7,6 Mw).

#### **b) Falla local:**

La placa oceánica de Nazca interacciona con la placa de Coco a lo largo de la Fractura de Panamá, que es un sistema de fallas que corren Norte-Sur. Los sismos asociados a fallas locales siempre ocurren a nivel muy superficial.

A nivel nacional, el valor máximo de magnitud alcanzada por los sismos de fallamiento local no ha superado los 6,5 Mw. Los más fuertes suelen rondar entre los 5,0 y 6,5 Mw (como es el caso del terremoto de Cinchona del 2009 con una magnitud de 6,2Mw). (RSN, 2015)

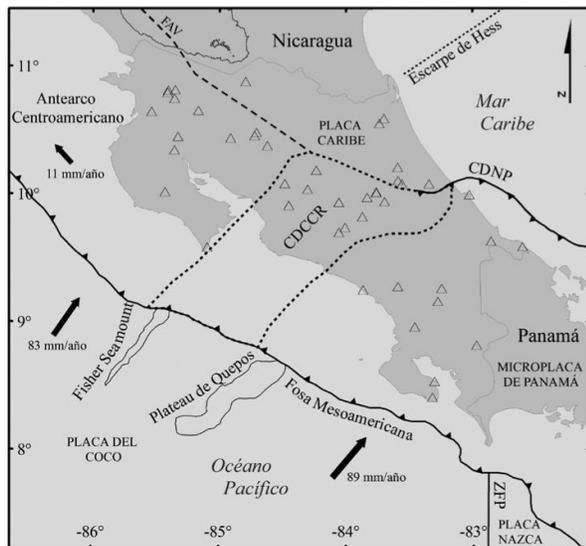
Sin embargo, no puede dejarse de lado que otra causa de la alta sismicidad en el país se debe a la debilidad de la corteza terrestre a lo largo del eje volcánico Centroamericano, esto a causa de la gran cantidad de volcanes encontrados en la faja volcánica. Según el OVSI-CORI (2005), en

esta zona se localizan los sismos más dañinos, aunque no los más grandes de Centro América. Ejemplos de estos temblores son el terremoto de Cartago de 1910.

## Sismos históricos

En nuestro país, la Red Sismológica Nacional (RSN) y el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI) son entidades encargadas de investigar los procesos sísmicos y volcánicos del país, con el fin de contribuir con una adecuada gestión del territorio, promover la prevención de desastres y así mejorar la calidad de vida de la población.

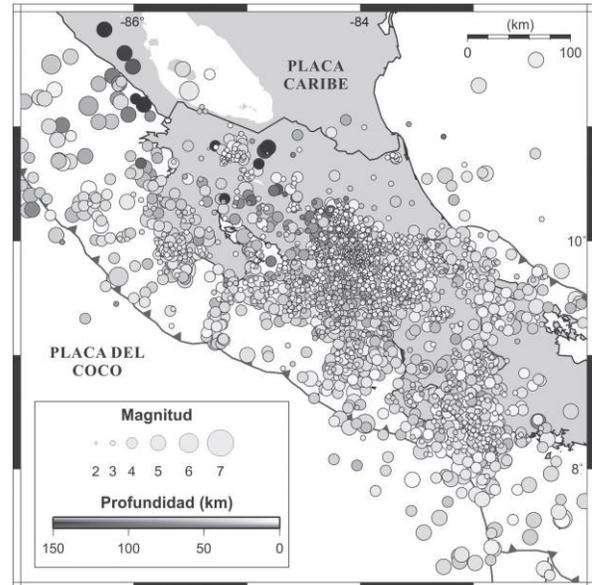
Existen alrededor de 210 estaciones sismológicas que componen la Red Sismológica Nacional (RSN). Gracias a esta red sísmica es posible detectar los movimientos de la tierra. Estos se registran en tiempo real en el laboratorio de Sismología de la Escuela Centroamericana de Geología de la Universidad de Costa Rica.



**Figura 8.** Mapa tectónico simplificado de Costa Rica y ubicación de las estaciones de la RSN durante el año 2014 (RSN, 2016)

Por lo tanto, la RSN cuenta con una base de datos de los sismos sentidos por la población. Generalmente los sismos sentidos son aquellos de mayor magnitud o bien con epicentros cercanos a zonas pobladas.

En la Figura 9, se muestran 3363 sismos localizados y reportados por la RSN como percibidos, durante el periodo comprendido entre el 28 de julio de 1976 y el 31 de diciembre del 2013.

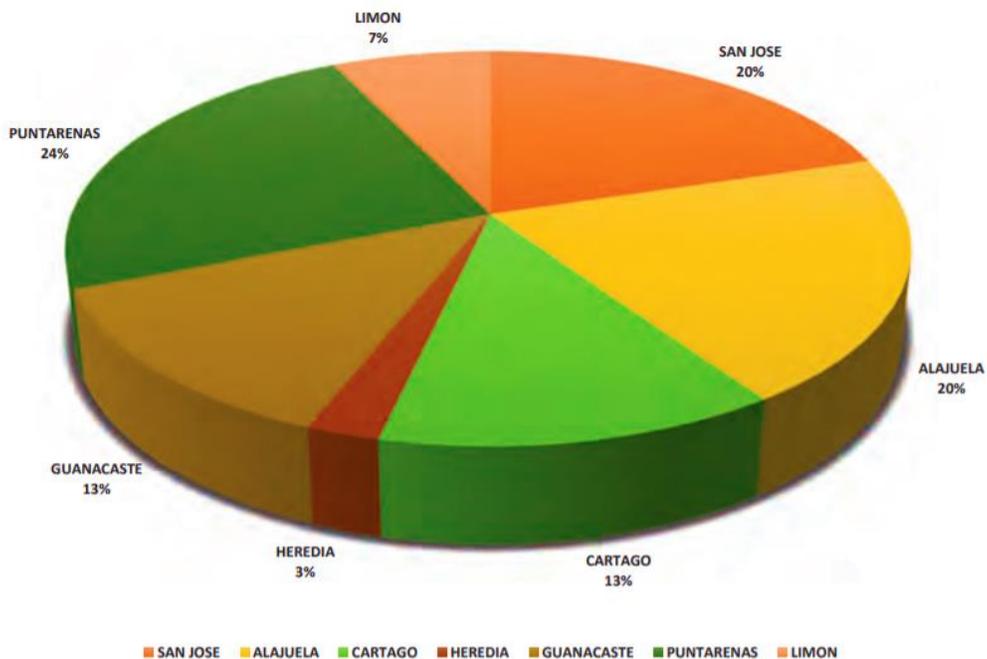


**Figura 9.** Mapa epicentral de los sismos sentidos en Costa Rica reportados por la RSN desde julio de 1976 hasta diciembre del 2013. (Vallejos et al, 2017)

Según Linkimer y Alvarado (2014) que, la cantidad anual de sismos sentidos reportados por la RSN ha variado entre 15 y 353 y que la mayor cantidad de sismos sentidos reportados por esa red ocurrió en los años 1991, 2012 y 2013, lo cual estuvo relacionado con la ocurrencia de terremotos importantes, sus réplicas y sismos inducidos durante esos años.

Asimismo, en la Figura 10, se puede observar, que las provincias con mayores sismos fuertes o con daños significativos entre los años 1723 y 2017 son Puntarenas, Alajuela y Cartago.

De manera más específica, Godínez et al (2018), determinaron que los cantones con la densidad más alta de sismos son Parrita, El Guarco, Tarrazú, León Cortés y Desamparados, todos ubicados en la zona Central y del Pacífico Central del país, y con una densidad mayor a 2,4 sismos/km<sup>2</sup>, no obstante, los cantones de Pérez Zeledón, Turrialba y El Guarco han sido el escenario de la mayor cantidad de sismos percibidos por la población.



**Figura 10.** Distribución histórica de eventos sísmicos generadores de daños en Costa Rica (febrero, 1723 – abril, 2017) por provincia (Vallejos et al, 2017)

Como ya explicó existen dos tipos de sismos, intraplaca e interplaca. De los 3363 sismos percibidos, los sismos de intraplaca, predominan en la historia del país, pero su menor magnitud promedio en relación con los eventos de interplaca no los excluye de ser los que han generado mayores pérdidas materiales y humanas, principalmente por su cercanía a centros de población y poca profundidad.

Ejemplos de este tipo de sismos son los terremotos Tilarán en 1973, Pérez Zeledón 1983, Puriscal 1990 y Cinchona 2009.

El segundo tipo de sismo suele ocurrir lejos de centros de población, sin embargo, cuentan con capacidad de generar daños. Ejemplos de ellos son el sismo de Osa Golfito en 1983 y el último registrado sucedió el 5 de septiembre de 2012 en Nicoya.

La gran cantidad de sismos sentidos de los años mencionados se debe a la ocurrencia de terremotos, sus réplicas y sismos inducidos. El promedio anual de sismos que fueron percibidos por la población de Costa Rica para el periodo 1976-2013 es de 90,5. Esto implica que el promedio mensual es de 7,5, el semanal es de 1,9 más cantidad de sismos registrados como consecuencia de este sismo se ubicaron en

y en algún punto de Costa Rica fue reportado un temblor cada 5 días (Linkimer & Alvarado, 2014).

Durante el periodo analizado, 205 sismos sentidos han tenido una magnitud de entre 5,0 y 5,9 y 23 sismos han tenido una magnitud de entre 6,0 y 6,9. Estos números implican que en Costa Rica durante este lapso se han sentido en promedio 5 sismos de magnitud de entre 5,0 y 5,9 por año y un sismo de magnitud de entre 6,0 y 6,9 cada dos años (Linkimer & Alvarado, 2014).

Una característica importante observada a lo largo de la historia sísmica reciente del país con eventos grandes de subducción (Golfito 1983, Cóbano 1990, Valle de la Estrella, Limón 1991 y Nicoya 2012), es que estos se convierten en un elemento que dispara importantes cambios en los patrones de esfuerzos regionales, generando principalmente al interior del país sismicidad de carácter superficial; la cual se presentó luego del sismo del 05 de setiembre del 2012 en el Valle Central, en la zona norte, en las cordilleras volcánica Central y Guanacaste, así como en el Caribe específicamente al suroeste de los Canales de Tortuguero. En el Valle Central las áreas con

Cartago y alrededores, Desamparados, Coronado y Escazú (Segura, Quintero, Burgoa, & Jiménez, 2014).

En síntesis, entre los terremotos importantes ocurridos en Costa Rica, son el de Golfito en 1983 (magnitud 7,4), Cóbano en 1990 (magnitud 7,0), Limón en 1991 (magnitud 7,7)

Cinchona en 2009 (magnitud 6,2) y Nicoya en 2012 (magnitud 7,6).

A continuación, en el Cuadro 3, se muestra un listado cronológico de eventos sísmicos importantes ocurridos en Costa Rica durante los últimos años desde 1978, preparado por Vallejos, Esquivel, & Hidalgo en el 2017.

<b>CUADRO 3. LISTADO DE EVENTOS SÍSMICOS EN COSTA RICA</b>			
<b>FECHA</b>	<b>TÍTULO DEL EVENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>
1978/08/22	Terremotos de Sámara, Guanacaste.	Dos sismos de Magnitud 7,0 en la Escala de Richter. Intensidad IV (Mercalli) en el Valle Central.	OVSICORI, 2017.
1979/07/01	Sismo en Punta Burica, Golfito, Puntarenas.	Magnitud 6,5 en la Escala de Richter, Intensidad VI (Mercalli) en Paso Canoas. Causó graves daños a edificios públicos, inclusive el colapso parcial de la Escuela Secundaria de Puerto Armuelles y de las instalaciones de la Petroterminal. También hubo daños en los pueblos fronterizos de ambos países.	OVSICORI, 2017. Red Sismológica Nacional, 2017b.
1983/04/02	Terremoto de Osa, Golfito, Puntarenas.	Magnitud 7,3 en la Escala de Richter. Daños en Golfito, Zona Sur y Valle Central, una persona fallecida.	Madrigal, 2005.
1983/07/03	Terremoto en Pérez Zeledón, San José.	Magnitud 6,1 en la Escala de Richter. Daños al Norte de San Isidro del General, deslizamientos, una persona fallecida. Daños estructurales en el Hospital de San Isidro. Alrededor de 600 viviendas dañadas.	Costa Rica. Comisión Nacional de Prevención De Riesgos y Atención de Emergencias, sin fecha. Decreto de Emergencia No. 15682.
1989/02/26	Sismo en La Zona de Los Santos (Dota, Tarrazú y León Cortés de la Provincia de San José).	Magnitud 4,7 en la Escala de Richter, Daños y deslizamientos en Acosta, San José.	OVSICORI, 2017.

Fuente: Vallejos, Esquivel, & Hidalgo (2017)

<b>FECHA</b>	<b>TÍTULO DEL EVENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>
1990/03/25	Terremoto de Cóbano, Puntarenas.	Magnitud 6,5 en la Escala de Richter. Daños en Península de Nicoya, Puntarenas y Valle Central, una persona fallecida.	Santana, 1990. Vargas y Santana, 1991.
1990/03/26	Sismos en Puriscal, San José.	Sismicidad se prolonga hasta el 11 de julio. Afectación en Santiago de Puriscal.	Guendel, et. al., 1990.
1990/06/30	Sismos en Puriscal, San José.	Magnitud 5,0 en la Escala de Richter. Enjambre sísmico en la zona de Puriscal. Daños en Puriscal, deslizamientos en Fila de Picagres.	OVSICORI, 2017.
1990/12/22	Terremoto de Piedras Negras, Alajuela.	Magnitud 5,7 en la Escala de Richter. Daños en el Valle Central, especialmente en el sector oeste (Alajuela, La Guácima, Atenas, Ciudad Colón, Turrucare, Puriscal), una persona fallecida.	Comisión Especial de Vivienda, 1991.
1991/02/16	Tembolor de Santa Bárbara, Heredia.	Magnitud 4,9 en la escala de Richter.	Red Sismológica Nacional, 2017b.
1991/03/16	Sismo de Nosara, Guanacaste.	Magnitud 6,5 en la escala de Richter. Daños materiales menores en Hojancha, Filadelfia, Liberia, Santa Cruz, Cañas, Puntarenas, Tambor y Nosara.	Red Sismológica Nacional, 2017b. La República, 1991.
1991/04/22	Terremoto de Limón.	Magnitud 7,7 en la Escala de Richter. Daños en todo el litoral atlántico, desde Bocas del Toro, Panamá, hasta Batán y Turrialba, deslizamientos en la Cordillera de Talamanca, daños menores en el Valle Central, 50 personas fallecidas.	Plan regulador para emergencia de la Zona Atlántica de Costa Rica, Terremoto 22 abril de 1991, 1991.  Red Sismológica Nacional, 2017b.
1991/04/24	Sismo Turrialba, Guanacaste.	Magnitud 6,2 en la escala de Richter.	Red Sismológica Nacional, 2017b.
1991/04/24	Sismos San Isidro de Pérez Zeledón, San José.	Sismo magnitud 4,8 y 4,0 en la escala Richter, que provocó derrumbes en la Carretera Interamericana, así como 3 casas destruidas en Palmital y 15 personas damnificadas.	La República, 1991.

Fuente: Vallejos, Esquivel & Hidalgo (2017)

<b>FECHA</b>	<b>TÍTULO DEL EVENTO</b>	<b>OBSERVACIONES</b>	<b>REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA</b>
1991/08/08	Sismo en Corralillo Zona de Los Santos, San José.	Magnitud 4,9 en la Escala de Richter. Daños en Frailes de Desamparados, San Pablo de León Cortés y Corralillo de Cartago. El sismo produjo daños irreparables en unas 40 viviendas. En los caminos de acceso se observaron algunos pequeños deslizamientos en los taludes, siendo el más importante el ubicado en Bajos de Gamboa, al sur de Santa Cruz.	OVSICORI, 2017.  Red Sismológica Nacional, 2017b.
1992/03/06	Sismo en Naranjo, Alajuela.	Magnitud 6,0 en la Escala de Richter. 1,5 Km Sur Este de Naranjo. Daños en la zona epicentral.	Rosales, 1992.
1993/07/10	Sismo al Sur de Turrialba, Cartago.	Magnitud 5,8 en la Escala de Richter. Daños en la zona epicentral y Turrialba. Severos daños en Chucuyo, El Humo, Oriente, Pejibaye, Taus y Jabillos. Daños en 13 localidades cercanas a la ciudad de Turrialba, la mayoría en la población de Noche Buena con un total de 31 casas con daños parciales, de las cuales 10 fueron declaradas inhabitables. Además, se produjo la activación de un deslizamiento importante en el alto del Chucuyo.	Ramírez, Ramírez, Alvarado, González, Laurent y Segura, 1993.  Red Sismológica Nacional, 2017b.
1994/12/28	Sismos en Parrita, Puntarenas.	Magnitud 5,6 en la escala de Richter. Se sintió en todo el país.	Red Sismológica Nacional, 2017b.
1996/02/22	Sismos en Golfito, Puntarenas.	4 Sismos de Magnitudes 4.9, 4.4, 4.1 y 4.3 en la Escala de Richter.	Flores, Infante y Schmidt, 1996.
1999/08/10	Sismo de Quepos, Puntarenas.	Magnitud 5,2 en la Escala de Richter.	Schmidt., Moya y Segura, 1999.

Fuente: Vallejos, Esquivel, & Hidalgo (2017)

FECHA	TÍTULO DEL EVENTO	OBSERVACIONES	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
1999/08/20	Sismo en Quepos, Puntarenas.	Magnitud 6,9 en la escala de Richter. Daños en viviendas, caídas de objetos y negocios en Platanillo, Dominical, Hatillo de Aguirre y Quepos. También hubo caída de repellos en San Isidro del General. Se presentaron deslizamientos en los cortes de camino entre Tinamaste y Platanillo. Se observaron deslizamientos en las laderas de la fila Cariblanco al norte de Dominical.	Red Sismológica Nacional, 2017b.
2002/01/27	Sismo de Bijagua, Upala, Alajuela.	Magnitud 5,4 en la escala de Richter. Tres casas sufrieron daños severos, una de ellas quedo inhabitable. Se interrumpió el fluido eléctrico y el agua en parte de la comunidad. En la zona de El Pilón de Upala se originaron pequeñas grietas. Además de varios deslizamientos en el camino de acceso a El Pilón.	Red Sismológica Nacional, 2017b.
2002/07/30	Sismo en Golfito, Puntarenas.	Magnitud 6,2 en la Escala de Richter. Daños en al menos 12 viviendas en algunas localidades fronterizas entre Costa Rica y Panamá. Severos daños en el antiguo muelle bananero de Puerto Armuelles (Panamá). Los locales comerciales sufrieron la caída de sus mercaderías y la ruptura de los vidrios de las ventanas.	Linkimer, Schmidt y Boschini, 2002. Red Sismológica Nacional, 2017b.
2003/09/16	Sismo de Puriscal, San José.	Magnitud 5,4 en la escala de Richter. Únicamente se reporta la caída de objetos livianos en algunos locales comerciales y viviendas del Valle Central	Red Sismológica Nacional, 2017b.

Fuente: Vallejos, Esquivel, & Hidalgo (2017)

FECHA	TÍTULO DEL EVENTO	OBSERVACIONES	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
2003/12/25	Sismo Puerto Armuelles, Panamá.	Magnitud 6,5 en la escala de Richter. Daños en el puente sobre el río Corredores (Ciudad Nelly), una casa de dos pisos en Laureles colapsó totalmente, 10 casas en la finca Naranja y por el Alto El Roble con daños parciales y daño severo en el hospital de Ciudad Nelly, que, aunque no tuvo daños estructurales sí de operación, teniendo que movilizar los pacientes críticos. Se presentaron también efectos de licuefacción y agrietamiento de caminos con carpeta asfáltica.	Red Sismológica Nacional, 2017b.
2004/02/04	Sismo de Corredores, Puntarenas.	Magnitud 5,8 en la escala de Richter. Ocurrieron dos réplicas importantes asociadas de magnitudes 4,6 y 4,4 en la escala de Richter. Además, se registraron cerca de 15 de réplicas de menor magnitud.	Red Sismológica Nacional, 2017b.
2004/11/20	Sismo de Damas (Parrita, Puntarenas).	Magnitud 6,2 en la Escala de Richter. Tres personas fallecidas, nueve personas heridas. Infraestructura vial dañada por agrietamientos, deslizamientos y hundimientos en la vía.	Decreto de Emergencia No. 32118-MP MOPT  Méndez, 2007.
2009/01/08	Terremoto de Cinchona, Alajuela.	Magnitud 6,2 en la Escala de Richter. Pueblo de Cinchona destruido, 22 personas fallecidas, daños en ruta nacional 126.	Decreto de Emergencia No. 34993 y No. 34994. Plan general de la emergencia por sismo de 6.2 en la Escala de Richter, terremoto de Cinchona, 2009.
2010/03/5	Sismo de Sabanilla de Montes de Oca, San José.	Magnitud 4.6 en la Escala de Richter. El Temblor fue sentido muy fuerte en Montes de Oca, Guadalupe, Moravia, Aserri, Desamparados de San José y Santo Domingo de Heredia.	Red Sismológica Nacional, 2010.
2010/09/16	Sismo de Cóbano, Puntarenas.	Magnitud de 5,2 en la Escala de Richter.	Universidad de Laboratorio de Ingeniería Sísmica, 2010.
2011/07/12	Temblor de Armenias de Upala, Alajuela.	Magnitud 5,5 en la Escala de Richter. Tuvo réplicas posteriores de hasta 5,3.	Taylor, Chaves y Bakkar, sin fecha.

Fuente: Vallejos, Esquivel, & Hidalgo (2017)

FECHA	TÍTULO DEL EVENTO	OBSERVACIONES	REFERENCIA BIBLIOGRÁFICA
2011/12/22	Enjambre sísmico de Tobosi, Cartago-Desamparados, San José.	Alrededor de 27 sismos cuya magnitud no supera los 2,4 en la Escala de Richter. Se mantiene hasta el 03 de enero de 2012.	Linkimer y Mora, 2012. Universidad Nacional (Costa Rica). Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa
2012/02/13	Sismo localizado 36 km suroeste de Dominical de Osa, Puntarenas.	Sismo de magnitud 5,7 en la Escala de Richter. Sentido con una intensidad fuerte (V, Mercalli) en el Pacífico Central y en forma moderada (intensidad IV, Mercalli) en San Isidro de El General, Turrialba, el Valle Central, San Ramón y Guápiles.	Red Sismológica Nacional (RSN), 2012b.
2012/09/5	Terremoto de Sámara (Península de Nicoya), Guanacaste.	Magnitud 7,6 en Escala de Richter. Daños en viviendas, templos, centros educativos, hospitales y clínicas. Cantones afectados: Puntarenas, Grecia, San Ramón, Naranjo, Sarapiquí, Paquera, Cóbano, Lepano, Santa Cruz, Nicoya, Nandayure, Hojancha, Cañas, Tilarán, Puntarenas.	Decreto de emergencia No. 37305- MP. Linkimer, L. y Soto, G. (2012).
2016/07/02	Sismo de Bijagua, Upala, Alajuela.	Magnitud 5,4 en la escala de Richter. sentido en Las Armenias, Aguas Claras y Bijagua de Upala, ocasionando caída de objetos en las casas y negocios y grietas en algunas de ellos, deslizamientos en suelos cercanos a los cauces de los ríos y en postes de tendido eléctrico y productos que cayeron de las estanterías de los supermercados.	Taylor, Chaves, y Bakkar, sin fecha.
2016/11/30	Sismo de Capellades, Alvarado, Cartago.	Magnitud 5,5 en la escala de Richter. Daños en viviendas y deslizamientos en Capellades y Pacayas. Caídas de objetos y daños menores en Cervantes de Alvarado y Aquiares de Turrialba. En Cartago y Turrialba solo caída de objetos livianos. Deslizamientos en Santa Cruz de Turrialba, Alvarado, Jiménez y Oreamuno.	Linkimer y Soto, 2016.

Fuente: Vallejos, Esquivel, & Hidalgo (2017)

Los eventos sísmicos ocurridos han dejado huella en el país y han permitido la mejora de los códigos. El Código Sísmico de Costa Rica sintetiza y decreta un conjunto de normas para el diseño sísmo-resistente, producto del conocimiento científico y la experiencia de terremotos pasados.

Por ejemplo, tras el sismo de Limón el 22 de abril de 1991, se reportaron daños en varios edificios y locales comerciales, principalmente el agrietamiento de paredes de mampostería. El edificio de los Tribunales de Justicia, una estructura de tres pisos en concreto reforzado tuvo que ser desalojada debido a los daños y se destruyeron 1856 casas.

La magnitud de los daños reflejó las debilidades del Código Sísmico de Costa Rica de 1986, vigente en la época. Dicho Código establece que busca proteger la integridad física de las personas, reducir los daños materiales y minimizar el impacto social y económico ante terremotos. Por lo que a partir de la información sísmica obtenida de los sismos de los 90, fue necesario una reestructuración y se incluyó la zonificación sísmica y una actualización de las especificaciones de diseño para cada uno de los materiales estructurales.

Con la publicación del nuevo código en el 2002, se incluyó un capítulo dedicado al diagnóstico y la adecuación sísmica de edificaciones existentes, que establece los requisitos para determinar la vulnerabilidad de las edificaciones y cómo realizar las modificaciones de la estructura para mejorar su desempeño ante los sismos (Acuña, 2012). Dicho código se puso a prueba en el 2009 con el terremoto de Cinchona (fenómeno intraplaca). De acuerdo con Climent et al (2009), los espectros elásticos de respuesta calculados utilizando las señales sísmicas registradas en cada una de las estaciones, muestran una concordancia con el espectro normalizado (FED) recomendado por el Código Sísmico de Costa Rica (CSCR 2002).

Además, se calculó una velocidad pico del terreno de 23,5 cm/s, una Intensidad de Arias (medida instrumental que sirve para determinar los daños que un terremoto provoca en las estructuras) de 2,4 m/s y una duración significativa del movimiento fuerte de 8,2 s, parámetros que confirman el poder destructivo de este sismo en la zona epicentral y alrededores, por lo que se considera que las obras civiles localizadas cerca del epicentro estuvieron expuestas a sacudidas sísmicas severas, con un alto potencial de generar

daños en aquellas estructuras con un bajo nivel de ingeniería en el diseño y construcción (Climent et al, 2009).

Días posteriores a la ocurrencia de este evento, se registraron 1087 viviendas dañadas que revelaron una serie de fallas constructivas, y de las cuales 427 sufrieron daño total, evidenciando un incumplimiento de las normas establecidas por el Código Sísmico de Costa Rica 2002 (CSCR), según establece el Ing. Álvaro Poveda.

Para el 2010, se publica la cuarta versión del Código Sísmico de Costa Rica, con variaciones en método de cálculo de las fuerzas de diseño, es decir, la fuerza equivalente al sismo distribuida en cada piso de la edificación en lugar de trabajar con los movimientos del suelo.

El último evento, catalogado como el segundo sismo más fuerte sucedido en territorio nacional, sucedió el 5 de septiembre del 2012 en Nicoya, Guanacaste como consecuencia de una falla interplaca. Se registraron aceleraciones que alcanzaron, e incluso superaron, los valores que son utilizados para el diseño de las estructuras de acuerdo con el CSCR 2010. “Las aceleraciones espectrales estimadas superan significativamente las de la norma sísmica desde 0,02 hasta 0,3 s de periodo” (Comisión Nacional de Emergencias, 2014).

A pesar de la intensidad del movimiento, no se produjo gran cantidad de daños estructurales graves ni colapsos de edificaciones. Los daños más comunes se dieron en ampliaciones y remodelaciones sin las conexiones adecuadas, por ejemplo, no se conectan las vigas coronas o las fundaciones o las mismas paredes con las existentes, establecido así por Schmidt, y otros autores en el 2014.

## Riesgo sísmico en Costa Rica

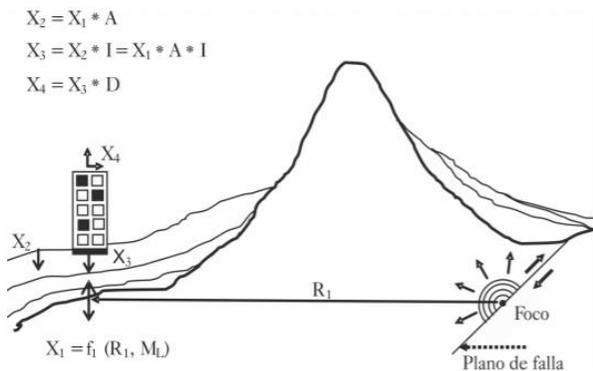
El riesgo sísmico se define como las potenciales consecuencias sociales y económicas, provocadas por un sismo de determinada intensidad, las cuales son medidas en los daños provocados en las edificaciones (Mena, 2002 citado por Alvarenga et al, 2017).

Por lo tanto, lo anterior significa que el riesgo sísmico se expresa en términos de pérdidas económicas o de vidas humanas por unidad de

tiempo. La estimación del riesgo sísmico implica trabajar con las siguientes variables: amenaza sísmica, vulnerabilidad sísmica y exposición.

## Amenaza sísmica

La amenaza sísmica de una localidad se refiere según Benito & Jiménez (1999), a la probabilidad de excedencia de un determinado nivel de movimiento del terreno, es decir la intensidad o aceleración del suelo del área de influencia, durante un periodo de tiempo determinado.



**Figura 11.** Propagación de la energía sísmica desde el hipocentro o foco hasta la estructura (Ríos, 2017)

Respecto a la figura anterior, Ríos (2017), manifiesta que, al propagarse las ondas sísmicas por el suelo, se reflejan, refractan, atenúan o amplifican y llegan en forma de excitación sísmica,  $X_1$ , al basamento rocoso que se encuentra debajo del edificio. Las ondas sufren un nuevo filtrado a través de la función de transferencia,  $A$ , correspondiente a las capas de suelo que se encuentran entre el basamento y la superficie, por lo que se obtiene la señal  $X_2$ . Debido al fenómeno de interacción suelo-estructura, descrito por una función de transferencia  $I$ , la señal tendrá nuevos cambios hasta obtenerse la señal  $X_3$ , que será la excitación en la base del edificio.

Según esta definición, Climent et al (2008) aseveran que la amenaza es un concepto probabilista, en el que se debe especificar qué nivel de movimiento del suelo se considera constitutivo de peligro potencial y durante qué periodo se espera que ocurra un sismo que produzca tal movimiento.

La amenaza sísmica generalmente se representa mediante mapas con curvas de isoaceleración para diferentes períodos de retorno y mediante espectros de pseudovelocidad del suelo, mostrando su comportamiento en función de las fuentes sísmicas (Funvisis, 2018).

Ahora bien, los estudios de amenaza sísmica consisten en estimar la capacidad que tiene el suelo de atenuar o amplificar las ondas sísmicas en un lugar específico a partir del análisis de eventos sísmicos pasados (Alvarenga et al, 2017).

Así que para desarrollar un estudio de amenaza sísmica se debe disponer de información sísmo-tectónica actualizada de la región de interés, incluyendo mapas de información de fallas activas y bases de datos sismológicas de eventos históricos e instrumentales, así como modelos de atenuación de las ondas sísmicas, por medio de las cuales sea posible obtener los niveles de intensidad de la sacudida sísmica, en función de la magnitud y la distancia a la fuente principalmente (CEPREDENAC, 2011). Por ello, se vuelve tan importante conocer el modo en que las ondas sísmicas se propagan, conocer geológicamente la región y realizar simulaciones matemáticas.

A partir de mapas de amenaza sísmica se determina en qué áreas existe una mayor o menor probabilidad de que ocurra un sismo. El mapa de amenaza sísmica generado para Costa Rica se observa en la Figura 12, este representa un periodo de retorno de 500 años, el cual es utilizado en el Código Sísmico de C.R. para efectos de diseño de edificios. Como se puede observar en la figura, en nuestro país, el valor de la amenaza es mucho mayor en el lado del Pacífico y disminuye al acercarse hacia el Caribe.

Respecto a lo anterior, el Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central (2011), explica claramente que la amenaza sísmica en el país se distribuye en forma alargada en la dirección NW-SE, siguiendo un contorno ligeramente paralelo a la ubicación de la trinchera y al arco volcánico. Las mayores aceleraciones pico del terreno, se predicen en zonas cercanas a la costa pacífica del país, y a todo lo largo de la misma, así como en el Valle Central, donde se suma la influencia de actividad de falla superficial junto con la de subducción.

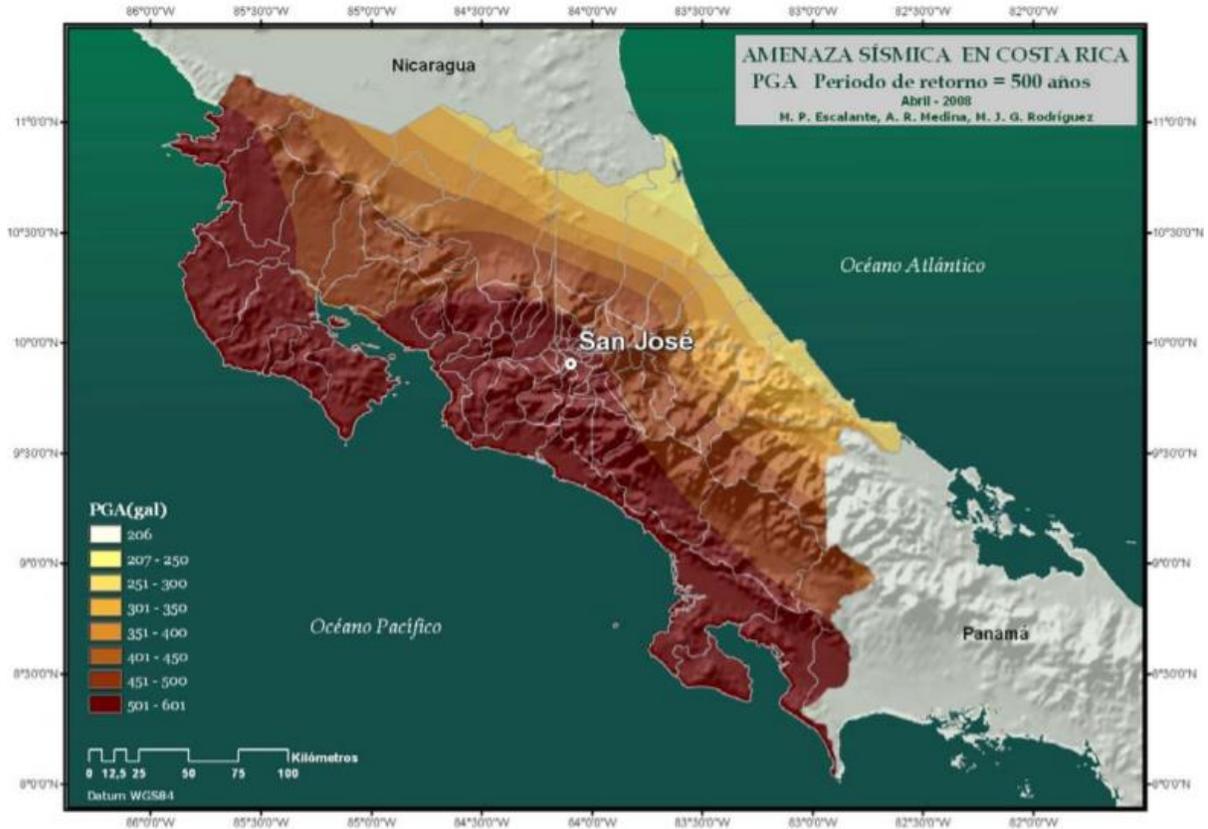


Figura 12. Mapa de amenaza en términos de PGA para PR=500 años. (Climent et al, 2008)

Además, con la información obtenida es posible conformar un mapa de zonificación sísmica que permite relacionar el tipo de suelo con el tipo de construcción apropiada. De esta manera, Carrión & Colina (2016), afirman que los resultados de estos estudios se utilizan en el diseño de edificaciones y demás obras civiles, puesto que permiten estimar las fuerzas probables a las que se someterá una estructura en un determinado lugar, en caso de un evento sísmico.

En el caso de Costa Rica, se divide en tres zonas sísmicas de sismicidad ascendente denominadas Zonas II, III y IV, las cuales se representan gráficamente en la Figura 7

El Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2011), explica que la Zona I no se especifica ya que los valores de aceleración del terreno son muy bajos por tratarse de rocas muy fuertes y poco meteorizadas como las intrusivas, metamórficas, lavas o granitos que en nuestro país son escasas.



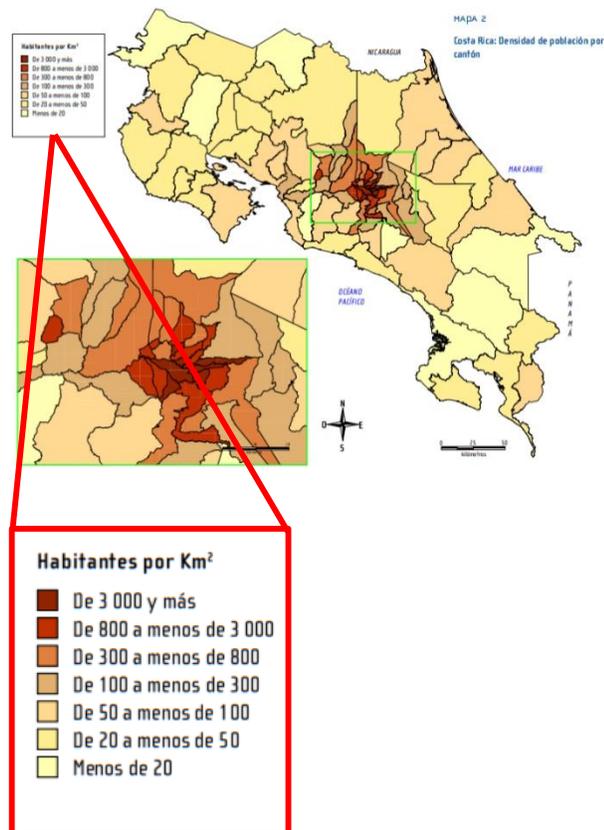
Figura 13. Zonificación sísmica (CSCR,2010)

## Exposición

La exposición se refiere específicamente a la densidad de población y/o densidad de edificios en una zona determinada, de modo que se puede estimar la cantidad de personas e infraestructura posiblemente afectada por un sismo.

Costa Rica está situada en América Central, Posee una superficie de 51 100 km<sup>2</sup> y de acuerdo con el Instituto Nacional de Estadísticas y Censos un estimado de 4 947 490 habitantes.

En la Figura 14 se muestran las cifras oficiales de la cantidad de personas por km<sup>2</sup> para cada zona actualizadas hasta el 2011. De acuerdo con la figura, la zona más hacinada corresponde a la zona III del país. La zona II según el Mapa de Zonificación Sísmica de Costa Rica (Figura 13) es la zona de menor aceleración pico efectiva, además, según la Figura 12, esta zona se encuentra menos expuesta a eventos sísmicos. Por otro lado, la zona IV es la zona de más aceleración del suelo y más exposición a las fuentes sísmicas.



**Figura 14.** Densidad de población en Costa Rica (INEC, X Censo Nacional de Población 2011)

## Vulnerabilidad sísmica

El concepto de vulnerabilidad sísmica se define según Bonnet (2003) como la susceptibilidad de una edificación o un grupo de edificaciones a sufrir daños estructurales ante la ocurrencia de un evento sísmico, y está asociada directamente con su entorno, características geométricas, configuración estructural, sistema estructural, entre otros.

“La vulnerabilidad es una característica que depende directamente del diseño y proceso constructivo de una edificación, por lo cual, tanto la normativa para el diseño como el control de calidad de la construcción son herramientas claves para la reducción de la vulnerabilidad en las edificaciones” expresan Alvarenga et al en el 2017.

Debido a que Costa Rica pertenece a una zona geográfica de gran sismicidad, las estructuras de los edificios corren peligro. La vibración sísmica, la ruptura de fallas, el fallamiento local del medio soportante (licuefacción, deslizamiento de tierra) o una inundación pueden dañar los edificios y llevarlos al colapso (Herrera, 2000).

El ingeniero Víctor Schmidt realizó en el 2016 una clasificación de vulnerabilidad de los tipos de edificaciones comunes en Costa Rica. Su resultado se muestra en el Anexo C. El círculo representa la categoría predominante y las líneas son posibles categorías a las que puede corresponder. La letra A concierne a sistemas con muy buen comportamiento ante sismos y; el cual va disminuyendo hasta la letra F.

La vulnerabilidad de estas edificaciones además estará influenciada por su edad y el aspecto o condición física aparente, de tal forma que edificaciones más viejas y deterioradas presentan mayor vulnerabilidad y lo contrario en el caso de edificaciones más recientes y de una buena condición física aparente (Climent et al, 2003).

## Entorno

Carrillo (2008) aclara que la respuesta sísmica de edificaciones depende de las vibraciones del suelo y del diseño estructural, por lo que, en algunos casos, edificios capaces de soportar un sismo desde el punto de vista estructural, llegan al

colapso debido a las condiciones particulares del suelo.

Los movimientos de las estructuras son muy diferentes según el tipo de suelo sobre el cual se construyan. De esta manera, las características del suelo adquieren gran importancia pues pueden contribuir negativamente en la vulnerabilidad sísmica de una edificación. Por ejemplo, Mendoza (s.f.) menciona que la amplificación del movimiento, inestabilidad de taludes, caídas de rocas, o fenómenos de licuefacción del suelo pueden provocar daños potenciales en las estructuras.

Cuando se habla de amplificación del movimiento sísmico se refiere a la transformación de las ondas sísmicas debido a condiciones específicas como basamentos rocosos y grandes espesores de suelo. Esto produce cambios en la frecuencia de vibraciones y aumentos en la aceleración.

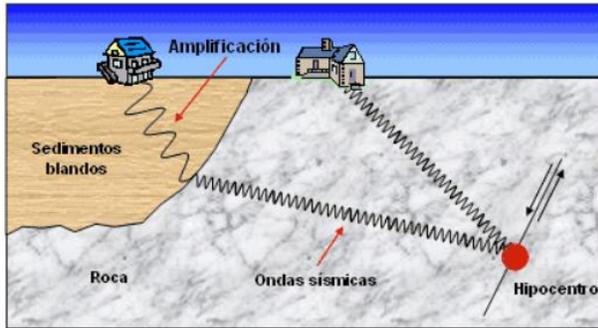


Figura 15. Amplificación del suelo (LIS, 2011)

Según Najarro (2008), cuando el medio en el que se propaga la onda es rocoso la velocidad de las ondas aumenta y por ende la aceleración también, pero la magnitud de la onda disminuye. Mientras que cuando entran en suelos blandos, se incrementa la amplitud de las ondas y la velocidad disminuye, a este fenómeno se le llama impedancia. Además, el suelo blando absorbe más energía que la roca, este mecanismo se conoce como atenuación inelástica.

Si se observan los gráficos de las Figuras 16 y 17, LIS (2011), explica que cuando el suelo es muy firme o se trata de roca sólida, los valores pico se ubican a la izquierda (períodos cortos inferiores a 0.4 s). Pero si el suelo es blando, los valores máximos estarían ubicados hacia la derecha (períodos largos mayores a 0.4 s).

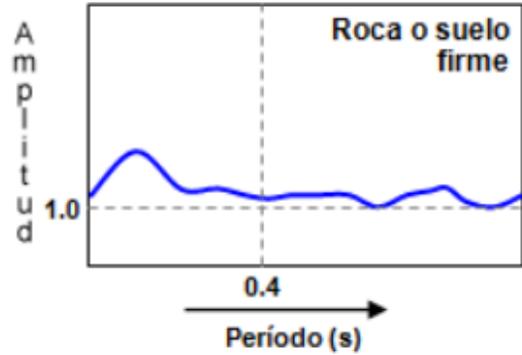


Figura 16. Amplificación en suelo firme (LIS, 2011)

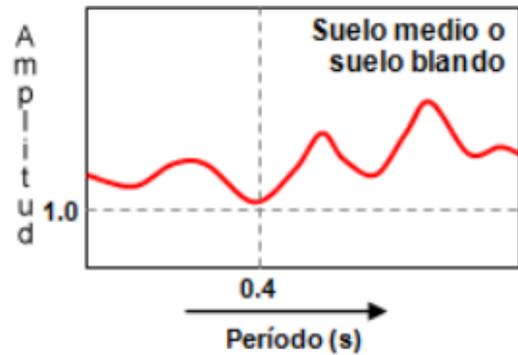


Figura 17. Amplificación en suelo blando (LIS, 2011)

Esto quiere decir que, en terrenos con suelos blandos (arcillas, limos, depósitos aluviales), es más común que las personas sientan el movimiento y que los edificios oscilen vigorosamente, sufriendo grandes desplazamientos y en ocasiones fallas en la cimentación, llegando al colapso.

En zonas de relieve abrupto como cordones de cerros, cañones y laderas de alta pendiente se ha comprobado que los edificios localizados en la parte superior de montañas o laderas sufren daños estructurales mayores que aquellos situados en zonas más bajas. Esto se produce por efectos de enfocamiento de las ondas sísmicas primarias hacia la cumbre y la difracción e interferencia en la superficie entre ondas primarias y difractadas (Aki, 1988 citado por Téllez, 2013).

Entre tanto, se dice que cuando se trata de terrenos blandos, las construcciones deben ser "rígidas" y en terrenos duros, deben ser "elásticas". Con el fin de alejar el período de vibración de la estructura con el período del suelo. De esta manera se evita la sincronización de los períodos

vibratorios y que se sumen los efectos de las ondas sísmicas con las de oscilación del edificio, explica Ríos (2017).

Aunado a esto, el Centro Nacional de Prevención de Desastres de México (2018), afirma que cuando el movimiento de los edificios coincide con la forma de oscilación del suelo, durante el movimiento sísmico, se dice que entran en resonancia y, por lo tanto, los movimientos de los edificios se amplían aún más.

Los taludes inestables representan peligro a las edificaciones en su entorno, ya que durante un sismo se puede alterar la estabilidad del talud originando deslizamiento, corrimiento, desprendimiento o desplome de enormes cantidades de tierra o roca que puede arrastrar las edificaciones colindantes. (Alvarenga, et al, 2017)

Además, edificaciones sobre suelos mal compactados durante un sismo pueden sufrir asentamientos o desnivel, dañando las cimentaciones de la edificación.

La Figura 18 muestra una correlación entre daño estructural y las características dinámicas del depósito de suelo, de acuerdo a los estudios realizados tras el sismo del 19 de

septiembre de 1985 en la ciudad de México. Se observa que los edificios más dañados fueron aquellos que tenían entre 10 y 14 pisos construidos sobre depósitos de arcilla con periodos naturales entre 1.5 y 2.0 segundos.

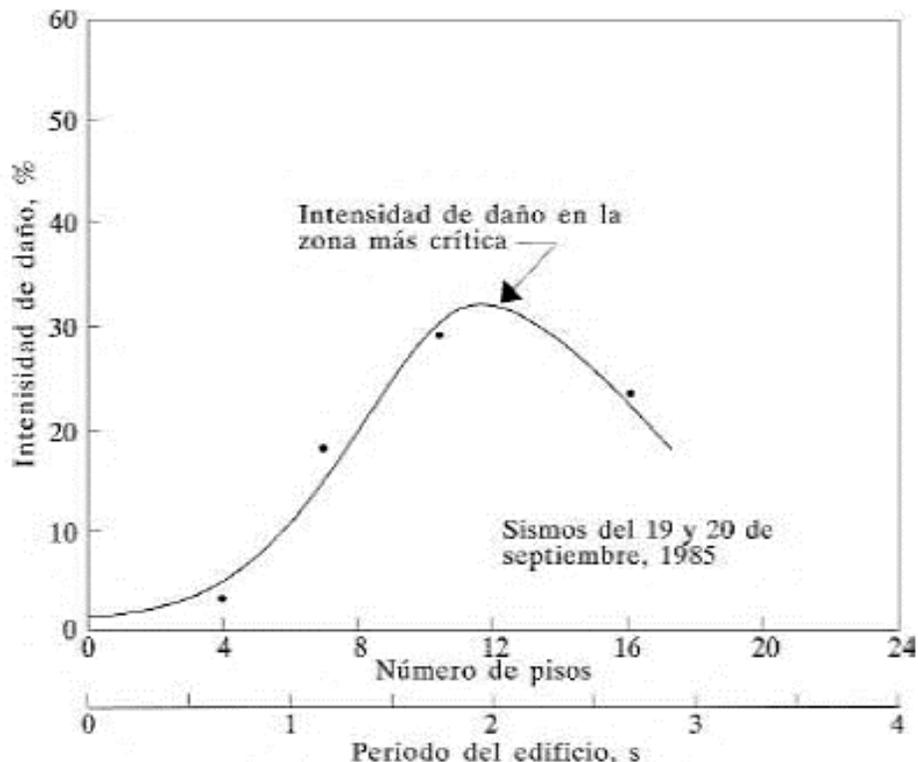
Debido a las posibles consecuencias anteriores es que el Código Sísmico de Costa Rica 2010, establece la siguiente clasificación de los sitios de cimentación, que debe ser considerada a la hora del diseño sismo-resistente:

i) Suelo Tipo S1: un perfil de roca o suelo rígido o denso con propiedades semejantes a la roca.

ii) Suelo Tipo S2: un perfil de suelo con condiciones predominantes de medianamente denso o de medianamente rígido a rígido.

iii) Suelo Tipo S3: un perfil de suelo con 6 a 12 m de arcilla de consistencia de suave a medianamente rígida o con más de 6 m de suelos no cohesivos de poca o media densidad.

iv) Suelo Tipo S4: un perfil de suelo que contenga un estrato de más de 12 m de arcilla suave.



**Figura 18.** Efecto del tipo de suelo en la intensidad de daños a edificios. México Setiembre 19, 1985 (Seed y Sun, 1989 citado por NEC, 2015)

De modo general, el tipo de suelo se clasifica como sigue: suelos rocosos (S1), firmes (S2), blandos (S3) y muy blandos (S4). Dependiendo del tipo de suelo y la zona sísmica donde se está, así será el valor de aceleración que debe ser utilizado en el diseño.

La aceleración pico efectiva se emplea como parámetro indicador de la sacudida sísmica, y en nuestro país está determinada como sigue, según el Código Sísmico de Costa Rica 2010:

<b>CUADRO 3. ACELERACIÓN PICO EFECTIVA</b>			
<b>Sitio</b>	<b>Zona II</b>	<b>Zona III</b>	<b>Zona IV</b>
S1	0,20	0,30	0,40
S2	0,24	0,33	0,40
S3	0,28	0,36	0,44
S4	0,34	0,36	0,36

Fuente: Código Sísmico de Costa Rica (2010)

Ubicando dichas zonas en el mapa, se puede comprobar que las tres zonas de mayores valores de aceleración pico del terreno son: la parte noroeste de la península de Nicoya, un área ubicada entre Tárcoles y Parrita; y la parte sur de la península de Osa y Punta Burica.

Las fuerzas a las que se ve sometido un edificio relacionan la masa de este con las aceleraciones que se producen en el terremoto, por lo tanto, en cada instante estas fuerzas cambian. De ahí que el valor de aceleración máxima sea tan importante para el diseño. Sin embargo, la aceleración máxima en un registro acelerográfico ocurre en un instante muy corto (fracciones de segundo), por lo que ella sola no es suficiente para causar daños severos a las estructuras. (Estudio Arquivolta, 2016)

## Geometría

La regularidad en planta y en elevación de una edificación dependen de las características geométricas y la configuración estructural de la misma. Cuanto menor sea la regularidad de la edificación, mayor será la vulnerabilidad del edificio, puesto que una inapropiada regularidad genera torsiones, deformaciones excesivas y concentraciones de esfuerzos en algunas zonas de la edificación. Por lo tanto, se debe procurar

que la distribución de masas sea lo más uniforme posible a lo largo de la altura.

Las estructuras se consideran como regulares o irregulares, de acuerdo con lo siguiente (AIS, 2011):

- Estructuras regulares: son aquellas que no tienen discontinuidad física significativa en su configuración vertical, en planta o en sus sistemas resistentes a fuerzas laterales.
- Estructuras irregulares: son aquellas que tienen discontinuidad física significativa en su configuración o en sus sistemas resistentes a fuerzas laterales.

Ahora bien, la regularidad o irregularidad estructural está determinada por la composición arquitectónica tanto en planta como en altura.

### Regularidad en planta

Cuando las plantas presentan alas complejas, como las mostradas en la Figura 18, ocurre una concentración de esfuerzos en el cuerpo principal y las alas, ya que estas trabajan como elementos empotrados en un cuerpo más rígido y propenso a sufrir menos deformaciones, según LIS (2011).

Además, tienden a producir variaciones de rigidez, y al mismo tiempo, provocan torsión al no coincidir el centro de masa de la edificación con el centro de rigidez según señala García (2012).

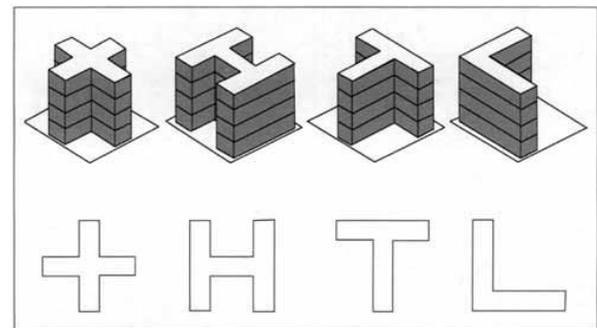


Figura 19. Formas de plantas irregulares (PAHO-OPS, 1999)

Para considerar una estructura regular en planta el Código Sísmico de Costa Rica 2010 establece diversas pautas. Un primer criterio para saber si una edificación es regular en planta es conocer la distancia entre los centros de masa y de rigidez, en cada una de las direcciones ortogonales y que esta no exceda en más de un

5% la dimensión en planta en la dirección respectiva.

Asimismo, en ningún nivel la configuración en planta debe tener entrantes ni reducciones mayores a un 15% de la dimensión en planta de la estructura en ambas direcciones ortogonales.

Otro criterio que permite demostrar regularidad es que los diafragmas no tengan discontinuidades ni variaciones abruptas de rigidez ni aberturas con áreas mayores al 50% del área bruta del diafragma.

Por otro lado, los sistemas resistentes son paralelos u ortogonales entre sí o, en su defecto, simétricos con respecto a los ejes ortogonales.

### Regularidad en altura

Para que una estructura sea considerada como regular en elevación debe cumplir con los siguientes criterios establecidos en el Código Sísmico de Costa Rica 2010:

a) Todos los elementos verticales de los sistemas sismo-resistentes son continuos desde la cimentación hasta el nivel superior de cada uno de estos elementos, sin discontinuidades o desfases horizontales en ningún nivel.

b) Los diafragmas de todos los niveles salvo el nivel de techo, que podría no serlo, son diafragmas rígidos.

c) La capacidad en cortante de cada piso en ambas direcciones horizontales no es menor que la capacidad en cortante del piso superior inmediato.

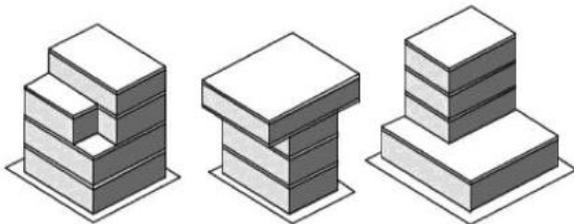


Figura 20. Elevaciones complejas (NEC, 2015)

En cuanto a fenómenos sísmicos se refiere, la altura de un edificio juega un papel muy importante. Un cambio abrupto en la rigidez y en la masa de los pisos debido al escalonamiento complejo (Figura 20), propicia la concentración de esfuerzos producto de las acciones sísmicas.

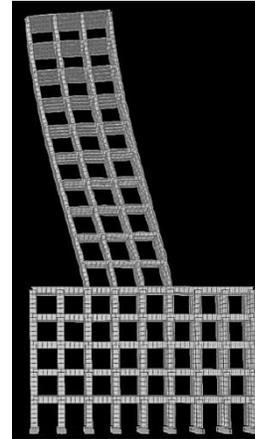


Figura 21. Cambio brusco en elevación (CENAPRED, 2016)

Entonces, la altura afecta el período del edificio, la relación de esbeltez, la altura entre cada entrepiso, el tipo de material, así como la cantidad y distribución de la masa.

Todos estos aspectos afectan en la magnitud del cortante basal del edificio, es por ello que debe procurarse una distribución en altura simétrica, para que la distribución del cortante sea uniforme y proporcional a la rigidez de cada elemento estructural que forme el sistema resistente a cargas (Najarro, 2008).

### Configuración estructural

Los sitios donde se concentran los mayores esfuerzos son las uniones y conexiones entre elementos estructurales, ya que deben soportar las mayores fuerzas cortantes y momentos debidos a flexión. Por ello un descuido en su diseño puede llegar a ser peligroso. Según el Laboratorio de Ingeniería Sísmico (2011) los principales problemas asociados son los siguientes:

#### a) Altas concentraciones de masa en niveles

Las cargas sísmicas se denominan también cargas inerciales, es decir, que dependen de la masa de la edificación, puesto que la combinación entre la masa de cada nivel y su respuesta diferencial ante la aceleración en el suelo debida al sismo, es lo que resulta en fuerzas relativas que

pueden causar daño, colapso parcial o colapso total.

Por lo tanto, si en un piso superior se concentran elementos pesados como tanques de almacenamiento de agua, equipos, bodegas, las fuerzas sísmicas serán mayores en ese nivel. A medida que esta concentración de masa se ubique a mayor altura, las aceleraciones sísmicas de respuesta aumentan también; y al mismo tiempo se incrementa el riesgo de volcamiento de la estructura.

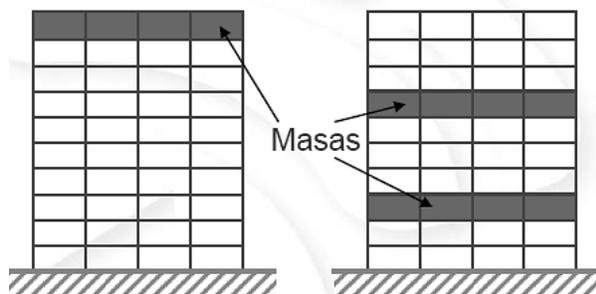


Figura 22. Diferencias de masa (CENAPRED, 2016)

### b) Columnas débiles

Si la rigidez de las columnas o paredes que soportan la estructura sufre un cambio brusco, ya sea por confinamiento de las paredes hasta cierta altura de los marcos, por desniveles del terreno, por nivel intermedio entre dos pisos, entre otros, los esfuerzos se concentrarán y se acumulará energía en el piso más débil, pues el nivel donde se interrumpen los elementos verticales es más flexible que los demás, lo que genera un problema de estabilidad.

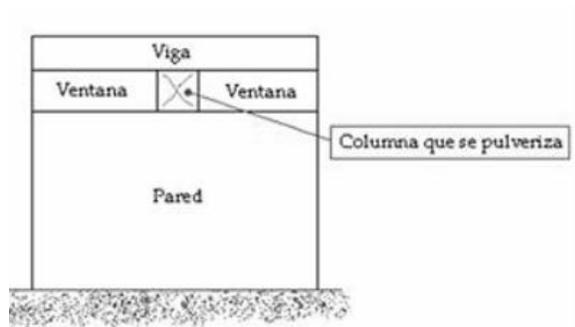


Figura 23. Columnas débiles (LIS, 2011)

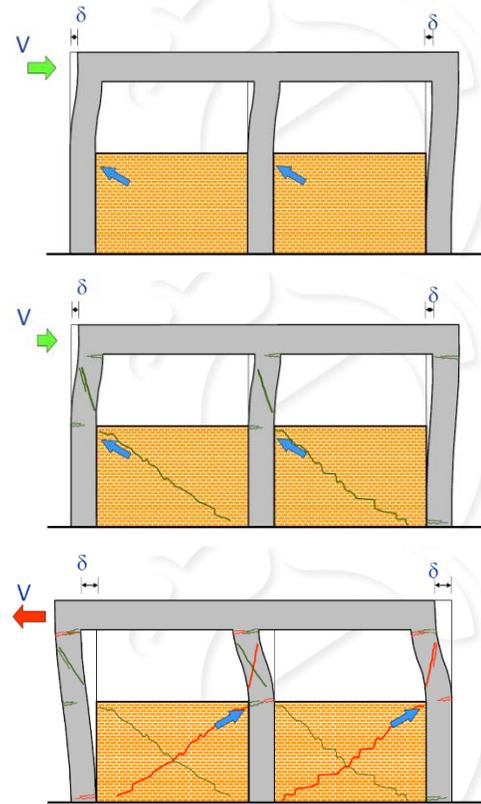


Figura 24. Cambio brusco en elevación (CENAPRED, 2016)

### c) Menor resistencia de columnas que vigas

Si las columnas tienen menor resistencia que las vigas, estas fallarán primero lo que provoca que la estructura colapse.

### d) Los pisos blandos o suaves

Son aquellos que muestran una reducción significativa en la rigidez lateral respecto a los demás pisos de la estructura.

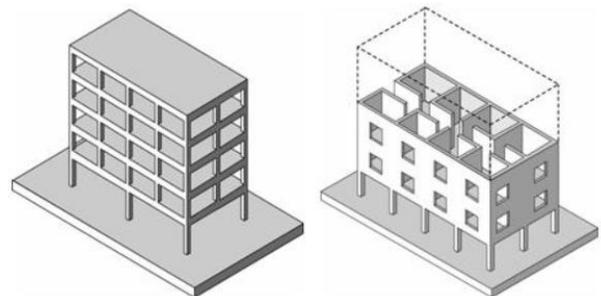


Figura 25. Falla por piso débil (Guevara, 2012)

**e) Pisos blandos o suaves**

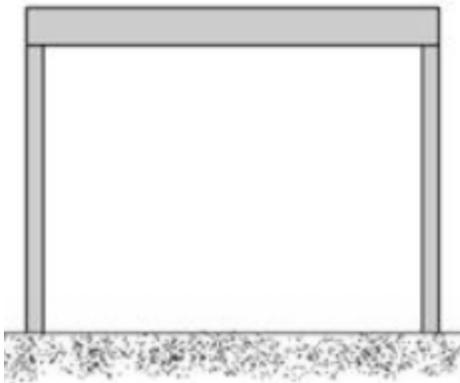
Son pisos donde los elementos estructurales verticales son interrumpidos, para ofrecer más espacio en ese piso o por razones arquitectónicas, generalmente en los niveles de acceso. Esto produce un debilitamiento de la rigidez de los elementos verticales en ese piso.

**f) Falta de confinamiento del concreto en columnas**

Se produce cuando se utilizan pocos o ningún aro de confinamiento del concreto, por eso el núcleo de los elementos sometidos a flexocompresión falla en forma inaudita.

**g) Falta de redundancia**

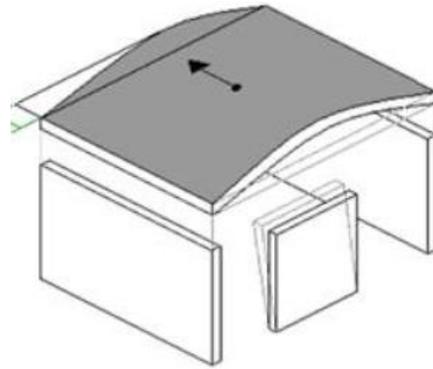
Si la estructura cuenta con pocos elementos de soporte, se conoce como falta de redundancia. La falla de uno de ellos provocaría el colapso total o parcial de la estructura.



**Figura 26.** Marco sin redundancia (LIS, 2011)

**h) Flexibilidad excesiva en el diafragma que forma el entrepiso**

Produce deformaciones laterales no uniformes, que son perjudiciales para los elementos no estructurales adyacentes al diafragma. Este comportamiento puede deberse a una relación largo/ancho mayor que 5 y a aberturas de gran tamaño en el piso que impiden que funcione como un cuerpo rígido.



**Figura 27.** Flexibilidad excesiva (LIS, 2011)

**i) Torsión entre pisos**

Es importante que el centro de rigidez de un edificio sea igual al centro de masa, de lo contrario ocurre la torsión. Este problema se da debido a la gran rigidez que presentan los muros de colindancia, cuando se superan los límites de excentricidad para que se produzcan efectos negativos de la torsión.

**j) Desplazamiento relativo entre pisos.**

El desplazamiento relativo entre pisos debido a una excesiva flexibilidad de los marcos, junto con dimensiones insuficientes de las juntas constructivas, provoca daños en paredes de cerramiento por la excesiva flexibilidad de los marcos. Los desplazamientos laterales excesivos se deben a las grandes distancias entre los elementos de soporte (claros o luces), sus alturas y sus rigideces. Se pueden tener como problemas: inestabilidad estructural y daños en elementos no estructurales adosados a niveles contiguos.

## Sistema Estructural

Un sistema estructural es aquel que se compone de elementos tales como columnas, vigas, paredes o una combinación de estos, de manera tal que sean capaces de resistir las cargas gravitacionales y laterales, además de proporcionar resistencia a los efectos de torsión.

Por otro lado, Alvarenga et al (2017), manifiesta que la función de una estructura consiste en transmitir las fuerzas de un punto a otro en el espacio, resistiendo su aplicación sin perder la estabilidad. Por lo tanto, define un

sistema estructural como el acoplamiento de estructuras de forma ordenada y continua.

Lo anterior indica la suma importancia del sistema estructural de las edificaciones, por lo que se vuelve indispensable el cumplimiento de los requisitos mínimos de resistencia y límites de desplazamientos laterales, además de incluir los elementos necesarios para resistir adecuadamente un sismo y evitar el colapso de la estructura tras el evento.

Comprender esto a su vez revela la importancia de poder identificar y diferenciar cada uno de los sistemas estructurales a la hora de realizar una evaluación de daños en edificaciones post-sismo, pues cada sistema representa un comportamiento diferente, así como diferentes tipos de fallas de los elementos estructurales que lo conforman.

Los sistemas estructurales más usados en nuestro país se describen en el Código Sísmico de Costa Rica 2010, y de manera textual son los siguientes:

**i. Tipo marco**

Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismo-resistentes constituidos por marcos de concreto reforzado, acero o madera, vinculados o no, por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada nivel. No forman parte de este tipo los sistemas estructurales constituidos exclusivamente por columnas y losas planas, los cuales se prohíben expresamente como sistemas sismo-resistentes.

**ii. Tipo muro**

Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismo-resistentes constituidos por: a) marcos arriostrados de concreto reforzado, acero o madera y/o b) por muros de concreto o mampostería reforzada, comportándose de manera independiente o combinada, vinculados o no por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada nivel.

**iii. Tipo dual**

Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismo-resistentes constituidos por: a) marcos de concreto reforzado, acero o

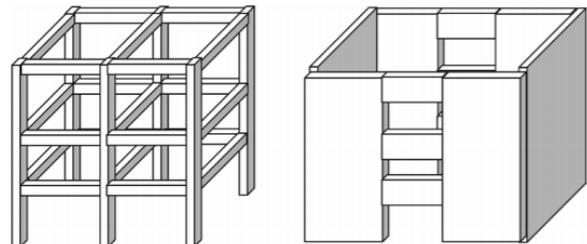
madera y b) por muros de concreto o de mampostería reforzada, marcos arriostrados de concreto reforzado, acero o madera.

**iv. Tipo voladizo**

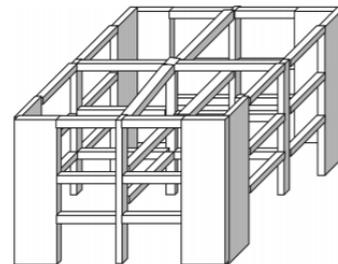
Se incluyen dentro de este tipo aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismo-resistentes formados exclusivamente por una o varias columnas o muros que actúan esencialmente como voladizos aislados, libres o articulados en su extremo superior y empotrados en la base, tales como cubiertas (tipo péndulo invertido), tanques elevados, chimeneas, torres y naves industriales que presenten esta estructuración.

**v. Tipo otros**

Se incluyen dentro este último tipo, aquellas edificaciones cuyo sistema sismo-resistente está compuesto por estructuraciones, elementos o materiales diferentes a los explícitamente descritos en los tipos estructurales marco, dual, muro y voladizo, salvo que se demuestre mediante pruebas experimentales y cálculos analíticos que son capaces de un desempeño similar al de alguno de estos tipos.



**Figura 28.** Sistemas estructurales de marcos y de muros (Ríos, 2012)



**Figura 29.** Sistemas estructurales tipo dual (Ríos, 2012)

Ahora bien, de acuerdo con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, los sistemas constructivos “modernos” o de más uso en la actualidad son la mampostería, marcos de concreto, la madera o el bambú, las estructuras de perfiles metálicos y cerramientos livianos, y los paneles prefabricados. También, afirman que la mampostería es el sistema más utilizado en Costa Rica y ha demostrado un buen comportamiento ante los sismos, siempre que se haya realizado una adecuada inspección y control de calidad de los materiales que la componen.

## Elementos no estructurales

Todos los elementos arquitectónicos, mecánicos o de otra índole, que no participan activamente en la transmisión de las solicitaciones, desde su punto de aplicación, hasta las cimentaciones, y que solamente son responsables por su propio peso y por acciones directamente aplicadas sobre ellos, se clasifican como elementos no estructurales (AIS, 2011).

Entre estos elementos se pueden considerar los acabados, elementos arquitectónicos y decorativos tales como muros de fachada, paredes internas, cielos rasos, enchapes de fachada, áticos, parapetos, ventanas, y otros elementos decorativos de la edificación.

Así también, se clasifican como elementos no estructurales aquellos que constituyen el sistema de distribución de agua potable, la recolección y disposición de las aguas lluvias y de las aguas negras, la distribución de energía, el transporte vertical o gases.

Los elementos no estructurales deben estar separados de la estructura para evitar que interactúen con esta; de otro modo deberán estar diseñados conforme al sistema estructural.

## Comportamiento sísmico de edificios

Las estructuras de las edificaciones están sujetas a cargas permanentes esto es su propio peso,

además de cargas temporales o aquellas que no están siempre presentes como el peso de las personas, muebles o utensilios. Otras fuerzas aparecen solo cuando ocurre un fenómeno natural, como las fuerzas del viento o las fuerzas sísmicas.

Alhama et al (2015), consideran importantes las siguientes características en relación al comportamiento sísmico:

- Los esfuerzos inducidos por un sismo se deben a fuerzas internas que actúan sobre las masas de la estructura. Si no hubiese masa no habría esfuerzo.
- Los esfuerzos que ocasionan más daño en los edificios se deben a la componente horizontal del sismo. Los edificios suelen estar mejor preparados para acciones verticales; frente a cargas horizontales no existe el mismo margen de seguridad.
- Los esfuerzos sísmicos cambian alternativamente de signo y se sobreponen a los estáticos.

Entonces bien, cuando se diseña la estructura, se consideran todas las cargas estáticas que actúan sobre cada elemento. Pero siempre es importante tomar en cuenta acciones sísmicas y otras acciones no gravitatorias que se conocen como cargas dinámicas.

Cuando dicha estructura se somete a un movimiento horizontal del terreno debido a la acción sísmica, se generan fuerzas laterales o bien fuerzas sísmicas. Los efectos causados por estas fuerzas dependen de la masa y de la altura. Si existe más peso en la parte superior, la fuerza lateral será mayor en esa zona.

La Figura 30 explica algunos efectos debido a la transmisión de fuerzas horizontales. El movimiento que generan los terremotos consiste en una vibración en la superficie de la tierra cuya dirección contiene los tres componentes espaciales: dos horizontales y una vertical. Ese movimiento vibratorio produce unas fuerzas de inercia que sacuden los edificios horizontal y verticalmente, y en algunas ocasiones también se generan fuerzas de rotación que complican todavía más el comportamiento y la estabilidad de la estructura (Estudio Arquivolta, 2016).

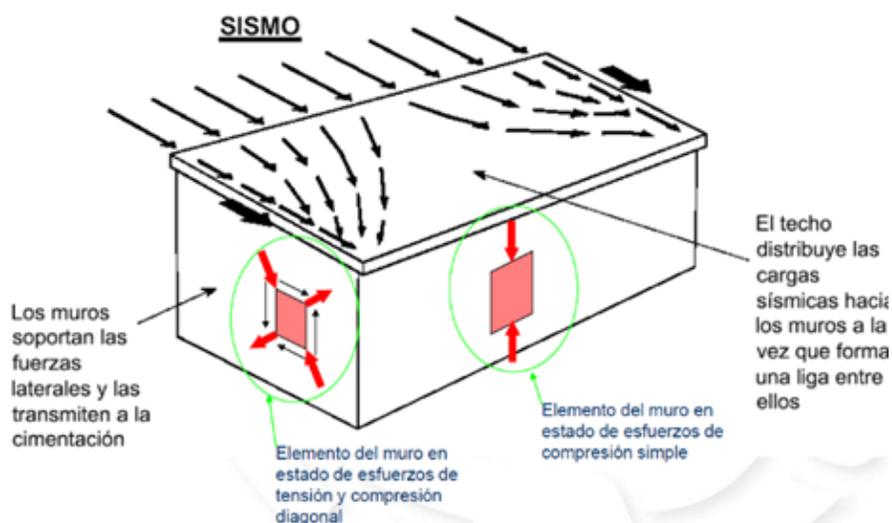


Figura 30. Transmisión de fuerzas (CENAPRED, 2016)

En general, el comportamiento de las estructuras depende de factores como la aceleración máxima del terreno, periodo del movimiento del suelo y periodo de vibración del edificio.

La magnitud de los esfuerzos a los que se verán sometidos los elementos y uniones de una estructura depende también de cómo sea la estructura en cuanto a su masa, rigidez, amortiguamiento, ductilidad, entre otros.

Ante una vibración sísmica el edificio oscila hacia un lado y hacia otro, describiendo un ciclo en el tiempo de su periodo natural. Los edificios altos se mueven más lentamente, por tanto, tienen mayor periodo natural que las construcciones bajas (Benito & Cabañas, 1999)

La respuesta dinámica de una edificación durante un sismo obedece principalmente a la relación entre el período de vibración de las ondas sísmicas y el de dicha estructura. Mora (2012), explica que cuando las frecuencias son mucho menores que la propia del edificio, este simplemente se mueve con el suelo y alcanza deformaciones leves; de esta forma, a medida que la frecuencia del movimiento crece la deformación aumenta.

Además, el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2011) destaca que las construcciones de poca altura poseen una frecuencia natural alta, por lo tanto son más vulnerables a sismos que se hayan originado cerca debido a que estos se asocian con ondas sísmicas de alta frecuencia; sin embargo, los edificios altos poseen frecuencias naturales bajas, volviéndose más vulnerables a

sismos de origen lejano pues se asocian con ondas sísmicas de baja frecuencia.

También, es posible que la frecuencia de la onda sísmica y la frecuencia de oscilación del edificio coincidan. Cuando esto ocurre se produce el fenómeno de la resonancia. El Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2011), dejó en claro que en la medida en que los dos períodos igualen sus valores y su relación se acerque a la unidad la edificación entra en resonancia, aumentando significativamente las deformaciones y aceleraciones de la edificación y en consecuencia los esfuerzos en sus elementos estructurales.

Por lo tanto, la ocurrencia de este fenómeno produce casi con seguridad el derrumbe del edificio, ya que la energía se amplifica. Aunque este no se derrumbe, las consecuencias son graves pues se originan grandes deformaciones.

La respuesta dinámica depende además de otras propiedades como la capacidad de disipar energía por deformación plástica y las variaciones de las propiedades de los materiales causadas por la velocidad con que se aplica la carga (Briceño, 2016)

La siguiente figura muestra la magnitud de las consecuencias según el daño de los diferentes elementos estructurales, observando que la edificación pierde su capacidad soportante cuando se generan daños en muros y columnas principalmente. Cabe mencionar que el término “trabes” hace referencia a los elementos estructurales horizontales mejor conocidos como “vigas”.



**Figura 31.** Consecuencias de falla (CENAPRED, 2016)

La relación entre la fuerza sísmica y la respuesta de la estructura está depende esencialmente de la rigidez o flexibilidad de ésta. Por ello, las estructuras rígidas, de bajo periodo propio, se ven más afectadas por movimientos en los cuales la mayor parte de la energía está contenida en el rango de las altas frecuencias, mientras que lo contrario sucede con las estructuras flexibles (Benito & Cabañas, 1999).

## Comportamiento sísmico según cada sistema estructural

Cada sistema estructural tiene su propio comportamiento ante un sismo, aunque los estados límite no dependen del tipo de material ni de la tipología estructural, sus manifestaciones varían. Al estar sometidos a las cargas que produce un sismo se forman zonas de mayor concentración de esfuerzos, convirtiéndose en puntos vulnerables del sistema.

Por ejemplo, un elemento de concreto o mampostería, reforzados, experimenta una degradación de rigidez por agrietamiento del material a etapas tempranas del intervalo elástico, mientras que un elemento de acero estructural pierde su rigidez hasta alcanzar la tensión de fluencia, explican Munera & Villamizar (2013).

## Sistema tipo marco

Este sistema se conforma por elementos tipo viga y columna que forman uniones rígidas, sin permitir desplazamientos lineales o angulares entre sus extremos, define Montoya (2013). Por lo tanto, se puede decir que su estabilidad está determinada por la capacidad de soportar momentos en sus uniones, si estas fallan habría un cambio en las condiciones de apoyo.

Una característica especial en el sistema de marco es que el desplazamiento relativo es superior en los primeros pisos, aspecto que muchas veces limita la altura de los edificios.

Najarro (2008) explica las ventajas de este sistema. En primer lugar, permite mayor libertad en el uso del espacio interno de la edificación, pero desde el punto de vista sismo-resistente su gran ventaja es la gran ductilidad y la capacidad de disipación de energía. Lo anterior depende de la calidad del proceso constructivo en donde se debe respetar el detallado del acero de refuerzo y el dimensionamiento de los elementos estructurales (en el caso de los marcos de concreto reforzado) así como también respetar el detalle del sistema con el que se realizará la conexión (soldadura o empernado) o el dimensionamiento y colocación de los perfiles (en el caso de los marcos de acero estructural), pues en caso contrario no se logrará mecanismos de falla en los elementos estructurales.

La importancia de lo anterior es que, en caso de falla, se desea que fallen primero las vigas y no las columnas, ya que estas últimas son las que soportan el sistema resistente a cargas.

El comportamiento de este sistema, ante cargas laterales, está regido por las deformaciones a flexión de sus vigas y columnas, por lo que presenta una baja resistencia y rigidez a cargas laterales, a menos que las dimensiones de las secciones transversales de estos elementos sean muy grandes.

Se consideran sistemas muy flexibles, lo cual significa pequeñas sollicitaciones sísmicas. Debido a su flexibilidad, los periodos tienden a ser más largos y esto podría ser perjudicial en estructuras construidas sobre suelos blandos, así como se pueden presentar desplazamientos que superan los límites de seguridad, generando daños en elementos no estructurales.

## Sistema tipo muro

En este sistema los muros soportan tanto las cargas verticales como las horizontales. Los muros que soportan las cargas verticales se denominan muros cargueros; mientras que los que soportan las cargas horizontales son muros estructurales reforzados. En el sistema de muros no existen columnas ni vigas, y si se presentan son pocas y transmiten cargas muy pequeñas (Rochel, 2012).

Según AIS (2011), los muros pueden fallar por flexión o por corte, dependiendo del modo dominante de falla, caracterizado por sus proporciones geométricas. Las zonas más críticas están regidas por el comportamiento de su relación longitud-altura, esto es la esbeltez.

En paredes largas el comportamiento está gobernado por el cortante, mientras que, en paredes de menor longitud, pero de gran altura, el comportamiento está gobernado por la flexión.

Además, la cantidad de refuerzo y otras características de su diseño, pueden hacer que el muro falle por deslizamiento en la base o pandeo, o por falla en su cimentación (AIS, 2011).

## Sistema tipo dual

Consiste en un pórtico tridimensional acoplado con muros estructurales, ambos de alta ductilidad y resistencia, según definición de Vergara & Jaimés (s.f.).

En ocasiones la solución más eficiente, para resistir fuerzas sísmicas en un edificio es la elección de un sistema dual. Esto se debe a que, tras un adecuado diseño, las paredes deberán resistir de manera efectiva las cargas laterales y una pequeña parte de las cargas verticales, mientras que los marcos resisten en mayor proporción las cargas verticales y una pequeña proporción de las cargas laterales. Por ello, las zonas más críticas serán los puntos de unión entre las paredes estructurales y las vigas del marco.

Este sistema se caracteriza por el hecho que al crecer la relación altura-longitud de la pared su rigidez se reduce muy rápidamente y se presenta una interacción bastante compleja entre marco y la pared, ya que en los pisos inferiores la rigidez de la pared es muy alta y restringe la deformación de los marcos por completo, en

cambio en los pisos superiores, la pared tiende a presentar grandes deformaciones (Najarro, 2008).

## Daño sísmico

Toda edificación debe garantizar un comportamiento apropiado ante las cargas impuestas, tanto gravitacionales como sísmicas; en pocas palabras, debe poseer una resistencia adecuada para soportar las cargas, una rigidez oportuna para resistir deformaciones permisibles y estabilidad.

Se considera que una estructura ha fallado cuando se sobrepasa un estado límite determinado de acuerdo con criterios de resistencia, rigidez, desempeño e, inclusive, apariencia, AIS (2011).

En primer lugar, una estructura puede dañarse gravemente a raíz de un sismo se exceden los límites de servicio. Los estados límite de servicio son aquellos que, aunque no amenazan la integridad estructural, deterioran la funcionalidad de la edificación. Por ejemplo, deflexiones excesivas bajo cargas, aún por debajo del límite de fluencia del material. También, el ancho excesivo de grietas en materiales como el concreto y la mampostería reforzados, cuyas matrices se fisuran con niveles relativamente bajos de tensiones y tras lo cual el refuerzo comienza a trabajar, indican Munera y Villamizar (2013).

Por otro lado, pueden alcanzarse los límites últimos, es decir cuando se supera la capacidad portante del edificio, de manera que se declare fuera de servicio por colapso total de la estructura o parte de la misma.

Esto ocurre cuando hay una pérdida del equilibrio del edificio considerado como cuerpo rígido. Un ejemplo claro son los edificios esbeltos cuyas cimentaciones no resisten las fuerzas de tensión inducidas por un sismo. Los elementos esbeltos también son susceptibles de fallar por pandeo o deformaciones excesivas, pudiendo causar el colapso del elemento.

En otros casos, cuando los elementos son sometidos a ciclos continuos de carga, puede excederse el límite último por fatiga del material.

Del mismo modo, cuando los esfuerzos inducidos por sollicitaciones externas superan la capacidad de los materiales se produce su rotura. Respecto a esto, Munera et al (2013), afirman que cuando se produce la rotura de un elemento

estructural principal, la consecuente redistribución de esfuerzos puede causar sobrecarga en elementos adyacentes, produciendo, a su vez, el colapso progresivo de la estructura.

No obstante, si el elemento que sufre la rotura tiene suficiente ductilidad, puede resistir grandes deformaciones sin fallar y sin pérdidas considerables de resistencia, formando un mecanismo de disipación de energía conocido como rotulación plástica, siendo la última línea de defensa de una estructura ante eventos sísmicos poco frecuentes de gran intensidad, fundamenta la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2011).

## Tipos de daños

### a) Daño estructural

Cuando la estructura es afectada por movimientos sísmicos pueden sufrir daños. El daño sísmico estructural es el que sufren las vigas, las columnas, las losas o las cimentaciones durante un sismo.

Es decir, LIS (2011), reitera que es el deterioro de aquellos elementos o componentes que forman parte del sistema estructural de la edificación, de acuerdo con los tipos y la calidad de los materiales, sus características, su configuración, y las cargas que actúan.

Si el edificio se aleja de formas y esquemas estructurales simples hace que estas tengan un comportamiento inestable ante sismos. Una descripción detallada de estos daños se presenta en el Apéndice D.

Ahora bien, en términos de evaluación de daños, estos se pueden calificar de la siguiente manera de acuerdo con las definiciones del AIS (2011) y el ATC-20 (1989):

- Muy leve: el daño no afecta significativamente propiedades estructurales. Los arreglos requeridos son cosméticos a menos que el rendimiento en componentes no estructurales sea muy estricto.
- Leve: Son daños que no implican debilitamiento significativo del elemento; generalmente no necesitan reparación.
- Moderado: el daño intermedio que cambia la capacidad de la estructura, sin acercarse al límite del colapso parcial de los principales componentes

estructurales. Posible caída de objetos no estructurales.

- Fuerte: Son daños significativos que han afectado la resistencia y/o la estabilidad del elemento.
- Severo: Se refiere a daños mayores como el colapso parcial o total de la estructura, edificaciones inclinadas, asentamientos, paredes severamente agrietadas y/o desplomadas, vigas o columnas falladas, pisos separados de su soporte vertical, juntas y conexiones que muestren fallas significativas, cimientos fracturados y cosas semejantes.

### b) Daño no estructural

Son los daños que surgen en los elementos que no forman parte del sistema estructural pero que representan un riesgo para los ocupantes y vecinos.

Según la OPS (2007), el riesgo de los elementos se evalúa teniendo en cuenta si están desprendidos, si tienen la posibilidad de caerse o volcarse y afectar zonas estructurales estratégicas, verificando su estabilidad física (soportes, anclajes, etc.) y la capacidad de los equipos de continuar funcionando durante y después de un desastre (almacenamiento de reserva, conexiones alternas, otros).

## Evaluación de daños en edificaciones post-sismo

Para entender el comportamiento sísmico de las estructuras, es necesario identificar las características que han conducido a las fallas y a los buenos comportamientos estructurales en el pasado, así como también el análisis de los distintos tipos de daños y de las causas que los han originado, para lo cual como ya se mencionó, se ha desarrollado el Manual de Tipologías de Daños en el Apéndice E.

Por lo general, las fallas presentadas en las edificaciones durante eventos sísmicos, se originan producto de los defectos en el diseño y configuración estructural, así como en los errores durante la construcción de la obra y el empleo de materiales inapropiados para la edificación.

Se ha demostrado que no sólo es importante el estudio de vulnerabilidad de las edificaciones, sino que también es útil tener métodos para la inspección de los daños causados por sismo con el fin de evaluar el daño lo más objetivamente posible y definir el nivel de habitabilidad de la edificación, según establece la Gestión de Riesgo de Manizales, Colombia en el 2018.

Una guía de evaluación pretende evaluar de manera específica cualquier edificación afectada con el principal objetivo de determinar su seguridad e identificar las edificaciones estables, comprometidas, o que deben declararse de uso restringido debido a daños severos.

De ser necesario, la evaluación recomendará una inspección posterior más profunda y detallada por parte de especialistas en el área.

Sin embargo, también se obtiene información relevante para otro tipo de actividades posteriores de manejo de la emergencia, la rehabilitación y reconstrucción.

Los objetivos de realizar una evaluación de edificaciones después de un sismo se explican de manera detallada a continuación y fueron propuestos por AIS (2002):

- Reducir la incidencia de lesiones o muertes de los ocupantes de edificaciones dañadas por un sismo.
- Crear un registro del número de edificaciones habitables, dañadas o colapsadas, para facilitar el proceso de rehabilitación, reconstrucción y recuperación de la zona afectada.
- Identificar las necesidades de la zona en cuanto al mejoramiento de la seguridad de sus edificios, así como obtener retroalimentación para el progreso de las normas de construcción sismo resistente.
- Identificar las necesidades de la comunidad para una adecuada atención y manejo de la emergencia.
- Proveer información para una estimación superficial de las pérdidas económicas causadas por daños en las edificaciones.

Se obtendrá toda la información necesaria para identificar, evaluar y clasificar cada una de las edificaciones que se inspeccionen. Entre los aspectos importantes por evaluar se presentan los siguientes:

- Colapso o colapso parcial.
- Inclinación.
- Daños en columnas, vigas y entrepiso.
- Movimiento significativo entre pisos
- Desprendimiento del revestimiento.
- Daños en la base de muros.
- Pandeo de arriostres de acero.
- Daños en la cimentación.

A continuación, se realizará una breve descripción de las guías que fueron consideradas para un análisis de su contenido y de este modo contar con las bases para la formulación de una guía de apoyo aplicable a edificios públicos y privados de nuestro país.

En primer lugar, se resume en términos generales la información encontrada a nivel nacional posteriormente se describen diversas guías preparadas en otros países del continente americano.

## Costa Rica

A nivel nacional, en 1993 la Comisión Nacional de Emergencias estructuró una corta guía de evaluación de daños en edificios, sin embargo, esta nunca fue actualizada y no ha sido de gran uso.

La Ing. Christa Schaubek en el 2003 realizó una investigación académica sobre "Evaluación y cuantificación de daños en viviendas causados por movimientos sísmicos", la cual sirvió como base fundamental para la creación de la Guía de Campo: Evaluación rápida de viviendas ante una emergencia del Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH).

Dicha guía se limita a la atención de emergencias en viviendas, entendiendo una emergencia como un estado de crisis provocado por un desastre natural. Sin embargo, este documento aún no está publicado por lo que se mantiene su confidencialidad.

Asimismo, el Ministerio de Educación Pública también estableció su propia "Ficha de Evaluación Post Desastre de la Seguridad de Edificaciones", la cual está orientada a evaluar instituciones educativas que se han visto afectadas por sismo, actividad volcánica, deslizamientos e inundaciones.

Mientras que instituciones como la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) han elaborado sus propios manuales de evaluación

para edificaciones. La propuesta de la CCSS se desarrolló en el 2017 y tiene como objetivo “describir el procedimiento sugerido para una rápida identificación de daños en edificaciones y evaluación de su seguridad, en zonas afectadas después de un terremoto.”

Esta guía fue consultada de manera confidencial y a modo de referencia pues su publicación aún no se ha hecho oficial, por lo que no se encontrará en los anexos, sin embargo, el formato se compone de las siguientes secciones:

- Descripción del evento sísmico
- Identificación de la edificación
- Tipología estructural
- Inspección general
- Inspección específica: daño estructural
- Inspección específica: daño en elementos arquitectónicos
- Inspección específica: daño en sistema electromecánico
- Resolución final de ocupación del edificio
- Medidas de seguridad y recomendaciones inmediatas
- Registro de evaluadores responsables
- Fotografías, esquemas u otros

La guía permite definir rápidamente si la edificación es segura (habitable), si su seguridad está en duda (uso restringido) o si se prohíbe su ingreso u ocupación definitiva (no habitable). Los resultados de la inspección se asocian con tres colores verde, amarillo y rojo respectivamente.

La descripción dada para cada categoría de habitabilidad se define como sigue:

➤ Habitable

a) No existen riesgos aparentes para la integridad física de los ocupantes del edificio, sin embargo, es posible que se requieran reparaciones.

➤ Uso restringido

a) Existen riesgos para la integridad física de ocupantes en algunos sectores del edificio.

b) Existen riesgos para la integridad física de ocupantes, pero pueden ser eliminados rápidamente tomando medidas especiales o con reparaciones, demoliciones parciales o reforzamiento de emergencia.

➤ No habitable

a) Serio riesgo para la integridad física de ocupantes en todo el edificio.

## Colombia

En el 2003 la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS), desarrolló una metodología establecida como única con el fin de evaluar bajo un solo punto de vista, el daño físico de una edificación. El contenido de dicha guía se basa en la información obtenida tras los sismos de 1995 y 1999 en la región del Eje Cafetero en Colombia, además de otros métodos conocidos a nivel internacional, dando lugar a la Guía Técnica para la Inspección de Edificaciones después de un Sismo (Anexo D).

El objetivo general se cita a continuación: “disponer de una metodología para la evaluación del nivel de daño y la seguridad de edificaciones después de un terremoto.”

El formulario contiene diez secciones principales que se mencionan a continuación:

- Identificación de la estructura: dirección, número de pisos, dimensiones.
- Descripción de la estructura: sistema estructural, tipo de losa, año de construcción.
- Estado de la edificación: estado general de la edificación, daños en elementos estructurales, daños en elementos arquitectónicos, problemas geotécnicos, porcentaje de daño y clasificación global de la habitabilidad.
- Recomendaciones y medidas de seguridad.
- Esquema
- Condiciones preexistentes.
- Efectos en los ocupantes: heridos y fallecidos.
- Ocupación de la edificación y persona para contacto.
- Comentarios.
- Inspectores.

La clasificación de habitabilidad se realiza según colores:

➤ Verde: Habitable

a) No presenta daños o presenta daños leves o en elementos arquitectónicos.

➤ Amarillo: Uso restringido

a) Daños en elementos arquitectónicos grandes con peligro de caerse.

➤ Naranja: No habitable

a) Daños estructurales, grietas visibles.

b) Presenta disminución en su capacidad para resistir cargas.

➤ Rojo: Peligro de colapso.

a) Inmuebles que sufrieron daños generalizados en su estructura, presentan peligro de colapso o derrumbe inminente.

b) Es necesario evacuarlos totalmente y proteger calles y los edificios vecinos.

Según Carreño, Cardona, & Barbat (2005), en Colombia, después del terremoto de 1999, se pudo observar que, aunque existía un formulario de inspección previamente establecido y los profesionales voluntarios se clasificaron según su experiencia, no se había llevado a cabo un entrenamiento adecuado para los profesionales que ayudara a que los criterios fuesen homogéneos. Por lo tanto, hubo gran disparidad de criterios entre los diferentes evaluadores y muchas evaluaciones se tuvieron que desechar o repetir. De lo anterior, se corrobora la importancia de una adecuada capacitación previa de los profesionales que van a participar en un proceso como este.

## Chile

En el año 2014, la Dirección de Arquitectura del Ministerio de Obras Públicas publicó la versión 2 de la Ficha de Evaluación de Daños para Inspección Rápida de Edificios Públicos (Anexo E). Es un documento adaptado y actualizado de la versión japonesa, con el fin de evaluar una propiedad y evitar un desastre secundario debido a las réplicas.

En este caso, el objetivo descrito plantea que se pretende “identificar las edificaciones en las cuales se puede ingresar y aquellas donde no es posible ingresar para evitar un desastre secundario debido a las réplicas.”

La ficha contiene los siguientes apartados:

- Alcance
- Identificación del inspector
- Identificación del inmueble
- Sistema estructural
- Inspección general del inmueble
- Inspección específica
- Resumen
- Recomendaciones iniciales
- Croquis planta con elementos estructurales resistentes

En el apartado siete se establece la clasificación final de la edificación con uno de los siguientes adjetivos:

➤ Inspeccionada (segura).

a) No se ha encontrado daño estructural o si hay es poco pero no se piensa que represente un

peligro en la actualidad, aunque algunas reparaciones son necesarias.

b) La resistencia lateral original no está significativamente degradada y se permite su uso u ocupación temporal.

➤ Ingreso limitado.

a) Se ha encontrado un daño estructural y/o no estructural a los elementos.

b) Su uso temporal no está permitido a menos que se realice un reforzamiento temporal para impedir que aumente el daño.

c) Se permite solo el ingreso en caso de emergencia y bajo el riesgo propio.

➤ Insegura.

a) Existe un daño notable ante las réplicas.

b) Es necesario un reforzamiento de emergencia para prevenir un colapso súbito, pero el ingreso y su uso temporal no están permitidos

## México

La subdivisión de riegos estructurales del Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED) de México ha desarrollado diferentes procedimientos para evaluar el nivel de seguridad de sus edificaciones, estableciendo un procedimiento de inspección y evaluación ante una contingencia relevante

Según Carreño, Cardona, & Barbat (2005), el ATC-20 sirvió como base para sus diferentes versiones de evaluación realizadas en 1995 y 1998.

Más adelante, en el 2001, el CENAPRED con la colaboración de otras entidades, consideraron formatos para inspecciones de estructuras del Instituto de Ingeniería de la Universidad Autónoma de México (UNAM), de la Dirección de Protección Civil, del Ministerio de Obras Públicas de Chile y del mismo CENAPRED, para elaborar un Formato de Captura de Datos para Evaluación Estructural (Anexo F).

El objetivo definido en esta guía es el que sigue: “identificación de edificios que a primera vista son seguros y las que requieren de una valoración posterior o presentan daños de importancia.”

El formato contiene los siguientes apartados:

- Información general del inmueble: dirección y propietario.
- Uso.

- Terreno y cimentación: topografía, tipo de suelo y tipo de cimentación.
- Características de la estructura: dimensiones.
- Vulnerabilidad: irregularidades en planta y elevación.
- Sistema estructural: materiales, refuerzos y secciones.
- Rehabilitación existente.
- Evaluación de daños.
- Croquis del inmueble.

En esta versión, la clasificación de habitabilidad se realiza como de describe a continuación:

➤ Habitable (verde):

- a) No se encuentra en peligro aparente.
- b) La capacidad original para resistir cargas no presenta disminución significativa.

➤ Seguridad en duda (amarillo):

- a) Presenta disminución significativa en su capacidad para resistir cargas.
- b) La entrada de propietarios sólo es permitida con fines de emergencia y únicamente bajo su propio riesgo.
- c) No se permite su uso continuo, ni entrada al público.

➤ Insegura (rojo):

- a) Alto riesgo, posible derrumbe ante réplicas del temblor principal.
- b) La entrada está prohibida.
- c) El edificio es inseguro para ocupar o entrar excepto por las autoridades.

## Estados Unidos

En 1989, con el financiamiento de la Oficina de Servicios de Emergencia de California, la Oficina de Planificación y Desarrollo de Salud Estatal de California y la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias, el Consejo de Tecnología Aplicada (ATC) publicó los Procedimientos ATC-20 para Evaluación de Seguridad Post-sismo. (Anexo G)

Esta guía incluye los procedimientos de evaluación de edificios dañados por terremoto, según Andrade (2016), fueron hechos específicamente para ingenieros civiles estructurales voluntarios y/o inspectores de edificaciones acreditados por la jurisdicción local. En el documento se expone que el principal objetivo es “inspeccionar y evaluar rápidamente y

con el mínimo de personal los edificios del área afectada.”

En términos generales, la ficha contiene los siguientes aspectos:

- Identificación del inspector.
- Identificación del inmueble.
- Sistema estructural.
- Uso de la estructura.
- Inspección general.
- Croquis.
- Clasificación de daño.
- Acciones futuras o recomendaciones

La clasificación de habitabilidad se realiza según colores:

➤ Examinada (verde):

- a) La ocupación legal del edificio es permitida. Debe tenerse cuidado, en caso de réplica puede incrementarse el daño en el edificio y el riesgo para sus ocupantes.
- b) El daño presente en el edificio no representa peligro para la seguridad de sus ocupantes.
- c) No significa que no sean necesarias algunas reparaciones.

➤ Entrada restringida (amarillo):

- a) La ocupación legal del edificio está restringido a algunas zonas (que son especificadas y adecuadamente señalizadas).
- b) No existen claramente condiciones que hagan la ocupación del edificio insegura, pero el daño observado impide que se tenga una ocupación sin restricciones.
- c) Si el nivel de daño no es peligroso, pero es perjudicial para la salud o las condiciones de vida para una ocupación a largo termino.

➤ Insegura (roja):

- a) Existe un riesgo inmediato asociado a la entrada, uso u ocupación del edificio.
- b) No indica que se requiera su demolición
- c) Sólo entran personas autorizadas

Las descripciones anteriores fueron tomadas de la traducción realizada por Carreño, Cardona, & Barbat (2005).

# Metodología

La metodología de estudio será una investigación y observación aplicada y experimental, procedimiento que se aplica con la determinación de los daños y patologías de una estructura

después de un sismo. La presente investigación se dividió en cuatro etapas principales que se muestran en la Figura 32:

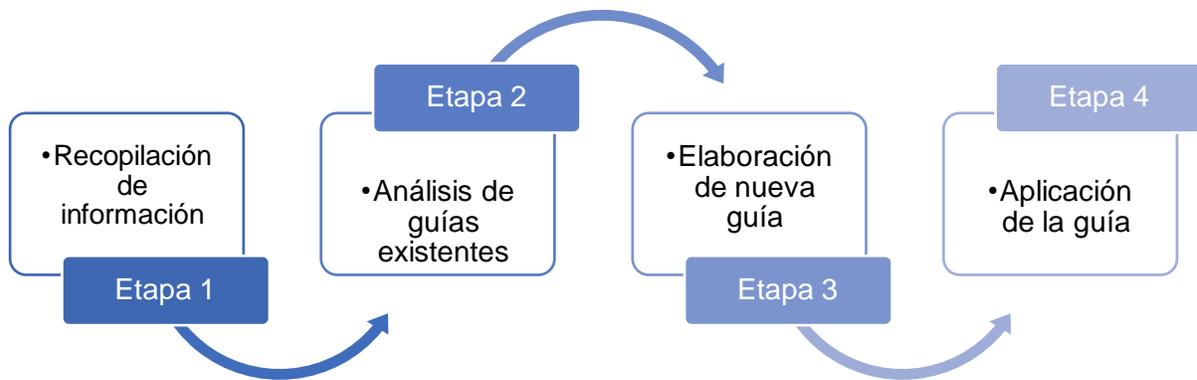


Figura 32. Etapas para el desarrollo de la investigación

## Etapa 1

La primera etapa de este proyecto consiste en examinar registros de métodos aplicados en ocasiones anteriores para la evaluación post-sismo en edificaciones en Costa Rica y a nivel internacional con el fin de crear una base de datos sobre los parámetros o métodos de evaluación de daño estructural aplicados en ocasiones anteriores.

Para ello, se inició la búsqueda y estudio de antecedentes relativos a las inspecciones y evaluaciones estructurales de edificios, de este modo el trabajo tiene una modalidad de investigación, que comprenderá la revisión bibliográfica de artículos, libros y memorias en relación con la temática ya definida.

La recopilación de información para la elaboración del presente trabajo de investigación se fundamentó por medio de artículos, libros, sitios o páginas de Internet de instituciones estatales como el Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI), la Red Sismológica Nacional (RSN), el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica y la Escuela de Geología de la UCR.

Se entabló una comunicación personal con el encargado del sector de Investigación y Análisis de Riesgo de la Comisión Nacional de Emergencias, se hizo contacto con la Cámara Costarricense de la Construcción y el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica.

Así como también se contactaron profesionales expertos en el tema. El Ing. Javier Castro miembro de la Dirección de Proyectos Especiales (DAPE), de la Caja Costarricense del

Seguro Social, recientemente realizó una investigación en evaluación post-sísmica dirigida a la inspección inmediata de edificaciones esenciales como lo son hospitales, estaciones de bomberos y policía, etc. Como resultado de su investigación elaboró una primera versión de la “Guía de Evaluación Rápida de Edificaciones Post Evento Sísmico”, por lo que su conocimiento en el tema era extenso y de gran ayuda en esta primera etapa de recolección de información.

Por otro lado, se contactó al Ing. Miguel Cruz quien es reconocido por su gran conocimiento en ingeniería sismo-resistente e ingeniería estructural. Además, quien ayudó a orientar el presente proyecto gracias a la información compartida y facilitó la asistencia a la ponencia: Observaciones sobre el Comportamiento de Estructuras ante el Sismo de México del 19 de Setiembre, impartida por el mismo.

Del mismo modo, para obtener información a nivel internacional, se consultó en internet la información disponible referente a la evaluación sísmica. Se encontró principalmente información de países como Colombia, Chile, México, Estados Unidos, Japón, España y Nueva Zelanda.

Igualmente, se pretendió definir los conceptos generales relacionados con la determinación de la vulnerabilidad y el riesgo sísmico en edificaciones, para establecer los diferentes aspectos necesarios que permiten la comprensión de la importancia de la estimación de los daños que puede producir un terremoto en las edificaciones.

Por otro lado, para la elaboración de una guía de los tipos de fallas en los elementos estructurales, fue necesario investigar acerca de los métodos constructivos más comunes en Costa Rica, así como su capacidad sismo-resistente pues esto depende de las modificaciones en el Código Sísmico de Costa Rica y lo cual permite predecir el comportamiento estructural de las edificaciones.

## Etapa 2

Para realizar la propuesta del contenido de la guía de evaluación del daño estructural post-sismo se consultaron diversas guías tanto nacionales como internacionales; entre ellas la Guía de Evaluación

Rápida de Edificaciones Post Evento Sísmico desarrollada por la Caja Costarricense del Seguro Social en el 2017, además de la versión de la Comisión Nacional de Emergencias propuesta en 1993. Se tuvo acceso también a la Guía de campo: Evaluación rápida de viviendas ante una emergencia preparado por Barahona (2017) para el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos (MIVAH).

A nivel internacional, se examinaron las prácticas de inspecciones y evaluaciones estructurales de edificios utilizadas en distintos países, para visualizar configuraciones y criterios adecuados. Se consultó el manual de campo de Manizales de la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003) así como la memoria del “Proyecto de evaluación de edificaciones afectadas por sismo en Manizales y la descripción y comparación de las principales metodologías existentes a nivel internacional y nacional sobre evaluación de daños después de un sismo” de la Asociación Colombia de Ingeniería Sísmica.

Por otro lado, se hizo uso del manual de campo de CENAPRED y su formulario de inspección, así como la Ficha de Evaluación de Daños para Inspección Rápida de Edificios Públicos de Chile. También, se tomaron como referencia los formularios de evaluación rápida y detallada del Applied Technology Council (ATC-20-1 y 2).

Las técnicas expuestas en estas guías han sido probadas luego de terremotos destructivos, por lo que se consideran fuentes confiables. Se realizó una comparación entre cada una de las guías para evaluar similitudes en su contenido y así determinar las principales componentes que deben estar presentes en una guía como esta o bien discriminando aquellos aspectos que no se adecuen al medio nacional.

Carreño, Cardona, & Barbat (2005), señalan que los principales elementos para una metodología de evaluación de daños son: la clasificación de los daños, la definición de las posibilidades de uso de los edificios que sufrieron daños y la organización para la recopilación de los datos.

Sin embargo, más adelante se emplearon nuevas referencias como la “Guía de inspección y evaluación en situación de emergencia, de daños debidos al sismo en edificios” de España, “Field Guide: rapid post disaster” de Nueva Zelanda y la “Norma para la evaluación del nivel de daño por

sismo en estructuras y guía técnica de rehabilitación” de Japón.

De este modo, se recabó suficiente información clave sobre la forma de análisis de riesgos en edificaciones después de un sismo, generando una estructura base de la metodología que se desea implementar en el país.

## Etapa 3

Tras el conocimiento de cómo se aborda esta temática en otros países y de las distintas formas de evaluar el estado de un edificio, se procedió a desarrollar los aspectos generales por considerar en la formación de una propuesta de inspección estructural en nuestro país.

A partir del cuadro comparativo se determinaron las características que debían ser tomados en cuenta, o bien aquellas que debían adaptarse a las condiciones o solicitudes del país.

A grandes rasgos, los aspectos tomados en cuenta fueron la identificación del edificio y su uso, el entorno de la edificación, pues influye de manera indirecta en la vulnerabilidad de la edificación; aspectos estructurales que se consideren de mayor importancia, así como aspectos no estructurales que deban ser incluidos en la evaluación.

Tras un proceso de estudio, los aspectos definidos se ven plasmados en un formulario que permite recopilar toda la información de campo necesaria para dar el diagnóstico sobre el nivel de daño de la edificación que se evalúe.

Se desarrolló también un manual que explica al evaluador (usuario) el procedimiento de uso del formulario, además de caracterizar cada uno de los parámetros contenidos en la metodología de evaluación para aclarar su uso y comprender su importancia.

Por lo tanto, se describe paso a paso cada uno de los criterios solicitados y sus variantes de acuerdo con el caso en estudio, al mismo tiempo se describirán la forma de llenar el formulario de evaluación y los criterios para la clasificación de la seguridad y habitabilidad de las edificaciones.

Aunado a esto, con el fin de facilitar la comprensión de lo observado, se realizó una guía de los tipos de falla más comunes en los elementos estructurales según el material con el que fueron construidos.

## Etapa 4

La cuarta etapa de esta investigación comprende la implementación de la metodología de evaluación a edificaciones existentes vulnerables o dañadas debido a los efectos de un sismo.

Para alcanzar este objetivo fue necesario identificar edificaciones a las cuales aplicar la guía de evaluación estructural para estimar el grado de riesgo, al tiempo que se comprobaba la efectividad de la metodología.

Esto va de la mano con la parte organizativa, el procedimiento de obtención de datos de campo y la clasificación de la habitabilidad de la edificación.

En esta etapa se obtendrá toda la información necesaria para identificar, evaluar y clasificar cada una de las edificaciones que se inspeccionen. Esto se llevará a cabo mediante la ayuda de expertos o profesionales en el área que puedan facilitar sus conocimientos y dar un mejor criterio sobre funcionamiento del método.

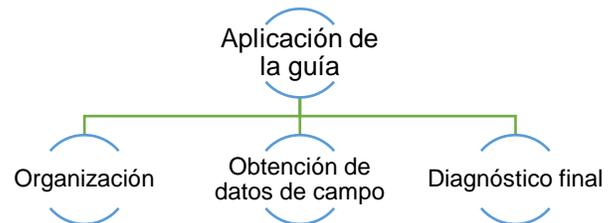


Figura 33. Aplicación de la guía de evaluación

### Organización

#### Información preliminar

Antes de empezar los procesos de evaluación, se sugiere realizar un recorrido rápido por las ciudades afectadas, sobre todo en aquellas zonas donde “la intensidad sísmica haya alcanzado grado VII o más en la escala Mercalli Modificada, valor a partir del cual empiezan a presentarse daños estructurales moderados y daños no estructurales severos en las edificaciones con mayor vulnerabilidad sísmica, que implican riesgo en la seguridad de vida de los ocupantes” (Schmidt, 2006 citado por Castro, 2018).

El propósito es generar información preliminar sobre la extensión del daño y la dimensión de las áreas con mayor intensidad de daños, identificando los edificios obviamente inseguros para iniciar los procedimientos de emergencia. Estos recorridos pueden ser realizados por bomberos, policías o el mismo personal de la Comisión Nacional de Emergencias.

Para lograr este primer paso pueden realizarse reconocimientos aéreos o por tierra, y también mediante la recepción de llamadas de emergencia ya que se reciben muchas solicitudes de asistencia a la comunidad lo cual permite identificar las zonas de concentración de edificios afectados de forma severa o colapsados, como sugieren Carreño et al (2015).

## Materiales y equipo

Para realizar los procedimientos de evaluación de daños los equipos de inspectores deben contar con el equipo y los artículos necesarios para su seguridad e identificación. Además de contar con los instrumentos necesarios para medir grietas, distancias, entre otros.

El equipo y material con el que las comisiones y cada uno de los evaluadores deberán contar para la evaluación de las edificaciones fue estudiado a partir de lo descrito en diversas guías (Apéndice B). Se obtiene el siguiente listado:

- a) Documentos personales.
  - ✓ Identificación personal
  - ✓ Carné asociado al Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica
- b) Equipo de protección personal (EPP)
  - ✓ Casco protector
  - ✓ Botas de punta de acero preferiblemente
  - ✓ Mascarilla para nariz y boca
  - ✓ Lentes de seguridad
  - ✓ Chaleco de seguridad
- c) Material y equipo
  - ✓ Formulario de inspección
  - ✓ Manual de evaluación post-sismo
  - ✓ Nombre y número telefónico del contacto en el edificio a evaluar, coordinadores del equipo de evaluación y entidades responsables de la prevención de desastres

- ✓ Mapa de la zona en la que se ubica el edificio a evaluar
- ✓ Navegador de sistema de posicionamiento global portátil (G.P.S.)
- ✓ Etiquetas de la habitabilidad de las edificaciones
- ✓ Cinta amarilla para restringir el paso en áreas inseguras de las edificaciones
- ✓ Libreta para anotar y lapicero
- ✓ Tabla de apoyo
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Linterna y baterías extras
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Radio de comunicación
- ✓ Brújula
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Grietómetro (comparador de grietas)
- ✓ Nivel de mano, plomada y transportador
- ✓ Cincel y martillo
- ✓ Guantes

En caso de poder tener acceso, es muy recomendable contar con el plano de las plantas estructurales del edificio por evaluar.

## Perfil

Según Vizconde (2017), muchas veces en el caso de un gran terremoto, puede no ser posible contar con un número suficiente de ingenieros experimentados, y los funcionarios a cargo tendrían que arreglarse con los recursos disponibles, normalmente ingenieros estructurales, hasta personas voluntarias o miembros de los comités de emergencia que no cuentan con la experiencia necesaria.

En situaciones de emergencia el personal a cargo será responsable de realizar las evaluaciones, de recolectar y analizar la documentación relevante para finalmente brindar las recomendaciones finales. Por eso, lo ideal es que todo participante de una inspección sea capacitado de manera que comprenda la forma de diligenciar los formularios y criterios utilizados para la clasificación de los daños.

Primordialmente, las personas que realicen la evaluación de los daños de una edificación deben de tener una formación profesional en el área de la ingeniería civil, contar con experiencia en el diseño estructural o construcción, conocimiento del comportamiento

sísmico y de la evaluación de daños en edificaciones post-sismo.

Se deben crear comités de evaluación, respecto a ello, el ATC-20-2 recomienda conformar equipos de evaluación de dos personas para la evaluación rápida (dos inspectores de obra, o un inspector y un ingeniero) y de tres personas (un inspector de obra, un arquitecto y un ingeniero estructural) para la detallada.

Castro (2018) establece un perfil mínimo y un perfil recomendado con algunas sugerencias adicionales:

a) Perfil mínimo:

- ✓ Ingenieros o arquitectos.
- ✓ 3 años de experiencia en diseño, construcción o inspección de edificios.
- ✓ Haber sido capacitados en la metodología de evaluación.

b) Perfil recomendado:

- ✓ Ingenieros o arquitectos
- ✓ Especialidades en estructuras, ingeniería sísmica o forense
- ✓ 5 años de experiencia en diseño, construcción o inspección de edificios.
- ✓ Experiencia previa en evaluaciones post-sismo.
- ✓ Haber sido capacitados en la metodología de evaluación.

Lo anterior es importante porque gracias a los conocimientos y experiencias les será más fácil reconocer los daños estructurales o situaciones no usuales, al tiempo que tendrán el criterio suficiente para tomar las mejores decisiones ante la posible necesidad de evacuar un edificio.

En una labor de inspección post-sísmica, es transcendental cuidar que las determinaciones profesionales y declaraciones estén fundamentadas en información certera y datos objetivos, manifestados a partir del buen conocimiento ingenieril y juicio profesional.

No deja de ser importante que los profesionales a cargo cumplan con el código de ética profesional. El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, solicita a los miembros incorporados reconocer que la seguridad de la vida, la salud, los bienes, el patrimonio, la conservación del ambiente y el bienestar público de todos los integrantes de la sociedad, es su responsabilidad y por ende deberán tomar “las

medidas pertinentes para no poner en riesgo la vida, así como para prevenir daños al entorno social o ambiental en que se desempeñan, aplicando los conocimientos técnicos y científicos que rigen la profesión en que se encuentran incorporados al Colegio Federado” (CFIA, 2013).

En caso de que personas voluntarias deseen brindar su ayuda en casos de emergencia, deberán ser propiamente capacitados, pero no estarán en posición de tomar decisiones respecto a la seguridad y habitabilidad de las edificaciones.

## Capacitación

La instauración de un sistema de inspección requiere la capacitación de profesionales para que estos estén preparados para acudir a intervenciones en el momento en que ocurre un evento sísmico. Cuando no hay entrenamiento previo, es común que aquellos inspectores de menor experiencia sobreestimen o subestimen el daño existente, permitiendo la ocupación peligrosa a un edificio.

Está de más de decir que es sustancial preparar al personal lo más pronto posible, con anterioridad a la ocurrencia de una emergencia.

El procedimiento de evaluación se puede describir a través de los siguientes pasos, por lo que las personas evaluadoras deben estar en capacidad de entenderlos:

- 1) Examinar el exterior de la edificación, llenar el formulario con la identificación de la edificación y de la estructura
- 2) Evaluar la calidad de la construcción, irregularidades y otros aspectos.
- 3) Observar el estado general de la edificación y daños en la fachada.
- 4) Observar el suelo alrededor de la edificación para determinar posibles grietas, inclinaciones deslizamientos.
- 5) Evaluar el grado de daño de todos los elementos estructurales según el sistema estructural.
- 6) Clasificar la estructura según los resultados de la evaluación.

Por lo tanto, esta capacitación debe tener como objetivo un adecuado entrenamiento en el uso del manual de captura de datos, la entrega de resultados y elaboración estandarizada de los respectivos informes de inspección y evaluación.

“El entrenamiento debe desarrollarse en los siguientes aspectos: procedimiento de movilización, información y ayudas sobre como ubicarse en el terreno y cómo manejar la nomenclatura y la información catastral de los inmuebles” (Carreño, Cardona, & Barbat, 2005)

Además, es importante impartir un entrenamiento respecto a los siguientes aspectos: Conocimiento de los sistemas estructurales más usados en el país.

- Identificación de fallas en los elementos estructurales.
- Identificación del peligro que representan los elementos no estructurales.
- Criterios para recomendar apuntalamiento de emergencia, demolición u otras medidas.
- Implicaciones sociales, económicas y políticas de la inspección.

Organizar capacitaciones y brindar una inducción apropiada en donde se explique el uso del material y equipo, los criterios de evaluación de daños en una edificación y el modo de llenar el formulario de inspección de campo, es esencial.

Es por esta razón que la creación de cursos de certificación diseñados e impartidos por expertos en evaluación estructural, mediante la participación de universidades, comisiones y entidades afines, permitirá contar con un grupo de evaluadores certificados con conocimientos en inspección de materiales y análisis del comportamiento estructural de los edificios.

## Obtención de datos en campo

En esta fase se recolecta la información necesaria para identificar, evaluar y clasificar cada una de las edificaciones que sean inspeccionadas. El procedimiento de inspección debe iniciarse con un reconocimiento preliminar de la zona. La evaluación de daños se desarrolla en dos etapas: la de emergencia y la detallada.

El procedimiento de inspección inicia con un reconocimiento del área, evaluando las condiciones del suelo alrededor de la edificación, para determinar posibles grietas, hundimientos o cualquier anomalía en el terreno que afecte la estabilidad de la edificación.

Al mismo tiempo se observan en el exterior posibles daños en la fachada, estado de

edificaciones adyacentes, entre otras condiciones preexistentes.

A partir de lo anterior, se definen las vías de acceso más seguras, así como la factibilidad de ingresar a evaluar el interior del edificio. Una vez permitida la entrada, se evalúa el sistema estructural, clasificando el nivel de daño de los elementos estructurales de acuerdo con el manual propuesto en este trabajo. También, los elementos no estructurales según el grado de daño.

Es importante identificar el sistema estructural del edificio y el material con el que fue construido. Con estos resultados, se clasifica el grado de afectación del edificio en cuestión y posteriormente se decide el veredicto de habitabilidad. Para esto se coloca un aviso de clasificación en cada una de las entradas.

Es importante explicar a los ocupantes, el significado de la clasificación establecida, especificando claramente si pueden permanecer con seguridad en la edificación o si deben evacuarla. Cuando el uso es restringido, debe delimitarse el acceso a las áreas designadas como inseguras, instalando barreras o cintas preventivas.

A continuación, se explica la propuesta metodológica y la manera en la que se deberá rellenar el formulario de inspección.



Figura 34. Diagrama de flujo de evaluación estructural

## Etapa de evaluación rápida

A partir del estudio de diversas guías, se sugiere la siguiente secuencia en la realización de la inspección:

1. Examinar el exterior del edificio y su estado general, tomando en cuenta que el peligro de colapso puede deberse a su propio estado o a causa del mal estado de edificios adyacentes.
2. Evaluar si las salidas de la edificación son seguras.
3. Observar las características naturales del terreno e inspeccionar el terreno circundante en busca de la posible presencia de grietas, asentamientos, deslizamientos, fallas de taludes cercanos o cualquier otra anomalía del terreno.
4. Caminar alrededor del edificio tanto como sea posible e inspeccionar cada elevación.

5. Rellenar el formulario con la identificación del edificio, la descripción de la estructura y con la evaluación de los daños que se indican.
6. Realizar la clasificación del edificio de acuerdo con los resultados de la evaluación.
7. Completar el aviso correspondiente y colocarlo en todas las entradas del edificio inspeccionado. Se deben tomar las medidas necesarias para restringir el acceso a las áreas designadas como áreas de uso restringido, ya sea con cintas de precaución o barreras.

## Etapa de evaluación detallada

Tras haber completado la evaluación rápida y de ser requerido se prosigue con la evaluación detallada. Debe asegurarse de que la entrada y pasillos del edificio son seguros. El procedimiento descrito a continuación se obtiene a raíz de la recopilación de información realizada a partir de las guías comparadas.

1. Evaluar la necesidad y oportunidad de entrar en el edificio. Para la toma de esta decisión, prevalecerán los criterios de seguridad para el personal involucrado en la inspección.
2. Entrar en el edificio cuando así se haya estimado como consecuencia del punto anterior.
3. Evaluar el sistema estructural desde el interior. Se debe analizar el grado de daño de los diferentes elementos estructurales de acuerdo con el tipo de sistema estructural y establecer el nivel de daño de los elementos afectados en el piso con mayores daños.
4. Examinar el sistema vertical de cargas. Verificar si las columnas muestran signos de falla o si el entrepiso o contrapiso ha empezado a alejarse de sus soportes verticales.
5. Examinar el sistema de carga lateral. Observar cualquier posible desplazamiento del piso.
6. Examinar la seguridad de elementos no estructurales como la posible caída de cielos rasos, paredes livianas, escaleras u otros elementos que atenten contra la vida de los habitantes.

7. Completar el formulario con la identificación del edificio, la descripción de la estructura y con la evaluación de los daños que se indican.
8. Realizar la clasificación del edificio de acuerdo con los resultados de la evaluación.
9. Completar el aviso correspondiente y colocarlo en todas las entradas del edificio inspeccionado. Se deben tomar las medidas necesarias para restringir el acceso a las áreas designadas como áreas de uso restringido, ya sea con cintas de precaución o barreras.

## Procedimiento para completar el formulario

El procedimiento general para completar el formulario se describe a continuación:

1. Ingresar la fecha y hora de la evaluación.
2. Ingresar nombre del inspector a cargo y su identificación como miembro del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. Si más de una persona está completando el formulario, debe indicar sus nombres.
3. Identificar el edificio con el nombre y dirección.
4. Ingresar los datos del contacto del edificio sea el propietario, gerente o un ocupante. Esta será la persona a quien se debe informar sobre los resultados de la evaluación.

5. Ingresar los detalles de la descripción del edificio.
6. Ingresar cualquier riesgo externo, refiriéndose al estado general del edificio y características del terreno. Agregar una breve descripción si se observan riesgos distintos a los mencionados en el formulario. Si el riesgo planteado se debe a un edificio vecino, identificar el edificio.
7. Ingresar las condiciones preexistentes que caracterizan el edificio.
8. Ingresar el daño estructural observado. Para cada fila marque el grado de daño determinado.
9. Marcar el nivel daño en los elementos no estructurales.
10. Recomendar cualquier acción adicional que deba ser emprendida.
11. Especificar si es necesaria la delimitación del lugar con cintas preventivas.
12. Definir la clasificación del edificio.
13. Utilizar el espacio para comentarios adicionales.
14. Realizar un esquema que muestre la ubicación del edificio y las partes dañadas del edificio.

# Resultados

En algunos países con actividad sísmica se han elaborado formularios o fichas para la evaluación rápida de los daños en edificaciones después de un sismo. A partir de las guías internacionales analizadas, fue posible realizar una comparación entre ellas, con el fin de plantear una propuesta completa y adaptada a las condiciones del país.

A continuación, se presenta un resumen de las metodologías de evaluación de daños utilizadas en otros países y sus respectivos instrumentos de recolección de información. Además, los resultados de la comparación, se muestran en el Cuadro 1 del Apéndice A. En este se incluyen los aspectos evaluados en cada propuesta, como por ejemplo, las condiciones generales de la estructura, comparando aspectos de identificación del edificio como como la dirección, el número de pisos, el uso, la edad y el área del edificio para la clasificación del tipo de edificio el sistema y material de la estructura, tipo de cimentación, etc.

Del mismo modo, dichas guías proponen la evaluación de parámetros que impliquen riesgos geotécnicos, el daño de los elementos estructurales y de los elementos no estructurales.

La guía está conformada por dos partes, la evaluación rápida y la evaluación detallada, no obstante, es un único formulario. El resultado final de este formulario se adjunta en el Apéndice C, y está dividido en catorce secciones, como sigue:

1. Identificación del inspector
2. Identificación de la edificación
3. Descripción de la edificación
4. Terreno y cimentación
5. Estado de la edificación
6. Clasificación de la habitabilidad
7. Condiciones preexistentes
8. Daños en elementos estructurales.
9. Daños en elementos no estructurales.
10. Clasificación de la habitabilidad.
11. Recomendaciones.
12. Comentarios

13. Esquema

14. Entrega del formulario

Además, se realizó una lista para la verificación del equipo requerido durante una evaluación. Esta se incluye al final del formulario de inspección. Para lograr un listado completo, se compararon los elementos sugeridos en algunas guías existentes. Puede consultar el Cuadro 2 del Apéndice B.

El veredicto de la inspección debe especificarse mediante la colocación de las placas de habitabilidad, según la edificación sea habitable, de uso restringido o no habitable. El siguiente cuadro muestra los tres estados establecidos y su descripción de riesgos respectiva.

<b>CUADRO 4. SISTEMA DE CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD</b>	
<b>Categoría</b>	<b>Descripción de riesgos</b>
Habitable	La ocupación del edificio es permitida, y no existen restricciones de uso.
Uso restringido	<p>Caso 1: la ocupación legal del edificio es restringida en zonas debidamente señalizadas. El uso está condicionado a la remoción o reparación de elementos con peligro de caerse, y a la reparación de daños estructurales.</p> <p>Caso 2: Hay una disminución significativa en la capacidad para resistir cargas, o bien existen daños importantes en elementos arquitectónicos. No se permitirá el uso continuo, ni entrada al público, únicamente se permite la entrada autorizada con fines de emergencia.</p>
No habitable	La entrada al edificio es terminantemente prohibida, no se puede usar en ninguna de sus partes.

Las figuras 35, 36 y 37 ejemplifican las placas o etiquetas de aviso, más al final del Apéndice C se muestra el diseño de dichas placas, las cuales consisten en una adaptación del sistema ATC-20 y la guía “Field Guide: rapid post disaster” de Nueva Zelanda.

**HABITABLE**

**OCUPACIÓN PERMITIDA**

Esta estructura ha sido inspeccionada y no se encontraron riesgos aparentes para la integridad física de sus ocupantes. Los daños estructurales no comprometen la estabilidad de la edificación. Sin embargo,

- Esto no quiere decir que el edificio no tenga daños.
- Esto no quiere decir que el edificio sea completamente seguro.

*Réplicas posteriores a la inspección pueden incrementar el daño y el riesgo. Informar a las autoridades sobre cualquier condición insegura detectada para una posible reinspección.*

Nombre y dirección del edificio: \_\_\_\_\_

Persona(s) encargada(s) de la inspección: \_\_\_\_\_ Fecha de inspección: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Hora de inspección: \_\_\_\_\_

**PROHIBIDO REMOVER, ALTERAR O CUBRIR ESTE DOCUMENTO**

Figura 35. Etiqueta “Habitable”

**USO RESTRINGIDO**

**ENTRADA LIMITADA**

Esta estructura ha sido inspeccionada y pueden existir condiciones peligrosas que atenten la integridad física de sus ocupantes.

Únicamente entrada a zonas permitidas por las autoridades.

No se permite el uso continuo. Entrada autorizada solo con fines de emergencia.

*Réplicas posteriores a la inspección pueden incrementar el daño y el riesgo. Informar a las autoridades sobre cualquier condición insegura detectada para una posible reinspección.*

Nombre y dirección del edificio: \_\_\_\_\_

Persona(s) encargada(s) de la inspección: \_\_\_\_\_ Fecha de inspección: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Hora de inspección: \_\_\_\_\_

**PROHIBIDO REMOVER, ALTERAR O CUBRIR ESTE DOCUMENTO**

Figura 36. Etiqueta “Uso Restringido”

**NO HABITABLE**

**ACCESO PROHIBIDO**

Esta estructura ha sido inspeccionada y existen daños de gran magnitud y riesgo de colapso. Se encuentra en peligro la integridad física de sus ocupantes.

- No se permite el ingreso bajo ninguna circunstancia, excepto a personal calificado.

*Réplicas posteriores a la inspección pueden incrementar el daño y el riesgo. Informar a las autoridades sobre cualquier condición insegura detectada para una posible reinspección.*

Nombre y dirección del edificio: \_\_\_\_\_

Persona(s) encargada(s) de la inspección: \_\_\_\_\_ Fecha de inspección: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Hora de inspección: \_\_\_\_\_

**PROHIBIDO REMOVER, ALTERAR O CUBRIR ESTE DOCUMENTO**

Figura 37. Etiqueta “No Habitable”

Por otro lado, se generó el Manual de campo para la evaluación post-sismo, expuesto en el Apéndice D. En él se explican los criterios específicos para completar los campos del formulario. También, se expresa la gravedad del daño para las cinco categorías descritas y facilitar la clasificación de los daños.

Asimismo, en el Apéndice E se presenta la guía realizada sobre las tipologías de fallas comunes en los elementos estructurales de acuerdo al sistema constructivo al que pertenezcan. Es decir, se consideraron fundamentalmente los sistemas tipo marco, tipo muro y duales; ya sean construidos en concreto, mampostería o acero. Representa un resumen de cómo distinguir el modo de comportamiento particular mediante la observación del daño, y se hace una descripción del daño típico del componente específico, lo cual será útil al evaluar los daños en la Sección 8 del formulario de inspección. Se consideraron principalmente las vigas, columnas, paredes y uniones.

Cómo última etapa del proyecto, la guía propuesta fue aplicada a dos edificaciones diferentes, el Edificio CIVCO y el Edificio A, cuyos resultados se muestran en los Apéndices F y G.

## Evaluación del daño en el Edificio CIVCO

Inicialmente, se realizó la inspección visual exterior del Edificio CIVCO, a partir de lo cual se observó lo siguiente:

<b>CUADRO 6. DAÑOS EN LA FACHADA DEL EDIFICIO CIVCO</b>	
<b>Pared</b>	<b>Descripción del daño</b>
Frontal	Grietas menores a 0,1 mm con inclinaciones de 30° aprox. Grietas a 45° entre 0,1 y 0,3 mm.
Lateral derecho	Grietas 0,5 mm a 30° de inclinación. Leves desprendimientos de concreto en columnas.
Lateral izquierdo	Grietas entre 0,1 y 0,2 mm. Columna con varilla expuesta. Separación y desplazamiento de la tubería bajante.
Posterior	Grietas de entre 1,4 y 2,0 mm. Cimentación expuesta.



**Figura 38.** Entrada principal del edificio CIVCO



**Figura 41.** Lado posterior del edificio CIVCO



**Figura 39.** Costado derecho del edificio CIVCO



**Figura 42.** Agrietamiento en muro exterior del lado posterior del edificio CIVCO



**Figura 40.** Costado izquierdo del edificio CIVCO



**Figura 43.** Separación de bajantes



Figura 44. Separación de bajantes



Figura 45. Separación de bajantes

## Primer Nivel

Una vez inspeccionado el exterior de la estructura, se procedió a la evaluación visual del primer nivel.

El Cuadro 6 muestra los daños observados en columnas.

<b>CUADRO 6. DAÑOS EN LAS COLUMNAS DEL PRIMER PISO DEL EDIFICIO CIVCO</b>	
<b>Columna</b>	<b>Descripción del daño</b>
1C, 2C, 3C, 4C, 5C, 6C, 7C, 8C, 9C, 11C, 12C, 13C, 14C, 15C	Grietas horizontales menores a 0,1 mm
10C	Grietas más visibles y en mayor cantidad.

El Cuadro 7 describe los daños en las vigas de los ejes B y C del primer nivel.

<b>CUADRO 7. DAÑOS EN LAS VIGAS DEL PRIMER PISO DEL EDIFICIO CIVCO</b>	
<b>Viga</b>	<b>Descripción del daño</b>
Norte-Sur	Grietas repetitivas verticales o inclinadas. Algunas continúan en la losa. Otras presentan leve exposición de los aros de refuerzo.

Las siguientes imágenes ilustran los patrones de agrietamiento observados en vigas y columnas.



Figura 46. Columna del primer nivel



**Figura 47.** Modo de agrietamiento leve en vigas del primer nivel



**Figura 48.** Modo de agrietamiento en vigas del primer nivel



**Figura 49.** Unión viga-columna

## Segundo Nivel

Prosiguiendo con el nivel superior, las columnas observadas fueron aquellas ubicadas en el pasillo principal, en la dirección este-oeste, asimismo las vigas. Con respecto a lo visto en vigas y columnas del segundo nivel, se resume lo siguiente en los Cuadros 8 y 9.

<b>CUADRO 8. DAÑOS EN LAS COLUMNAS DEL SEGUNDO PISO DEL EDIFICIO CIVCO</b>	
<b>Columna</b>	<b>Descripción del daño</b>
1C, 2C, 3C, 4C, 7C, 9C, 13C, 14C, 15C	Grietas horizontales menores a 0,1 mm
8C	Grietas horizontales menores a 0,1 mm. Algunas con inclinaciones de 30° aproximadamente.
6C	Mayor cantidad de grietas menores a 0,1 mm.
5C, 11C, 12C	Grietas menores a 0,1 mm. Muy leve desprendimiento de concreto.

<b>CUADRO 9. DAÑOS EN LAS VIGAS DEL SEGUNDO PISO DEL EDIFICIO CIVCO</b>	
<b>Viga</b>	<b>Descripción del daño</b>
Este-Oeste	Grietas verticales o en forma de "Y". Patrón muy repetitivo.

Las siguientes imágenes ilustran los patrones de agrietamiento observados en vigas y columnas.



**Figura 50.** Grietas en columnas del segundo piso

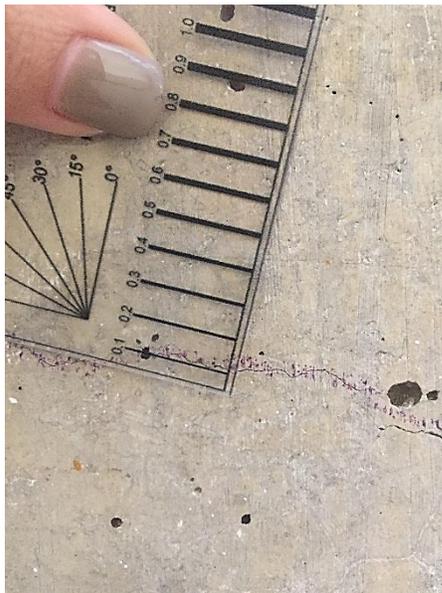


**a)**



**b)**

**Figura 52.** Grietas en vigas del segundo piso



**Figura 51.** Ancho de grieta en columnas



**Figura 53.** Unión columna-muro



Figura 54. Desplazamiento en módulo de elevador

## Sótano

Por último, se inspeccionó el nivel subterráneo. Respecto a las columnas ubicadas en el sótano, se observó que la mayoría de las grietas tienen anchos menores a 0,1 mm. En el Cuadro 10 se resumen los aspectos observados en las columnas del pasillo principal del sótano.

<b>CUADRO 10. DAÑOS EN LAS COLUMNAS DEL SÓTANO DEL EDIFICIO CIVCO</b>	
Columna	Descripción del daño
1C, 2C, 3C, 4C, 5C, 6C, 7C, 8C, 9C, 10C, 11C, 12C, 13C	Grietas horizontales menores a 0,1 mm.

Ahora bien, el Cuadro 11, describe las características de daño que fueron posibles observar en las vigas con orientación norte-sur.

<b>CUADRO 11. DAÑOS EN LAS VIGAS DEL SÓTANO DEL EDIFICIO CIVCO</b>	
Viga	Descripción del daño
3CB, 4CB, 13CB, 14CB	Grietas verticales. Patrón muy repetitivo.

5CB, 6CB, 8CB	Grietas verticales e inclinadas. Las grietas se proyectan en el entrepiso.
1CB, 2CB	Manchas de corrosión.

En el caso del sótano, los muros presentaban agrietamiento visible y en algunos casos se observaron indicios de corrosión; por lo que la información recopilada se muestra en el cuadro 12.

<b>CUADRO 12. DAÑOS EN LOS MUROS DEL SÓTANO DEL EDIFICIO CIVCO</b>	
Muro	Descripción del daño
Eje 14-15 y Eje B	Grietas de 0,1 mm
Eje 13-14 y Eje B	Grietas transversales de 0,6 mm. Grietas verticales en la parte superior.
Eje A-B y Eje 13	Grietas verticales entre 0,3 y 0,7 mm.
Eje 7-13 y Eje A; Eje 3-8 y Eje C; Eje 10-15 y Eje C	Grietas verticales entre 0,3 y 0,6 mm.
Eje C-D y Eje 10	Grietas horizontales de 0,3 mm.
Eje 1-3 y Eje C; Eje A-C y Eje 1	Grietas entre 0,3 y 0,6 mm. Manchas de corrosión.

Las siguientes figuras ejemplifican los daños descritos anteriormente.



Figura 55. Grietas en muro del eje CD y eje 10



Figura 58. Signos de corrosión en muro del eje C



Figura 56. Agrietamiento en unión viga-entrepiso



Figura 57. Grietas en muro del eje AB y eje 1

## Evaluación del daño en el Edificio A

### Condición histórica

En el edificio A la guía fue completada con la información proveniente del informe realizado por el Ing. Miguel Cruz, recreando un escenario histórico. Se definió que el entrepiso crítico o aquel que se creía especialmente afectado era el segundo piso.

Mayoritariamente, los daños registrados son los correspondientes a los elementos verticales, por lo que fueron los únicos elementos tomados en cuenta en este caso. En ese entonces los daños observados por el ingeniero en las columnas del segundo piso del Edificio A se describen a continuación:

CUADRO 13. DAÑOS EN LAS COLUMNAS DEL SEGUNDO PISO DEL EDIFICIO A	
Columna	Descripción del daño
9B, 9D	Aplastamiento del concreto en la base. Reparación requerida.
4B, 4D	Aplastamiento del concreto. Mucho agrietamiento. Reparación mayor urgente.

3D	Aplastamiento del concreto en la base. Muchas grietas. Reparación mayor urgente.
3B, 3C, 5B	Aplastamiento del concreto a la altura media. Muchas grietas. Reparación mayor urgente.
4C, 9C	Grietas muy pequeñas en los extremos. No requiere reparación.

Fuente: Cruz (1992)

De lo anterior no se posee un registro fotográfico que ilustre lo descrito.

## Condición actual

La fachada principal de la edificación se muestra en la Figura 59.



**Figura 59.** Fachada principal del edificio A



**Figura 60.** Deterioro en vigas y columnas en la zona de escaleras



**Figura 61.** Zona de escaleras primer piso



**Figura 62.** Zona de escaleras segundo piso



**Figura 63.** Zona de escaleras tercer piso

# Análisis de los resultados

La evaluación post-sísmica de edificaciones es un procedimiento visual que permite determinar el grado de daño en una estructura con el objetivo de salvaguardar a las personas que la ocupan. Surge la necesidad de investigar el avance del país en este ámbito y a su vez plantear un sistema concreto de evaluación de edificios en caso de sismo, de manera que se pueda actuar rápidamente.

En Costa Rica, tanto el Ministerio de Vivienda y Asentamientos Humanos como el Ministerio de Educación Pública, cuentan con sus propias guías dirigidas a la evaluación de viviendas y escuelas respectivamente. Estas guías pueden ser utilizadas en caso de cualquier tipo de desastre natural, aunque son muy extensas por lo que se considera poco efectivo a la hora de atender la emergencia.

En el año 2017 la Dirección de Proyectos Especiales (DAPE) de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) trabajó en el desarrollo de una guía evaluativa post-evento sísmico específicamente. En este caso, dicha guía va dirigida a la evaluación de centros de salud públicos, principalmente aquellos que pertenecen a la CCSS. De hecho, en su formato a pesar de analizar la parte estructural y arquitectónica, se otorga una sección enfatizada a la revisión de la parte electromecánica tomando en cuenta que el servicio eléctrico y el estado de las máquinas empleadas en hospitales es de suma importancia.

La guía fue formulada hace poco tiempo, por lo que aún está en proceso de aprobación y no ha sido publicada. Esta tampoco se ha podido poner en práctica; su formulario no ha sido utilizado en ninguna inspección post-sismo, por esta razón está sujeto a cambios y modificaciones de acuerdo a la experiencia en campo. Además, una de sus principales flaquezas es la falta de una revisión detallada del procedimiento propuesto para la inspección de estructuras de acero.

De las guías encontradas, esta última es la única dirigida especialmente a la atención de emergencias post-sismo, por esta razón es la única

tomada en cuenta en el análisis de contenido. Sin embargo, las otras guías sirvieron de especial referencia, destacando además la similitud entre las guías del MEP y de la CCSS. Ambas guías siguen el mismo patrón evaluativo y sugieren exactamente los mismos aspectos.

Al conocer los métodos de evaluación de edificaciones existentes en Costa Rica, fue posible determinar sus debilidades en virtud de proponer un procedimiento adecuado y mejorado.

La elaboración de la guía de evaluación estructural de edificaciones post-sismo surgió a raíz de un amplio estudio de metodologías propuestas en otros países. Se realizó una investigación meticulosa con el fin de comparar los aspectos considerados en cada propuesta internacional. Se debe reconocer que las guías son muy similares, aunque algunas más extensas que otras. No en todos los casos se consideran los mismos aspectos y otros pueden variar de acuerdo a las características constructivas propias de cada nación.

Cabe decir que incluso países más desarrollados como México y Estados Unidos han basado sus propuestas en otros trabajos existentes. Según Carreño et al (2005), los primeros trabajos realizados en Japón, sirvieron como base para los trabajos del ATC-20 en Estados Unidos, mientras que los trabajos de Yugoslavia y Japón fueron utilizados en México en la evaluación de los daños del sismo de 1985 y sirvieron como base junto con el ATC-20 para crear su propia versión.

Al pasar de los años, en estos países se han puesto a prueba sus metodologías, reconociendo sus deficiencias después de cada sismo. Por lo cual los documentos estudiados son recientes y confiables.

El Cuadro 1 del apéndice A compara las guías de Costa Rica, Colombia, México, Estados Unidos y Chile. Si bien es cierto en Japón se ha estudiado la evaluación post-sísmica de manera extensiva, no se valoró en el análisis puesto que se prefirió comparar solo aquellas de países en el

continente americano. No obstante, más adelante en el proceso se tomó como referencia su trabajo. En casi todos los casos a excepción de Chile, los procedimientos de evaluación de daños cuentan con diferentes etapas de desarrollo, estas son las evaluaciones rápidas, detalladas y de ingeniería.

Como puede observarse en tabla la metodología más completa es la utilizada en Colombia, seguida por la de México.

De hecho, Carreño, Cardona, & Barbat, (2005), concuerdan en el hecho de que el método desarrollado en Colombia se considera muy completo debido a que consiste en una propuesta para cuantificar los daños en términos de los tamaños de las grietas, tipos de falla y porcentaje de elementos afectados, tratando de garantizar la objetividad de la evaluación.

En todos los procedimientos de evaluación de edificios se coincide en que es indispensable identificar el nombre del edificio y su dirección exacta, entre otros criterios de localización. Definir aspectos relacionados con las características físicas también es común en las metodologías, entre ellos se pregunta el número de niveles, dimensiones, etc.

También, emplean aspectos relacionados con el uso de la edificación. En nuestro país, el Código Sísmico de Costa Rica clasifica las edificaciones en diferentes grupos según su grado de importancia y uso destinado del edificio. Estos son aspectos necesarios para entender su repercusión desde el punto de vista de atención de la emergencia o número de personas que ocupan la edificación, por ese motivo se incluyen en el formulario.

Adicionalmente, la mayoría de las guías piden el nombre y teléfono de una persona de contacto en caso de requerir una segunda visita o para informar que se debe llevar a cabo algún procedimiento de seguridad en el edificio.

Por otro lado, a excepción de Chile, todas las guías proponen cuestionar la existencia de problemas geotécnicos, es decir fallas en el suelo, erosión, deslizamiento, entre otros; visto que las condiciones circundantes afectan la estabilidad de la estructura y esto puede ser perjudicial a futuro.

Por otro lado, es evidente que todas las guías solicitan una clasificación de los daños estructurales y no estructurales de acuerdo a su magnitud. De igual modo, la totalidad de las guías piden recomendaciones, medidas de emergencia sugeridas y brindan un espacio para realizar anotaciones o esquemas.

Ahora bien, conocer el sistema estructural de la edificación que se desea evaluar es de suma importancia para comprender el porqué de los daños ocurridos, ya sean leves o muy graves. Los requisitos mínimos de resistencia, los límites de desplazamientos laterales y los componentes del sistema, varían para cada combinación estructural; y esto significa un comportamiento diferente, incitando distintos tipos de fallas en los elementos estructurales que lo conforman.

No todas las guías comparadas consideran lo anteriormente descrito, pero debido a la importancia explicada, en la guía que se propone en este trabajo, se incluye una sección en la cual es necesario precisar el sistema estructural. Lo mismo ocurre con el sistema de entrepiso, que también se incluyó en esta guía.

Las consideraciones del terreno son únicamente solicitadas en la metodología mexicana. Aunque esto no representa un factor determinante para la clasificación de la edificación, sí lo es para la comprensión de fallas ocurridas. La respuesta sísmica de edificaciones depende en gran medida de las vibraciones del suelo, por lo que en algunos casos edificios capaces de soportar un sismo desde el punto de vista estructural, llegan al colapso debido a las condiciones particulares del suelo. Por lo tanto, se requiere conocer aspectos como la topografía, el tipo de suelo y la forma en la que la base de la estructura fue anclada al suelo.

En Colombia y México las guías presentan una sección dedicada a las condiciones pre-existentes de la edificación, en donde evalúan aspectos como la calidad de la construcción, configuración en planta y en altura, entre otras. Se consideró importante que la guía propuesta también diera énfasis a estos aspectos puesto que se consideran fuentes de vulnerabilidad.

Bonnet (2003) define vulnerabilidad como la susceptibilidad de una edificación a sufrir daños estructurales ante la ocurrencia de un evento sísmico, asociada directamente al entorno, características geométricas, configuración estructural, sistema estructural, entre otros.

Siendo así, la evaluación del estado de una edificación existente es un factor determinante de su capacidad para soportar futuras réplicas del evento sísmico principal. Habiendo indagado este conjunto de detalles, se planteó la Guía de evaluación del impacto estructural post-sismo.

Si bien es cierto la guía permite concluir el estado del inmueble, no determina si es necesaria la

reconstrucción o reforzamiento para su uso a largo plazo o si requiere su demolición.

Como resultado final de la guía, se establece si una edificación es habitable, de uso restringido o inhabitable. Si luego de la inspección un edificio es declarado como habitable, no significa que pueda tener un comportamiento apto en caso de réplicas o sismos más intensos. Así como el hecho de enunciar una estructura inhabitable, no implica esencialmente su demolición. Mientras que un inmueble de uso restringido debe señalizarse adecuadamente e informar claramente a los ocupantes de la infraestructura las zonas que son permitidas.

Se consideró fundamental comprobar que la guía fuese entendible y fácil de completar y manejar. Para facilitar este proceso se creó también un manual que detalla o caracteriza cada uno de los parámetros contenidos en la metodología de evaluación para comprender su importancia, así como se explica el modo de llenado del formulario. En el manual se pueden encontrar cuadros informativos que indican al usuario cómo clasificar el daño de los elementos específicos, según sea nulo, leve, medio, alto o severo. Para cuando se realicen capacitaciones, será de suma importancia suministrar este documento a cada uno de los asistentes.

Por otro lado, se implementó la guía de evaluación y las herramientas propuestas, con el fin de garantizar un proceso ágil. Para calibrar la guía de evaluación de daños propuesta, se buscaron dos edificios previamente reportados con daños originados tras un movimiento sísmico. De este modo, se aplicó la guía paso por paso, certificando su eficacia o bien determinando aquellos aspectos que debían ser modificados con el fin de aumentar su factibilidad de uso.

Se eligió evaluar el edificio Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO), adjunto a la Escuela de Ingeniería en Construcción del Tecnológico de Costa Rica. A raíz del sismo del 5 de setiembre del 2012 se notaron ciertas fallas en la estructura.

En estados de emergencia se recomienda realizar la evaluación en el nivel que el inspector considere como más crítico. Sin embargo, para el análisis de este edificio, y con fines didácticos, se decidió aplicar la guía de manera individual en cada nivel, de modo que se pudiera ampliar la experiencia de evaluación y uso de la guía propuesta.

A partir de un levantamiento de los daños, la información obtenida fue útil para aplicar la

metodología de evaluación propuesta. Para llevar a cabo el levantamiento completo de los daños estructurales y no estructurales, se hizo la inspección visual correspondiente. Tras esta experiencia fue posible mejorar la versión de la guía para mayor facilidad y efectividad, cambiando el orden y sugiriendo un modelo más compacto, ya que un documento muy extenso complica su uso. Por ello se trató que en su mayoría las respuestas al formulario pudieran completarse marcando con una equis.

Con el modelo mejorado se procedió a evaluar el edificio al que se le denominó como Edificio A por peticiones de confidencialidad. Este fue dañado por el sismo del 22 de abril de 1991 y tuvo que ser rehabilitado en 1992. En ese entonces, se contactó al Ingeniero Miguel Cruz Azofeifa para que realizara una inspección estructural del edificio dada la preocupación del dueño debido a la magnitud de los daños ocasionados. Cabe mencionar que el edificio fue declarado con daño severo poniendo en riesgo la estabilidad de la estructura.

Al tener conocimiento sobre esto, se presta la oportunidad de plasmar un caso hipotético. A pesar de haber realizado una visita de reconocimiento del sitio, los daños observados no fueron tomados en cuenta para la evaluación de este edificio. Únicamente se tomó como base la información recabada y analizada por Cruz en 1991, instituyendo un escenario histórico.

Contando con un documento detallado que describe los daños reportados justo después del sismo que truncó el edificio en cuestión, se completaron las secciones propuestas en la metodología, el objetivo de lo anterior fue poder comparar el veredicto obtenido a partir los lineamientos de la guía con el veredicto del ingeniero según su criterio experto.

En ambos casos fue posible tener acceso a los planos constructivos, en donde se tiene información referente a la distribución arquitectónica y las dimensiones de cada elemento mencionado y la disposición del acero de refuerzo presente (vigas y columnas) para cada uno de los niveles de la estructura.

A continuación, se discuten los resultados obtenidos tras la aplicación de la guía formulada en el presente trabajo, a dos edificaciones diferentes, dando como respuesta una clasificación de habitabilidad.

# Evaluación del daño en el Edificio CIVCO

La evaluación respectiva fue realizada en dos días. El nivel de sótano fue evaluado el 25 de junio del 2018; el primer y segundo nivel fueron reconocidos el 28 de junio del 2018.

A continuación, se describen los resultados obtenidos. Los formularios respectivos a cada nivel pueden consultarse en los Apéndices F, G y H.

## Descripción general del edificio CIVCO

El edificio Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción (CIVCO) se ubica dentro del campus universitario del Tecnológico de Costa Rica en la provincia de Cartago. El edificio fue construido en el año 1990 como parte de las instalaciones pertenecientes a la Escuela de Ingeniería en Construcción. Su misión es contribuir al desarrollo integral del país fortaleciendo al sector construcción mediante la investigación.



**Figura 64.** Ubicación satelital del edificio CIVCO (GoogleMaps, 2018)

El terremoto del 5 de setiembre del 2012 ocurrió en las cercanías de Sámara en Guanacaste, con una magnitud de 7,6 Mw. De hecho, Linkimer y Soto (2012), reportan que en el Valle Central la sacudida fue fuerte y prolongada, lo que provocó algunos daños en mampostería de edificios y alarma general en la población.

A lo largo de la vida útil del edificio CIVCO se han generado fallas estructurales que pueden deberse a varios motivos. Sin embargo, tras este terremoto, se percibió el agravamiento de las grietas y fallas según observaciones de los ocupantes del edificio, más no es la causa principal. De igual modo, con el fin de validar la guía planteada, se realizó el estudio de este edificio.

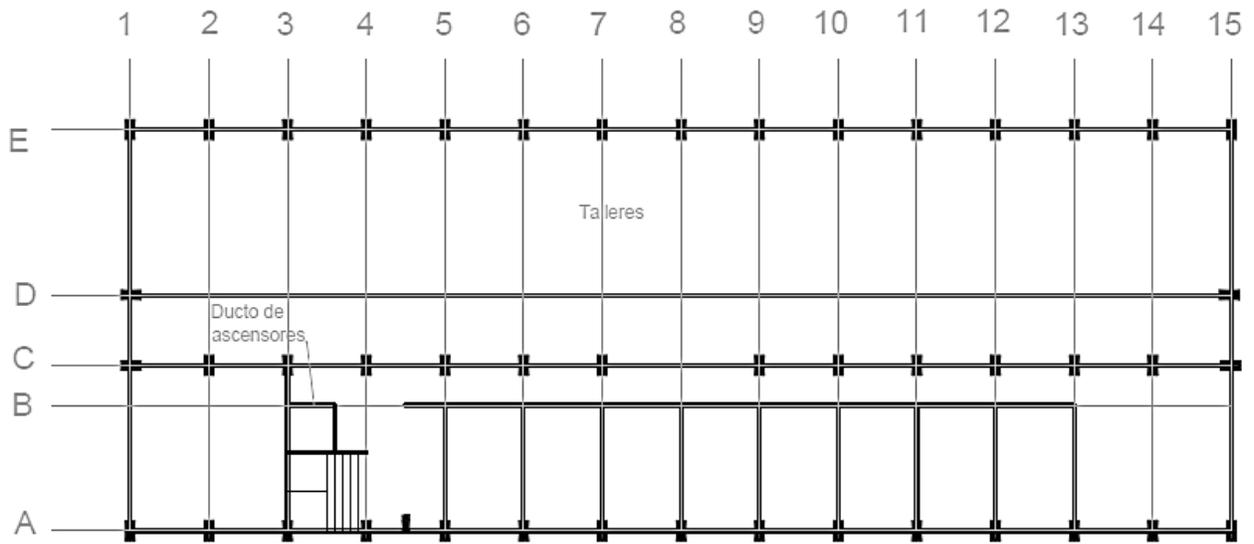
Cabe destacar que para el momento en el que edificio fue diseñado, ya regía la normativa o Código Sísmico de Costa Rica, por lo que el edificio en efecto fue construido bajo los criterios de una estructura sismo-resistente.

La ocupación del Centro de Investigaciones en Viviendo y Construcción es principalmente de oficinas para el profesorado, y un llamado piso fuerte en donde se realizan ensayos de laboratorio, por lo que es un edificio cuyo uso principal clasifica como educativo.

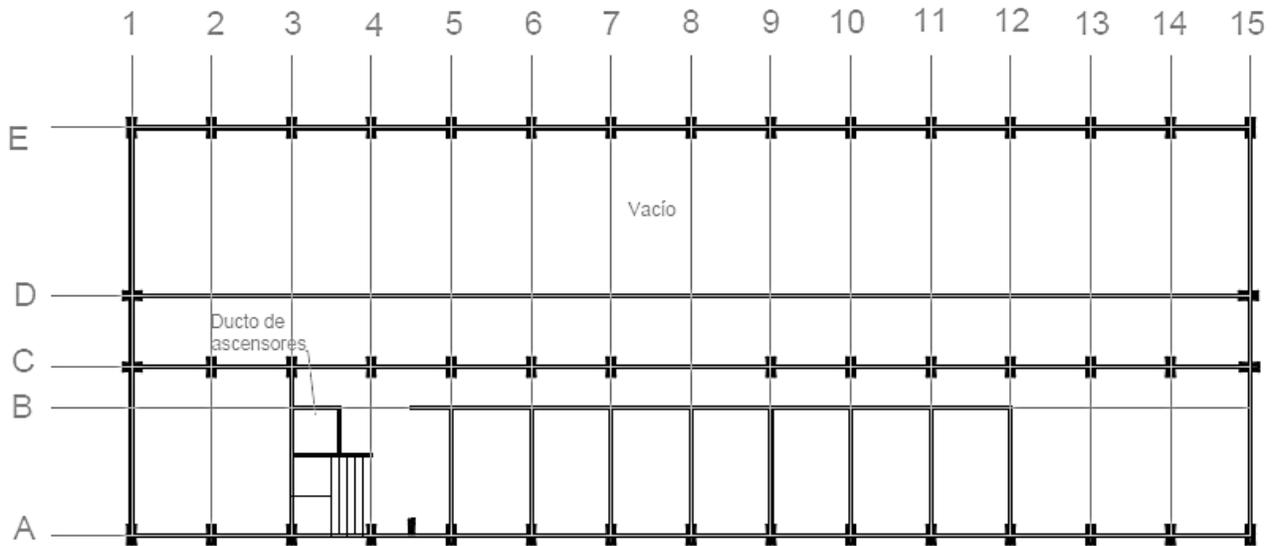
Las figuras 65, 66 y 67 representan un esquema de las vistas en planta del edificio. Sin embargo, el plano detallado de cada nivel se puede encontrar en los Anexos en caso de querer ser consultado. El edificio en cuestión consta de dos niveles por encima del nivel del terreno y un sótano. Este tiene aproximadamente 42,00 m de frente por 15,30 m de fondo; con una altura de entrepisos de 2,30 m.

Su sistema estructural es a base de marcos de concreto con paredes perimetrales de mampostería. Mientras que el sistema de entrepiso consiste en una losa monolítica. Por otro lado, la cimentación consiste en placas aisladas.

Se dice que el edificio se encuentra sobre una zona de terreno plano, en un suelo tipo S3, tratándose de suelo orgánico y arcillas expansivas, lo cual se asume a partir del estudio de suelos realizado en una zona cercana. En noviembre del 2017, el Laboratorio de Materiales Castro y De La Torre, realizó un informe del estudio geotécnico, en un terreno ubicado en Caballo Blanco, del cantón y provincia de Cartago, donde se proyecta la remodelación y ampliación del Edificio de Ciencias del Lenguaje del Instituto Tecnológico de Costa Rica, el cual se encuentra en la zona frente al edificio del CIVCO.



**Figura 65.** Esquema de planta primer nivel CIVCO



**Figura 66.** Esquema de planta segundo nivel CIVCO

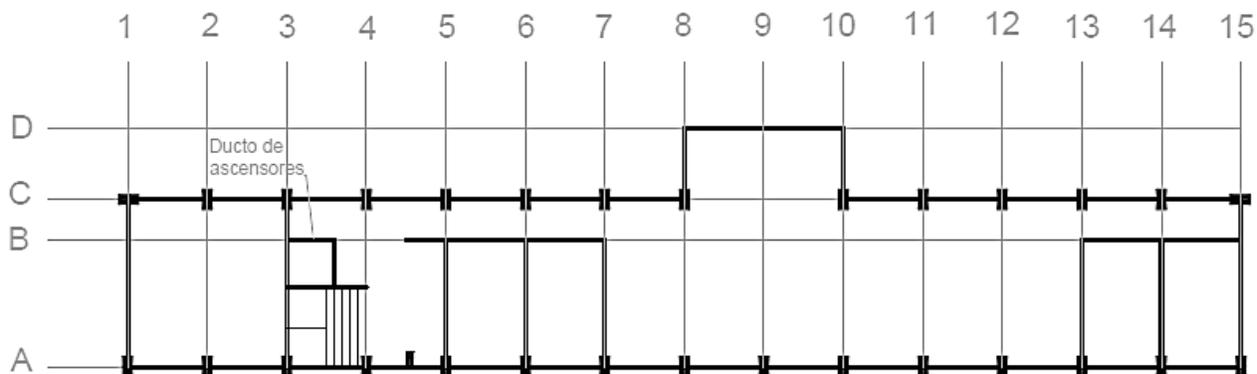


Figura 67. Esquema de planta nivel de sótano CIVCO

La evaluación del estado del daño de la edificación, se inicia con la evaluación del riesgo por inestabilidad global. Se pudo observar que el estado general de la edificación es bueno, pues no presenta ninguna de las patologías que se evalúan en la ficha. A partir de ello, se estima que el nivel de riesgo que los daños representan es bajo, con la ayuda de los Cuadros 6.1 y 6.2 (ver Apéndice D).

En cuanto a la sección de problemas geotécnicos; la edificación y sus alrededores no presentan evidencias de asentamientos ni agrietamientos, en los alrededores de la edificación no hay taludes y tampoco edificaciones inestables. Se determinó el riesgo por problemas geotécnicos con los Cuadros 6.3 y 6.4 (ver Apéndice D), y se tiene que el nivel correspondiente es bajo.

Conociendo que el nivel de riesgo por inestabilidad global y por problemas geotécnicos es bajo, se realizó la clasificación de habitabilidad. Según la sección 7 del Apéndice D, la clasificación de usabilidad que le corresponde al edificio, es habitable.

De este modo, se prosigue con las siguientes secciones de evaluación. La sección 6 recoge información sobre las condiciones preexistentes, las cuales no influyen en el dictamen del nivel de daño, pero resultan importantes al momento de investigar la manera en la que se comportó la edificación en el momento del sismo.

Sobre ello se tiene que la calidad de la construcción es buena pues no se observa caída del recubrimiento de concreto ni del repello de las paredes (Ver Cuadro 8.2 del Apéndice D). Es una edificación aislada por lo que no hay peligro de posibles daños a causa de estructuras colindantes. La configuración en planta es buena, así como la configuración en altura. Finalmente, la configuración estructural también clasifica como buena. Para lo

anterior puede consultar los Cuadro 8.3, 8.4 y 8.5 del Apéndice D.

Posteriormente, se inicia la evaluación estructural como tal, donde se revisan elementos principales como lo son columnas, vigas, nudos (o uniones) y losa de entresuelo.

Como se explicó al inicio, por motivos académicos, con el fin de ampliar la experiencia en campo, y de este modo replicar el uso del formulario, se aplicó la evaluación estructural a cada nivel de la edificación.

## Primer Nivel

Respecto al primer nivel de este edificio se tiene que cuenta con 49 columnas, 14 de las cuales pudieron revisarse extensamente mientras que las restantes fueron observadas desde la parte exterior.

La totalidad de las columnas presentaban grietas casi imperceptibles a simple vista con anchos aproximadamente de entre 0,1 mm y 0,2 mm sobre la superficie del concreto. La columna 10C fue en la que se observaron mayor cantidad de grietas.

En la zona del piso fuerte se observó que las columnas presentaban agrietamientos menores a 0,1 mm, pero era posible observar entre 5 y 12 grietas transversales seguidas.

El patrón de agrietamiento observado era horizontal y principalmente en los extremos, ocasionalmente atravesaba el ancho de la columna. Debido a la tipología de grieta se define como falla por los efectos de flexión. Según el Cuadro 9.2 (Apéndice D) le corresponde un nivel de daño muy leve con un porcentaje de 28,5% y 2,1% de daño leve.

En cuanto a las vigas, la ubicación de las grietas era en la cara superior de las vigas. En este caso la mayoría de las fisuras tenían dirección inclinada, aunque algunas eran verticales. Estas pueden ser consideradas como grietas de tensión, aparecen en la parte inferior de las vigas y se propagan verticalmente y muy cerca del nivel del plano neutro.

Existía un patrón muy repetitivo entre ellas y fue posible observar que la grieta continuaba en el contrapiso. Cada una de estas grietas poseía un ancho de entre 0,1 mm a 1,0 mm aproximadamente; a diferencia del caso de las columnas, el daño puede ser considerado leve en un 32,6%.

Por otro lado, las uniones del tipo viga-columna, presentaron grietas que también se debían a los esfuerzos de tensión y se extendían hasta casi el centro de la viga, aunque simple vista era difícil observar el daño.

Luego de observar los diferentes porcentajes para cada elemento según la severidad del daño, se determinó de acuerdo con el Cuadro 9.24 que el nivel del riesgo estructural que estos daños representan es medio. Lo cual significa que el peligro es puntual por daños en ciertos elementos estructurales, pero no reducen su capacidad global de resistencia ni ponen en peligro la estabilidad de la estructura.

Posteriormente, se describe la evaluación hecha de una manera general a cada uno de los elementos no estructurales considerados en el formulario. Las divisiones internas de las oficinas del edificio son paredes livianas sin agrietamiento o daño visible. De acuerdo con el Cuadro 10.2 (Apéndice D) el nivel de daño es muy leve. En cuanto a los cielos rasos y lámparas de iluminación no existe daño aparente, por lo que el nivel de daño también es muy leve de acuerdo con el Cuadro 10.3 (Apéndice D).

La cubierta del techo no presentó caída de láminas y ningún daño considerable a simple vista. Entonces según el Cuadro 10.4 (Apéndice D) no hay ningún nivel de daño.

El daño que presentan las escaleras que conectan el primer con el segundo nivel, presentaron agrietamientos del concreto en la parte posterior con anchos inferiores a 0,2 mm, lo cual significa que el daño no es significativo y se considera leve, de acuerdo con el Cuadro 10.5 (Apéndice D)

Por último, las instalaciones eléctricas e hidráulicas no tenían ningún tipo de daño, a excepción de las tuberías bajantes las cuales se encontraban desprendidas de la pared (Véase Figura 43). Entre

otras observaciones, se ve que los bajantes perdieron su verticalidad. Del mismo modo, el Cuadro 10.7 (Apéndice D) especifica que el daño puede considerarse leve.

Así con ayuda del Cuadro 10.8 (Apéndice D), se puede concluir que el nivel de riesgo por daño no estructural es bajo.

De tal manera, la clasificación de habitabilidad de acuerdo a la inspección del primer nivel, se considera de uso restringido.

## Segundo Nivel

Ahora bien, se procede con los resultados del segundo nivel, en donde se explican las secciones 8 y 9 del formulario puesto que las anteriores corresponden a los mismos criterios del primer nivel.

Al ser una estructura regular en planta, se tiene que el segundo nivel también cuenta con 49 columnas, en donde 14 fueron revisadas ampliamente. El patrón de agrietamiento demostró ser muy repetitivo respecto al observado en el primer nivel. Todas las columnas presentaban grietas muy angostas con anchos menores a 0,1 mm sobre la superficie del concreto. La columna 6C fue en la que se observó mayor cantidad de grietas. Las grietas observadas eran horizontales, y atravesaban el ancho de la columna. Estas grietas pudieron ser a causa de las fuerzas de flexión.

En algunos casos, como las columnas 5C, 11C y 12C, se observó pequeños y muy leves desprendimientos de concreto, pero no se cree que tenga ninguna implicación estructural sino un simple deterioro del material constructivo.

Sin embargo, en todos los casos el daño puede considerarse leve según el Cuadro 9.2 (Apéndice D), y a este le corresponde 28,5% de la totalidad de columnas.

El resto de columnas no pudieron ser examinadas debido a la dificultad para acceder a ellas ya que las oficinas estaban cerradas al momento de la inspección. Mientras que las columnas del eje E se encontraban a gran altura y a pesar de observar a través de los binoculares, no era posible determinar la presencia de grietas, por lo que se consideran imperceptibles.

Las vigas que atraviesan en el eje C (32,5% del total) presentaban agrietamientos en dirección vertical, con distancias cortas entre una grieta y la otra. Se aprecian en la parte inferior de las vigas y estas evolucionan casi verticalmente.

Las grietas representaban un patrón repetitivo, cabe mencionar que del otro lado de la viga existen unas ménsulas que sostienen un sistema; es posible que el agrietamiento se incremente por las fuerzas de tensión que ejerce y no necesariamente por causa del sismo, es decir son causadas por el exceso de carga en el elemento.

En algunos casos, era posible observar que la grieta coincidía con la presencia del acero de refuerzo en ese punto.

Por otro lado, también se observó que había formación de grietas en la unión de las columnas con las paredes, probablemente debido a juntas débiles de mortero.

Se determinó de acuerdo al Cuadro 9.24 que el nivel del riesgo estructural que estos daños representan es medio.

Seguidamente, se describe la evaluación hecha a los elementos no estructurales. Las divisiones internas de las oficinas del edificio son paredes livianas en donde se hace evidente su buen estado pues no presentan agrietamiento o daño visible. De acuerdo con el Cuadro 10.2 (Apéndice D) el nivel de daño es muy leve. En cuanto a los cielos rasos y las lámparas de iluminación en la zona de los cubículos no existe daño aparente, por lo que nivel de daño también es muy leve de acuerdo con el Cuadro 10.3 (Apéndice D).

La cubierta del techo ya fue clasificada anteriormente como nivel de daño muy leve o sin daño. La zona de escaleras se vio afectada en este caso con grietas horizontales de 0,2 mm, por lo que el daño también es nulo o muy leve. Por último, las instalaciones eléctricas e hidráulicas no tenían ningún tipo de daño, del mismo modo, el Cuadro 10.7 (Apéndice D) especifica que el daño puede considerarse nulo o muy leve.

Cabe destacar el daño notorio en el elevador con anchos de grieta de entre 0,2 mm y 0,4 mm, lo cual significa que el daño es leve. Además, se observó caída del recubrimiento de concreto. No obstante, el elevador es un módulo aparte al sistema estructural, aunque tiene una deriva de desplazamiento de aproximadamente 5,0 cm. Puede verse la Figura 54.

De este modo, con ayuda del Cuadro 10.8 (Apéndice D), se puede concluir que el nivel de riesgo por daño no estructural es bajo.

Entonces la clasificación de habitabilidad de acuerdo a la inspección del segundo nivel, se considera de uso restringido.

## Sótano

En lo que respecta al sótano, se puede decir que es el nivel con mayor daño. Al igual que en el caso del nivel dos, se evalúa a partir de las secciones 8 y 9.

Se cuenta con 30 columnas, en donde 13 fueron revisadas mientras que a las restantes no se tuvo acceso para verificarlas, pues se encontraban tapadas por muebles o bien las bodegas estaban cerradas.

El patrón de agrietamiento demostró ser muy repetitivo respecto al observado en el primer nivel. Todas las columnas presentaban grietas muy angostas con anchos menores a 0,1 mm sobre la superficie del concreto. Las grietas observadas eran horizontales, atravesando el ancho de la columna, estas grietas pudieron ser a causa de las fuerzas de flexión. Según el Cuadro 9.2 (Apéndice D) le corresponde un nivel de daño muy leve con un porcentaje de 43,3%.

Se encuentran agrietamientos verticales en la mayoría de las vigas con achos entre 0,1 y 0,2 mm. Se examinaron 10 vigas entre los ejes C y B. Asimismo, se apreciaron extensos agrietamientos al nivel de la unión viga-entrepiso como se ilustra en la Figura 50, con características de fisuras verticales o inclinadas.

Algunas vigas como la 1CB y 2CB, presentaban manchas rojizas, implicando indicios de corrosión de las barras de refuerzo. Lo cual puede ser por escasez de recubrimiento, o por falta de capacidad de protección del concreto. De hecho, en los muros fue mucho más apreciable este efecto (Ver Figura 52). Las fisuras aparecen de manera longitudinal a las barras de acero, así como cierto grado de degradación y desprendimiento de recubrimientos, evidenciando importantes afectaciones en el muro de concreto.

Cabe destacar que, al corroborar los planos, este muro no pertenece al sistema sismo-resistente y que inicialmente las fallas que se observan están asociadas a un cortante inducido por movimientos sísmicos, sin embargo, el aumento de los daños es debido a la corrosión.

El deterioro de los materiales constituyentes del muro puede deberse a la presencia de humedad procedente de precipitaciones o presencia de agua por nivel freático. De manera, la humedad penetra los poros del concreto hasta llegar al acero de refuerzo, provocando la formación de óxidos hasta formar una capa sobre la armadura de refuerzo, al aumentar genera tensiones, lo cual hace que el

acero pierda sus propiedades mecánicas, esto conduce a la pérdida de adherencia entre el acero y el concreto, por lo que la integridad de la estructura se ve afectada; el recubrimiento se romper y forma la grieta.

Sin embargo, para determinar de manera adecuada estas patologías, es necesario un estudio especializado que permita explicar este fenómeno.

El muro entre los ejes 2 y 3 presenta grietas horizontales atravesando la longitud del muro con anchos máximos de 0,6 mm y grietas verticales más angostas pero repetitivas en la parte superior.

Otro de los muros muestra un agrietamiento vertical con anchos de entre 0,3 mm y 0,7 mm; mientras que el resto de los muros exhiben múltiples fisuras con anchos de 0,1 mm en dirección vertical. Al ser grietas tan angostas en todos los casos, el riesgo es muy leve según los cuadros de clasificación.

Se estableció de acuerdo con el Cuadro 9.24 que el nivel del riesgo estructural que estos daños representan es medio.

Ahora se describe la evaluación hecha a los elementos no estructurales. Las paredes livianas se encuentran en buen estado pues no presentan agrietamiento o daño visible. De acuerdo con el Cuadro 10.2 (Apéndice D) el nivel de daño es muy leve.

En cuanto a los cielos rasos e iluminación no existe daño aparente, por lo que nivel de daño también es muy leve de acuerdo con el Cuadro 10.3 (Apéndice D).

La zona de escaleras se vio afectada en este caso con grietas horizontales de 0,2 mm, por lo que el daño también es nulo o muy leve. Por último, en cuanto a las instalaciones eléctricas e hidráulicas se encontró que los bajantes estaban desprendidos de las columnas y había un desplazamiento respecto a su eje. El Cuadro 10.7 (Apéndice D) especifica que el daño puede considerarse leve.

Finalmente, con ayuda del Cuadro 10.8 (Apéndice D), se puede concluir que el nivel de riesgo por daño no estructural es bajo ya que los daños son muy puntuales y no ofrecen peligro para la integridad de las personas.

A partir de los resultados de la evaluación del sótano como entrepiso crítico, se define que el Edificio CIVCO es de uso restringido.

## Clasificación de habitabilidad

A pesar de que los daños en su mayoría clasifican como leves, dados los resultados de los tres niveles estudiados, se concluye que efectivamente el estado del edificio es de uso restringido. De acuerdo con la clasificación propuesta, lo anterior indica que se deben realizar los reforzamientos y reparaciones pertinentes para que el edificio pueda continuar en uso de manera segura, ya que los daños podrían propagarse a través del tiempo, sobretodo en caso de futuros sismos debe estarse preparado. Sin embargo, esto no significa que sus ocupantes se encuentren en peligro inmediato, es una llamada de alerta para prestar mayor atención a los daños existentes por lo que se recomienda una inspección estructural especializada que permita explicar las fallas del edificio; y a nivel del sótano principalmente, tomar medidas preventivas ante los efectos de corrosión que están generando daño.

Por otro lado, a partir de la experiencia de evaluación del Edificio CIVCO, se determinaron algunas deficiencias en el formato del formulario de inspección. Por ejemplo, la falta de una sección que determine el tipo entrepiso de la edificación y una clasificación adecuada de los tipos de cimentación comunes.

Se propone además establecer los daños más comunes en los elementos estructurales, de modo que se pueda caracterizar rápidamente lo observado en campo, lo cual se agrega a la Sección 8, e indicando específicamente el entrepiso crítico que se debe evaluar.

Habiendo modificado el formulario de inspección en aras de mejorar el procedimiento, se evalúa un segundo inmueble para validar y calibrar la nueva versión.

## Evaluación del daño en el Edificio A

El día 18 de julio del 2018 se realizó una visita de reconocimiento del lugar, se recorrieron todos los niveles de la edificación, observando los daños más visibles y reconociendo otras características necesarias para la identificación del edificio.

Como se mencionó anteriormente, en esta ocasión, se tomó la información sobre el daño

estructural del informe realizado por el Ing. Miguel Cruz, con el fin de recrear la escena y completar el formulario de evaluación a partir de los datos recopilados inmediatamente después del sismo. De este modo, se consideró un caso hipotético que permitiera concluir el estado del edificio tras ocurrido el sismo. No obstante, se incluyeron también aspectos observados en la visita actual al sitio.

Para este caso se determinó que el entrepiso más crítico correspondía al segundo nivel, por lo que se aplicó la guía a dicho nivel únicamente. El formulario completo puede consultarse en el Apéndice I.

## Descripción General del Edificio A

El edificio A se ubica en el centro de la provincia de San José, específicamente en el Barrio La California. El edificio fue construido en el año 1969 bajo un diseño de marco aperturado. Cabe destacar que para la época aún no se había establecido el Código Sísmico de Costa Rica, por lo que no se garantiza que el diseño fuese realizado bajo requerimientos sismo-resistentes adecuados.

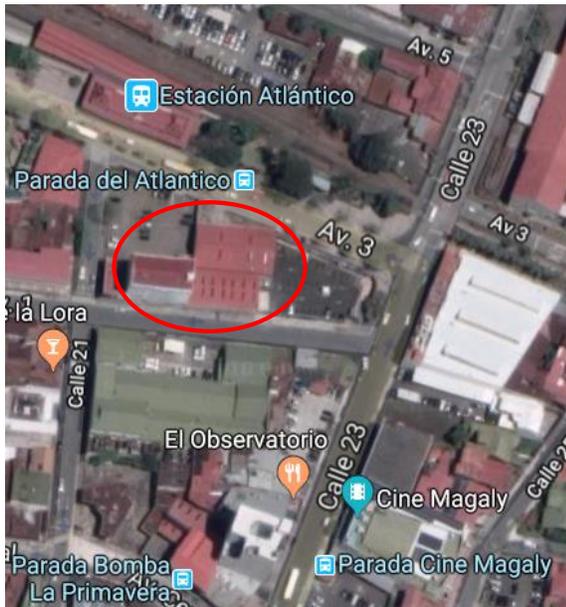


Figura 68. Ubicación satelital del edificio A (GoogleMaps, 2018)

El 22 de abril de 1991, ocurrió un evento sísmico con epicentro en el suroeste de la provincia de Limón y que fue percibido en todo el territorio

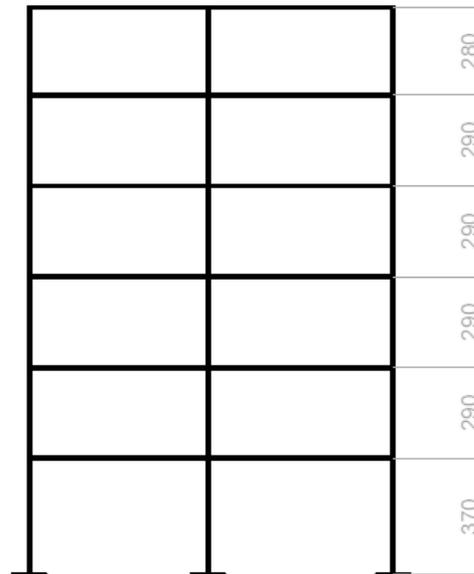
nacional. El sismo tuvo una magnitud de 7,7 Mw en la escala de Richter y una intensidad registrada de VI en la provincia de San José; por sus desastrosas consecuencias principalmente en la zona atlántica, fue calificado como terremoto, aseguró Rosales (1991). A raíz de esa situación el edificio en cuestión presentó severos daños por lo que tuvo una rehabilitación estructural en el año 1992.

El edificio A trata de un edificio esquinero diseñado en su momento para uso de oficinas administrativas de una empresa privada. Actualmente se mantiene una ocupación destinada al uso como oficinas de diversas instituciones, aunque dos de sus niveles, tercer y cuarto piso específicamente, están completamente desalojados.

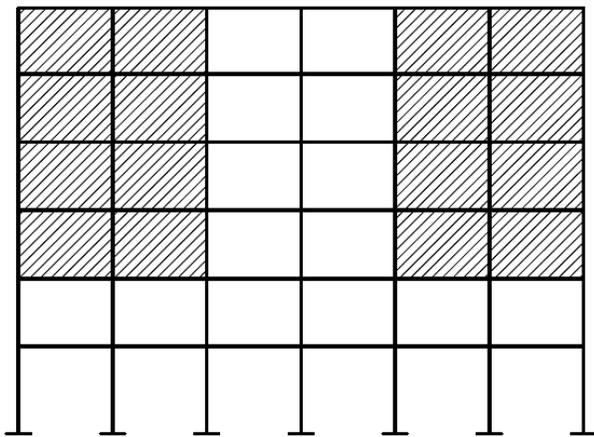
Entre sus características físicas, cuenta con 6 niveles de concreto reforzado con paredes de mampostería de bloques de concreto y divisiones livianas de madera y gypsum, no obstante, uno de sus niveles corresponde a un mezzanine.

El edificio no posee niveles subterráneos y su cimentación fue realizada a base de placas aisladas con una profundidad de 1,0 m.

El sistema de entrepiso está constituido por viguetas prefabricadas apoyadas en las vigas de dirección norte-sur y posee una losa de 50,0 mm de espesor. Adicionalmente, la estructura del techo fue construida con materiales livianos. Las imágenes 58 y 59 muestran un esquema de la distribución en planta y en altura.



a)



b)

Figura 58. Esquema en elevación del edificio A

Se dice que el edificio se encuentra sobre una zona de terreno plano, y como no se cuenta con los estudios de suelo necesarios, se cree que es un suelo tipo S3 o S4, ya que según los ocupantes del edificio se perciben en el lugar fuertes vibraciones con el paso de vehículos pesados por las calles, pero dicho fenómeno no se puede especificar propio del edificio, sino que se debe a la vibración del suelo por lo que se considera que es una arcilla suave.

La primera parte de la evaluación del estado del daño de la edificación, empieza con la evaluación del riesgo por posible inestabilidad global. Considerando una evaluación exterior únicamente, el estado general de la edificación podía considerarse estable ya que no existían peligros evidentes que atentaran la estabilidad global. Al no darse ninguna amenaza de entre las diferentes mencionadas, destacando que la inclinación del edificio no se determinó, se encasilla la edificación en un nivel de riesgo bajo según los Cuadros 6.1 y 6.2 (ver Apéndice D).

En cuanto a la sección de problemas geotécnicos; en la edificación y sus alrededores no se reportaron evidencias de asentamientos, no había agrietamientos ni deformaciones de piso, tampoco edificios colindantes. Al encontrarse en la ciudad, tampoco había taludes ni otros peligros. Se determinó a partir de los Cuadros 6.3 y 6.4 (ver Apéndice D), que el riesgo por problemas geotécnicos es bajo.

A partir del procedimiento de inspección rápida, como se tiene un nivel de riesgo bajo por

inestabilidad global y un riesgo bajo por problemas geotécnicos, en aquel momento, la edificación se pudo haber clasificado como habitable según sección 7 del Apéndice D.

Sin embargo, gracias a la información recabada por el Ing. Cruz, se prosiguió con la siguiente etapa de inspección; ya que en el interior del edificio se presentaron fuertes daños.

Las condiciones pre-existentes del edificio incluyen características como la configuración estructural, en planta y en altura. También, se habla de la calidad de los materiales de construcción, no obstante, no se cuenta con un reporte del estado de los materiales en el año del sismo, por lo que no se puede determinar su condición.

Pero según lo observado en la visita realizada, se concluye que actualmente, la calidad de la construcción es regular puesto que se observan reseñas de humedad y desprendimiento del recubrimiento de concreto en las columnas cerca de la zona del elevador.

El Edificio A es un edificio esquinero y colinda con plazas de parqueo, por consiguiente, no tiene estructuras vecinas que lleguen a representar un factor externo que aumente la vulnerabilidad de la edificación.

La distribución de las paredes en la planta de piso se define irregular como se puede observar en el esquema de la Figura 59. El segundo piso es un piso blando. Cruz (1991), explica que la pared exterior del eje B se localiza del piso 3 al piso 6 mientras que en el piso 1 existen paredes muy rígidas en el eje C y entre los ejes 6 y 7 (ver Figura 59). Esta discontinuidad en la rigidez se explica con el hecho de que el segundo piso corresponde a un mezzanine.

Este fenómeno del piso blando es común en edificios aparcados como lo es este caso, en donde el piso en cuestión presenta gran flexibilidad debido a la insuficiencia de muros que impide controlar los desplazamientos laterales impuestos por los movimientos sísmicos, mientras que los demás pisos son más rígidos al tener mayor cantidad de muros. Debido a lo anterior, de acuerdo con el Cuadro 8.4 (Apéndice D), la configuración en altura debe considerarse mala.

En cuanto a la configuración estructural, se tienen algunas fuentes de vulnerabilidad en la distribución del edificio. Como se mencionaba, algunas paredes son muy rígidas por lo que el fenómeno de torsión, podría presentarse.

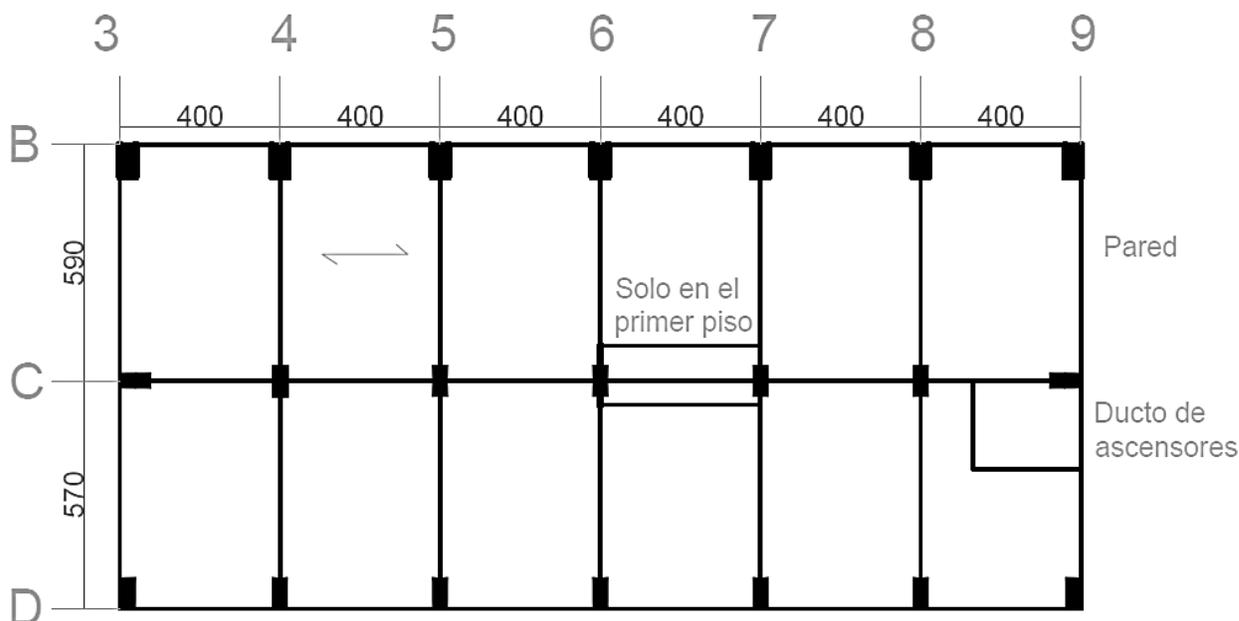


Figura 59. Esquema de la planta del edificio A

No obstante, entre los criterios para determinar el estado de la configuración estructural del Cuadro 8.5 (Apéndice D), se establece que la asimetría en la distribución en altura de los elementos estructurales se presente en al menos el 33% de los niveles de la edificación, lo cual no ocurre en este caso. Por lo tanto, no entra dentro de la clasificación regular, es decir aún puede considerarse como una configuración estructural buena.

Es una edificación aislada por lo que no hay peligro de posibles daños a causa de estructuras colindantes. La configuración en planta es mala, así como la configuración en altura y la estructural se clasifica como buena.

Como ya se mencionó el daño del edificio se concentró en el segundo piso. Se tiene que cuenta con 21 columnas. De modo general, y de acuerdo con el informe de Cruz (1991), se tiene que el daño fue mayormente apreciable en las columnas de los ejes B y D.

Se asegura que la mayoría de las columnas de la 3B a la 8B presentaron muchas grietas pequeñas y un aplastamiento del concreto, incluida también la columna 3C. A tal punto incluso que las columnas se pulverizaban al intentar realizar la extracción de una muestra de núcleo de concreto. Así también, la columna 5B presentó muchas grietas

y aplastamiento del concreto en la mitad de su altura, para observar este detalle fue necesario remover el repello agrietado afirma Cruz (1991). Este daño en las columnas descritas se considera fuerte de acuerdo al Cuadro 9.2 del Apéndice D.

El patrón de grietas registrado permite determinar un comportamiento inelástico de las columnas, que produce una falla por cortante.

Las demás columnas del eje C presentaban un fisuramiento mucho menor que en el caso de las columnas descritas en el párrafo anterior. Dada la descripción de las grietas según Cruz (1991), se consideraron como grietas con un ancho menor a 0,2 mm, casi imperceptibles sobre la superficie del concreto. De este modo, el daño cataloga como muy leve. Aunque las columnas 4C y 9C tenían grietas horizontales más notables y de ancho mayor, por lo que el daño asciende a un daño leve.

La columna 3D presentó aplastamiento en la base y gran agrietamiento, por lo que el daño en este caso es severo. Las columnas 9B y 9D sufrieron aplastamiento en el nudo inferior y un agrietamiento ligero a simple vista, lo cual debe clasificarse como daño moderado.

Según el Cuadro 9.2 (Apéndice D) lo descrito anteriormente puede clasificarse como un nivel de daño muy leve con un porcentaje de 43%,

daño leve 9.5% y daño moderado 9.5% y un 38% con daño fuerte.

En cuanto a las vigas, Cruz (1991) afirma que se observó un desempeño adecuado pues no se presentaron daños apreciables; específicamente las vigas del eje B entre los ejes 5 y 7 sí mostraron agrietamiento considerable en los extremos, principalmente la viga entre los ejes 6 y 7.

Por lo tanto, del total de 32 vigas, únicamente 2 (6%) presentaron un nivel de daño moderado y el resto un daño muy leve.

En la zona de unión viga-columna, se reportaron pequeñas grietas, principalmente en la cara de columna donde se apoyan, por lo que puede considerarse un daño leve, sin embargo, se desconoce el porcentaje.

Los muros presentaron un daño excesivo, esto puede indicar que las paredes formaron parte de la respuesta estructural. Según el informe, se apreciaba un agrietamiento longitudinal horizontal principalmente en las paredes del eje 9.

Dado que un daño excesivo en las columnas estuvo concentrado en el segundo piso, se considera que la estabilidad del edificio fue comprometida, poniendo en riesgo la seguridad de los ocupantes. Según el Cuadro 9.24 del Apéndice D, el nivel de riesgo estructural es alto ya que hay daños importantes en sus elementos estructurales verticales, lo cual representa una disminución de la capacidad para resistir cargas verticales o laterales, aunque no existe inestabilidad potencial.

Al continuar con la sección de daños en elementos no estructurales, se observaron grietas leves en los muros de fachada, las paredes livianas no se vieron afectadas y los cielos rasos y lámparas tampoco. La cubierta de techo no sufrió daños y los sistemas eléctricos e hidráulicos mantuvieron su buen funcionamiento.

Con esta información se concluye que el riesgo no estructural fue bajo. Además, se había concluido ya que el nivel de riesgo es bajo por inestabilidad global, un riesgo bajo por problemas geotécnicos y un nivel de riesgo estructural alto. A esto se determina que la edificación es de alto riesgo, como los daños más graves están concentrados en un solo nivel, se ve comprometida la integridad estructural, lo mejor es clasificarla como uso restringido hasta tomar las medidas necesarias para recuperar la capacidad portante del edificio. Esto significa que la decisión más pertinente era limitar la entrada al edificio, y reparar los daños

inmediatamente. Efectivamente, la edificación fue reestructurada en 1992.

Ahora bien, Cruz (1991) concluye específicamente en su informe que “dada la severidad del daño en muchas columnas del segundo piso, la integridad del edificio estaba amenazada y la reparación era urgente”.

Comparando el resultado obtenido tras completar el formulario, con el veredicto brindando por el Ing. Cruz, se concuerda en que la edificación debía ser restaurada de manera inmediata. A partir de esto, se valida de modo más confiable el uso de la guía de evaluación post-sismo. Verificando además que la nueva versión planteada tras la primera experiencia de inspección es más completa pero sencilla a la vez.

## Condición actual del Edificio A

Debido a los daños surgidos como consecuencia del sismo del 22 de abril de 1991, el edificio fue reforzado en 1992 con una serie de muros de concreto, levantados en todo su perímetro con el fin de aumentar la rigidez y la resistencia del inmueble, de modo que fuera capaz de resistir cualquier sismo más adelante.

Veintiséis años después de su reforzamiento, la estructura continúa manteniendo su integridad estructural, aunque a raíz de la visita realizada como reconocimiento del sitio, se pudieron observar ciertas fallas en los elementos, principalmente en la zona cercana al elevador. Si bien es cierto, la guía no fue aplicada a la condición actual del edificio, por lo cual no se declara ninguna condición específica.

Se pudo visualizar un agrietamiento vertical no mayor a 0,1 mm en una de las vigas en la zona de las escaleras, lo mismo ocurre en los cinco niveles. Además, se observa un agrietamiento horizontal, al revisar los planos, se podría concluir que el agrietamiento ocurre en las nuevas secciones construidas en 1992, por lo tanto, se considera que las grietas aparecen como consecuencia de una mala adherencia entre los materiales de la construcción existente y el reforzamiento.

Se recomienda realizar una evaluación por parte de un especialista estructural que emita un criterio profesional acerca de la seguridad actual del edificio.

# Conclusiones

- Se examinaron diferentes metodologías desarrolladas en otros países con alta sismicidad tales como México, Colombia, Chile, Japón, entre otros. A nivel nacional se encontraron métodos de inspección desarrollados por la Caja Costarricense del Seguro Social y el Ministerio de Vivienda y Urbanismo, sin embargo, aún no ha sido publicados y se encuentran dirigidos a la evaluación de centros de salud y viviendas respectivamente.
- Se realizó una matriz comparativa que permitió evaluar los criterios tomados en cuenta en cada caso y así determinar aquellos más importantes, gracias a la extensa revisión de los métodos de evaluación de daños post-sísmicos existentes en otros países
- Se propuso un formulario o Guía de evaluación del impacto estructural post-sismo de edificación en Costa Rica.
- La metodología propuesta en este trabajo de graduación representa una estandarización de criterios y procedimientos utilizados para la clasificación de habitabilidad de una edificación después de la ocurrencia de un sismo de moderada o gran magnitud, para que se propicie la correcta toma de decisiones, por parte de los comités evaluadores correspondientes.
- Una rápida evaluación y categorización de estructuras afectadas por sismos constituye un instrumento para la protección de vidas y optimización de recursos económicos, pues es un recurso para que las estructuras dañadas o con riesgo de colapso sean detectadas fácilmente.
- Para clasificar la seguridad de las edificaciones se establecen tres niveles de habitabilidad: habitable, uso restringido o no habitable, la cual se define mediante un proceso de inspección con la ayuda de un formulario.
- Se elaboró un Manual de campo para la evaluación de daños post-sismo que ayude al usuario a completar el formulario de manera correcta.
- Se propuso una Guía de tipologías comunes de fallas estructurales que describe el comportamiento estructural de acuerdo al tipo de edificaciones, los materiales utilizados y los diferentes sistemas estructurales.
- Se implementó la metodología de evaluación a dos edificaciones existentes vulnerables o dañadas debido a los efectos de un sismo previo.
- El Edificio CIVCO estudiado clasifica como uso restringido, aunque en este no implica que sus ocupantes estén en riesgo, sino que se debe prestar especial atención a los daños existentes y tomar medidas preventivas.
- En el caso histórico del Edificio A, este se declara en condición de uso restringido, sugiriendo una reparación urgente por el bienestar de sus ocupantes.
- Se logró la validación y mejora de la guía propuesta mediante su aplicación a dos edificios existentes.

# Recomendaciones

- Incluir en la guía otros tipos de sistemas constructivos que no fueron desarrollados en este trabajo como la madera o las estructuras prefabricadas, para mejorar la metodología propuesta y permitir una evaluación más completa de una edificación.
- Para el análisis geotécnico, lo más adecuado es acudir a un ingeniero en el área de suelos, dado que es un problema muy extenso y por lo tanto es objeto de un estudio más a fondo. Lo mismo ocurre en caso de presentarse problemas electromecánicos o bien ingenieriles de carácter severo.
- Establecer un protocolo específico de acción ante emergencias ya que la organización previa o anticipada a cualquier evento sísmico es fundamental para ejecutar eficientemente las labores de evaluación post-sísmica.
- Conformar equipos de evaluación de dos personas para la evaluación rápida (dos inspectores de obra o un inspector y un ingeniero) y de tres personas (un inspector de obra, un arquitecto y un ingeniero estructural) para la detallada, según las recomendaciones del ATC-20-2.
- Establecer la jerarquía de los miembros del comité de evaluación y describir las funciones y responsabilidades que les correspondan.
- Brindar a cada miembro del comité evaluador los equipos de protección personal necesarios para la atención de las emergencias y realizar la evaluación estructural de las edificaciones luego de ocurrido el sismo.
- Crear un formato de inspección en línea, mediante una aplicación digital que permita capturar directamente la información durante el recorrido de la edificación y almacenar los datos en tiempo real.
- Digitalizar, mientras no se cuente con un sistema en línea, la información después de concluida la gira de inspección, con el objetivo de mantener un respaldo y evitar la pérdida o el mal entendimiento de la información.
- Desarrollar un sistema que permita conectar la base de datos de los registros de los formularios con el sistema de información geográfica de la ciudad afectada, al igual que lo propone Carreño et al (2005), destacando que el fin de esto es visualizar los daños sobre un mapa, para conocer su distribución espacial, e identificar rápidamente los sitios de mayor concentración de daños.
- Idear una serie de cursos de capacitación que enseñe los criterios más importantes que se deben conocer para poder involucrarse en un proceso de evaluación estructural post-sismo con el fin de mejorar la eficiencia y efectividad.
- Certificar aquellos profesionales que aprueben el curso de capacitación.
- Fomentar al menos cada 3 años charlas de actualización en el área de evaluación post-sísmica, dirigidas a ingenieros, arquitectos, miembros de la Comisión Nacional de Emergencias, Bomberos de Costa Rica, entre otros, e incluso charlas dirigidas a voluntarios.
- Desarrollar un manual de reforzamiento estructural preventivo y otras actuaciones de emergencia, así como el procedimiento de puesta en marcha de las medidas de seguridad necesarias en los edificios que así lo requieran.
- Realizar una evaluación estructural especializada del Edificio CIVCO para determinar una propuesta de reforzamiento.
- Realizar una evaluación estructural por parte de un ingeniero especializado para analizar a fondo los daños observados en el Edificio A, ya que la condición de habitabilidad actual no fue considerada en el alcance de este trabajo.

# Apéndices

**Apéndice A.** Comparación de algunas guías existentes de evaluación post sismo.

**Apéndice B.** Comparación de equipo sugerido en algunas guías existentes de evaluación post sismo.

**Apéndice C.** Formulario de evaluación de daños en edificaciones después de un sismo.

**Apéndice D.** Manual de campo para la evaluación post-sismo

**Apéndice E.** Tipologías de falla de los elementos estructurales.

**Apéndice F.** Evaluación del primer nivel del Edificio CIVCO.

**Apéndice G.** Evaluación del segundo nivel del Edificio CIVCO.

**Apéndice H.** Evaluación del sótano del Edificio CIVCO.

**Apéndice I.** Evaluación del Edificio A.

# **Apéndice A**

***“Comparación de algunas guías existentes  
de evaluación post sismo”***

**CUADRO 1. COMPARACIÓN DE ALGUNAS GUÍAS EXISTENTES DE EVALUACIÓN POST SISMO**

<b>Apartado</b>	<b>Costa Rica</b>	<b>Colombia</b>	<b>Chile</b>	<b>México</b>	<b>Estados Unidos</b>
<b>Descripción del evento sísmico</b>					
Fecha	X				
Epicentro	X				
Intensidad	X				
Magnitud	X				
Hora	X				
<b>Identificación de la edificación</b>					
Nombre del edificio	X	X	X	X	X
Provincia, cantón, distrito	X	X	X	X	
Dirección exacta	X	X	X	X	X
Municipio				X	
Coordenadas geográficas	X		X	X	
Numero de plano catastrado	X	X			
Uso de la edificación	X		X	X	X
Ocupación		X		X	X
Número de pisos sobre el terreno	X	X	X	X	X
Numero de sótanos	X	X	X	X	X
Año de construcción	X	X		X	
Año de rehabilitación				X	
Dimensiones aproximadas (Frente, fondo)	X	X	X	X	
<b>Persona de contacto</b>					
Teléfono de contacto	X	X		X	X
Nombre	X	X		X	X
<b>Identificación del inspector</b>					
Fecha de inspección	X	X	X	X	X
Hora de inspección	X	X	X	X	X
Nombre	X	X	X	X	
Institución a la que pertenece	X		X		X
Profesión	X		X	X	
Número de carné	X		X		X
<b>Sistema estructural</b>					
Marco de concreto		X	X		X
Marco de acero		X	X		X
Marco de madera			X		X
Paredes de concreto		X	X		X
Paredes de mampostería confinada		X	X		
Paredes de mampostería mal confinada			X		
Paredes de mampostería reforzada		X	X		X
Paredes de mampostería sin refuerzo		X	X		X
Sistema dual	X	X	X		

Apartado	Costa Rica	Colombia	Chile	México	Estados Unidos
Sistema de entepiso					
Losa de concreto	X	X	X		
Losa prefabricada					
Viguetas de concreto	X				
Steel deck	X	X			
Viguetas de acero con losa de concreto	X		X		
Otro	X	X			
<b>Terreno y cimentación</b>					
Topografía				X	
Tipo de suelo				X	
Nivel freático				X	
Pendiente del terreno				X	
Cimentación superficial				X	
Cimentación profunda				X	
<b>Estado general de la edificación</b>					
Colapso	X	X	X		X
Inclinación del edificio	X	X	X		X
Falla o asentamiento de la cimentación	X	X	X		
Daño producto de edificios adyacentes	X		X		
Otro peligro evidente	X				X
<b>Problemas de geotecnia</b>					
Falla del suelo colindante				X	X
Deslizamiento cercano o grietas en talud	X	X		X	X
Asentamientos diferenciales		X		X	
Erosión				X	
Licuación		X		X	
<b>Condiciones pre-existentes</b>					
Calidad de la construcción		X			
Posición en la manzana		X		X	
Configuración en planta		X		X	
Configuración en altura		X		X	
Configuración estructural		X			
Otras fuentes de vulnerabilidad				X	
Rehabilitación		X		X	
Edificio vecino crítico				X	
<b>Daños estructurales</b>					
Columnas	X	X	X	X	X
Muros	X	X	X	X	X
Vigas		X	X	X	X
Nodos		X	X	X	X
Entrepisos		X	X	X	X
Techo			X	X	X

Apartado	Costa Rica	Colombia	Chile	México	Estados Unidos
<b>Daños no estructurales</b>					
Muros de fachadas	X	X			
Paredes divisorias	X	X	X	X	X
Cielos rasos	X	X	X	X	X
Luminarias	X	X	X	X	X
Cubierta		X			
Escaleras	X	X	X	X	X
Elevadores				X	X
Instalaciones (Acueducto, alcantarillado, gas, eléctrica)		X		X	X
Derrames tóxicos				X	
Revestimiento					X
Vidrios	X		X	X	X
Tanques elevados		X		X	
Balcones			X	X	
Maquinaria			X		
Bienes muebles	X		X		X
Otros	X		X	X	X
Clasificación de habitabilidad	X	X	X		X
<b>Recomendaciones</b>					
Evacuación parcial	X	X			
Evacuación total	X	X			
Evacuación de edificios vecinos		X			
Restringir paso de peatones		X			
Apuntalar	X	X	X		
Demoler o remover elementos en peligro de caer		X	X		
Desconectar energía, agua o gas	X	X			
Acordonamiento de sectores del edificio	X		X		X
Reforzamiento estructural de emergencia	X				
Manejo de sustancias peligrosas	X	X			
Evaluación especializada	X	X			X
Intervención de bomberos, policía...		X			
Otros	X		X		X
<b>Esquema/Croquis</b>	X	X	X	X	X
<b>Comentarios</b>		X			X
<b>Inspección específica (daño en sistema electromecánico)</b>					
Estado de instalaciones	X				
Estado de equipos fijos	X				
Peligros relacionados con el sistema electromecánico	X				

# **Apéndice B**

***“Comparación de equipo sugerido en algunas guías  
existentes de evaluación post sismo”***

**CUADRO 2. COMPARACIÓN DE EQUIPO SUGERIDO EN ALGUNAS GUÍAS EXISTENTES DE EVALUACIÓN POST SISMO**

	Guías existentes				
	Costa Rica	Colombia	Chile	México	Estados Unidos
	-	Planos de la zona	-	Plano de la región	Mapa de calles
Directorio telefónico con los contactos del equipo evaluador		Nombres y número telefónico de los coordinadores de evaluación	-	-	Números de emergencia
Directorio telefónico con contactos del personal administrativo		-	-	Datos de las personas con las que se puede hacer contacto para realizar los recorridos.	-
Casco	Casco	Casco	-	-	
Chaleco reflectante	-	-	-	-	-
Anteojos de seguridad	-	Lentes	-	-	Gafas de seguridad
Zapatos de seguridad	Botas	Zapatos de seguridad	Zapatos especiales	-	-
Cédula de identidad	Identificación personal	-	-	-	-
Carné institucional	Identificación oficial	-	-	-	Carnet de identificación
“Guía de evaluación rápida de edificaciones post evento sísmico”	Guía técnica para la inspección de edificaciones después de un sismo	-	Formato de Captura de Información para Evaluación Estructural y hojas adicionales	Manual de campo ATC20-1	
“Formulario de evaluación rápida de edificaciones post evento sísmico”	Formulario de inspección	Ficha de inspección	-	Formulario de inspección	
Etiquetas de habitabilidad	Avisos de clasificación	-	-	Pancartas de marcación	
Cinta de acordonamiento roja de “Peligro”	Cinta con la inscripción peligro	-	-	Cinta amarilla de peligro	
Cinta de acordonamiento amarilla de “Precaución”	-	-	-	-	
Lápiz o bolígrafo	Lápiz o bolígrafo	Lápiz	-	Lápiz	
Tabla de apoyo con pinza para papelería	-	-	Tabla de broche	-	
Linterna	-	-	Lámpara de mano con baterías en buen estado.	-	
Cámara fotográfica	Cámara fotográfica	Cámara digital	Cámara fotográfica	-	
Teléfono celular	Teléfono celular	-	Teléfono	Celular	
Radio de comunicación	Radio	-	Radio comunicador	Radio	
Equipo GPS	-	-	-	-	
Comparador de grietas	-	-	Grietómetro	-	
Cinta métrica	-	"Huincha"	Cinta métrica	Cinta métrica	

Equipo	Guías existentes				
	Costa Rica	Colombia	Chile	México	Estados Unidos
	Plomada	Nivel	Plomada	-	Nivel
	Binoculares	Binóculos	-	-	-
	Piqueta	-	-	-	-
	Calculadora	Calculadora	Calculadora	-	-
Plano con plantas estructurales (muy recomendable, aunque no indispensable)	-	-	-	-	

# **Apéndice C**

***“Formulario de evaluación de daños en edificaciones después de un sismo”***

# FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO

Fecha: \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_ N° Formulario: \_\_\_\_\_

1. IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR	
Nombre del responsable:	<input type="text"/>
Profesión:	<input type="text"/>
N° Carné:	<input type="text"/>
Institución a la que pertenece:	<input type="text"/>
Otros evaluadores:	<input type="text"/>
	<input type="text"/>
	<input type="text"/>

2. IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	
Nombre del edificio:	<input type="text"/>
Provincia:	<input type="text"/>
Cantón:	<input type="text"/>
Distrito:	<input type="text"/>
Dirección exacta:	<input type="text"/>
	<input type="text"/>
N° Plano Catastrado:	<input type="text"/>
Coordenadas geográficas por GPS:	<input type="text"/>
Persona contactada/propietario:	<input type="text"/>
Teléfono:	<input type="text"/>
Función:	<input type="text"/>

3. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	
<b>Importancia :</b> A B C D E	<b>Uso principal:</b> <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Hotelero <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Salud <input type="checkbox"/> Bodegas <input type="checkbox"/> Educativo <input type="checkbox"/> Estacionamiento <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Otros: _____
<b>Año de construcción:</b> <input type="checkbox"/> Antes de 1974 <input type="checkbox"/> 1974 a 1985 <input type="checkbox"/> 1986 a 2001 <input type="checkbox"/> 2002 a 2009 <input type="checkbox"/> A partir de 2010	
<b>Ocupación:</b> <input type="checkbox"/> Habitada <input type="checkbox"/> Deshabitada <input type="checkbox"/> Desalojada por daños	
<b>¿Ha sido rehabilitado?</b> a) Total    b) Parcial    c) Ninguno	
<b>Capacidad de personas:</b> _____	
<b>Año de rehabilitación:</b> _____	
<b>Características:</b> N° de niveles: _____    Frente (m): _____ N° de sótanos: _____    Fondo (m): _____ Altura entresijos (m): _____    Área (m2): _____	
<b>Tipo de propiedad</b> <input type="checkbox"/> Pública <input type="checkbox"/> Privada	
<b>Sistema estructural:</b> Concreto: <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Muros estructurales Acero: <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Marcos no arriostrados Mampostería: <input type="checkbox"/> Confinada <input type="checkbox"/> Reforzada <input type="checkbox"/> No Reforzada <input type="checkbox"/> Marcos de concreto con paredes de mampostería <input type="checkbox"/> Marcos de acero con paredes de mampostería <input type="checkbox"/> Otros: _____	
<b>Sistema de entresijo:</b> Concreto: <input type="checkbox"/> Losa monolítica <input type="checkbox"/> Losa prefabricada <input type="checkbox"/> Losa nervada en dos direcciones <input type="checkbox"/> Viguetas pretensadas Acero: <input type="checkbox"/> Metal deck <input type="checkbox"/> Viguetas Otro: _____	

4. TERRENO Y CIMENTACIÓN			
<b>Topografía</b>	<b>Sitio de cimentación</b>	<b>Cimentación Superficial (0,5 - 4 m)</b>	
<input type="checkbox"/> Planicie	<input type="checkbox"/> S1	<input type="checkbox"/> Placa aislada	<input type="checkbox"/> Placa corrida
<input type="checkbox"/> Ladera	<input type="checkbox"/> S2	<input type="checkbox"/> Losas	
<input type="checkbox"/> Río/lago	<input type="checkbox"/> S3	<b>Cimentación Profunda</b>	
<input type="checkbox"/> Fondo de valle	<input type="checkbox"/> S4	<input type="checkbox"/> Pilotes	<input type="checkbox"/> Otro: _____
<input type="checkbox"/> Costa			

5. ESTADO DE LA EDIFICACIÓN			
<b>Estado general de la edificación</b>		<b>Inclinación del edificio</b>	
<b>Colapso</b>	<input type="checkbox"/> No hay	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No hay
	<input type="checkbox"/> Total	_____ %	
	<input type="checkbox"/> Parcial	<input type="checkbox"/> No se pudo determinar	
	<input type="checkbox"/> Techo	<b>Falla o asentamiento de la cimentación</b>	
	<input type="checkbox"/> Piso	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No hay
	<input type="checkbox"/> Sección del edificio (_____%)	_____ cm	
	<input type="checkbox"/> Choque con edificio vecino	<input type="checkbox"/> No se pudo determinar	
<b>Peligro de colapso de edificios adyacentes</b>		<b>Peligro de objetos que puedan caer</b>	
<input type="checkbox"/> Evidente	<input type="checkbox"/> No hay	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No hay
		Otros peligros evidentes: _____	
<b>Determinación del riesgo por inestabilidad global</b>			
<input type="radio"/> Bajo	<input type="radio"/> Medio	<input type="radio"/> Alto	<input type="radio"/> Muy Alto

<b>Problemas Geotécnicos</b>			
<input type="checkbox"/> Presencia de grietas en el suelo	<input type="checkbox"/> Erosión		
<input type="checkbox"/> Falla en talud cercano	<input type="checkbox"/> Licuefacción		
<input type="checkbox"/> Deslizamiento cercano	<input type="checkbox"/> Asentamiento diferencial		
<input type="checkbox"/> Movimiento masivo del suelo	<input type="checkbox"/> Otros: _____		
<b>Determinación del riesgo por problemas geotécnicos</b>			
<input type="radio"/> Bajo	<input type="radio"/> Medio	<input type="radio"/> Alto	<input type="radio"/> Muy Alto

6. CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD	
<b>Tipo de inspección</b>	
<input type="radio"/> Solo exterior	<input type="radio"/> Exterior e interior completa
Según la presente evaluación, la condición del edificio es:	
<input type="radio"/> <b>HABITABLE</b> Ambos riesgos fueron determinados bajos.	<input type="radio"/> <b>USO RESTRINGIDO</b> Se tiene al menos un riesgo medio o alto.
<input type="radio"/> <b>NO HABITABLE</b> Se tiene al menos un riesgo muy alto.	

7. CONDICIONES PRE-EXISTENTES				
Calidad de la construcción:	<input type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Altas concentraciones de masa
Posición en la cuadra:	<input type="checkbox"/> Esquina	<input type="checkbox"/> Intermedio	<input type="checkbox"/> Aislado	<input type="checkbox"/> Piso débil
Configuración en planta:	<input type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Columnas débiles
Configuración en altura:	<input type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Redundancia
Configuración estructural:	<input type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Torsión
				<input type="checkbox"/> Desplazamiento entre pisos

8. DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
	Columnas	Vigas	Muros	Uniones		
Grietas inclinadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Entrepiso crítico: _____	
Grietas horizontales	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirección con	
Desprendimiento de concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mayor daño: <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y	
Fractura de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Fractura de refuerzo transversal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Pandeo de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Corrosión del acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Indique el porcentaje de daño de los elementos principales afectados, según su grado de daño:						
Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Columnas						
Muros						
Vigas						
Uniones						
Entrepisos						
<i>Determinación del riesgo estructural</i>						
<input type="radio"/> Bajo <input type="radio"/> Medio <input type="radio"/> Alto <input type="radio"/> Muy Alto						

9. DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES						
Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Muros de fachadas	<input type="checkbox"/>					
Paredes livianas	<input type="checkbox"/>					
Cielos rasos y luminarias	<input type="checkbox"/>					
Cubierta de techo	<input type="checkbox"/>					
Vidrios	<input type="checkbox"/>					
Escaleras	<input type="checkbox"/>					
Tanques elevados	<input type="checkbox"/>					
Instalaciones eléctricas, de gas e hidráulicas	<input type="checkbox"/>					
Otros						
<i>Determinación del riesgo no estructural</i>						
<input type="radio"/> Bajo <input type="radio"/> Medio <input type="radio"/> Alto <input type="radio"/> Muy Alto						



**13. ESQUEMA**

<b>14. ENTREGA DEL FORMULARIO</b>	
Persona que lo recibe:	<input type="text"/>
Fecha:	<input type="text"/>
Firma:	<input type="text"/>

## EQUIPO REQUERIDO PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO

Fecha: \_\_\_\_ / \_\_\_\_ / \_\_\_\_ Hora: \_\_\_\_\_

Nombre del edificio: \_\_\_\_\_

Nombre del responsable de la inspección: \_\_\_\_\_

VERIFICACIÓN DE EQUIPO		
<b>Documentos personales</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Identificación personal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carné asociado al CFIA.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Protección Personal</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Casco protector.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Botas de punta de acero preferiblemente.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mascarilla para nariz y boca.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lentes de seguridad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chaleco de seguridad.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Material y equipo</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Formulario de inspección.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manual de evaluación post-sismo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nombre y número telefónico del contacto en el edificio a evaluar, coordinadores del equipo de evaluación y entidades responsables de la prevención de desastres.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mapa de la zona en la que se ubica el edificio a evaluar.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Sistema de posicionamiento global portátil (G.P.S.).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etiquetas de habitabilidad de las edificaciones.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta amarilla para restringir el paso en áreas inseguras de las edificaciones.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Libreta para anotar y lapicero.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabla de apoyo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta métrica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Linterna y baterías extras.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cámara fotográfica.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radio de comunicación.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Brújula.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietómetro (comparador de grietas).	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nivel de mano o plomada.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinzel y martillo.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Guantes.	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# HABITABLE

## OCUPACIÓN PERMITIDA

Esta estructura ha sido inspeccionada y no se encontraron riesgos aparentes para la integridad física de sus ocupantes. Los daños estructurales no comprometen la estabilidad de la edificación. Sin embargo,

- Esto no quiere decir que el edificio no tenga daños.
- Esto no quiere decir que el edificio sea completamente seguro.

*Réplicas posteriores a la inspección pueden incrementar el daño y el riesgo, Informar a las autoridades sobre cualquier condición insegura detectada para una posible reinspección.*

Nombre y dirección del edificio: \_\_\_\_\_

Persona(s) encargada(s) de la inspección: \_\_\_\_\_

Fecha de inspección: \_\_\_\_\_

Hora de inspección: \_\_\_\_\_

**PROHIBIDO REMOVER, ALTERAR O CUBRIR ESTE DOCUMENTO**

# USO RESTRINGIDO

## ENTRADA LIMITADA

Esta estructura ha sido inspeccionada y pueden existir condiciones peligrosas que atenten la integridad física de sus ocupantes.

- Únicamente entrada a zonas permitidas por las autoridades.
- No se permite el uso continuo. Entrada autorizada solo con fines de emergencia.

*Réplicas posteriores a la inspección pueden incrementar el daño y el riesgo-  
Informar a las autoridades sobre cualquier condición insegura detectada para una posible  
reinspección.*

Nombre y dirección del edificio: \_\_\_\_\_

Persona(s) encargada(s) de la inspección: \_\_\_\_\_

Fecha de inspección: \_\_\_\_\_

Hora de inspección: \_\_\_\_\_

**PROHIBIDO REMOVER, ALTERAR O CUBRIR ESTE DOCUMENTO**

# NO HABITABLE

## ACCESO PROHIBIDO

Esta estructura ha sido inspeccionada y existen daños de gran magnitud y riesgo de colapso. Se encuentra en peligro la integridad física de sus ocupantes.

- No se permite el ingreso bajo ninguna circunstancia, excepto a personal calificado.

*Réplicas posteriores a la inspección pueden incrementar el daño y el riesgo.  
Informar a las autoridades sobre cualquier condición insegura detectada para una posible  
reinspección.*

Nombre y dirección del edificio: \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

Persona(s) encargada(s) de la inspección: \_\_\_\_\_ Fecha de inspección: \_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_ Hora de inspección: \_\_\_\_\_

**PROHIBIDO REMOVER, ALTERAR O CUBRIR ESTE DOCUMENTO**

# **Apéndice D**

*“Manual de campo para la evaluación post-sismo”*

# **EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO**

**MANUAL DE CAMPO**

**KATALINA SANABRIA MENESES  
TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN**

**NOVIEMBRE 2018**



# EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO

Manual de Campo

Katalina Sanabria Meneses  
Noviembre del 2018

## Contenido

Introducción .....	4
Objetivos.....	5
Procedimiento de inspección .....	6
Personal requerido para la inspección .....	6
Preparación y capacitación del personal .....	7
Materiales y equipo.....	7
Inspección de las edificaciones.....	8
Etapa de evaluación rápida .....	10
Etapa de evaluación detallada.....	10
Componentes del formulario de evaluación .....	10
Procedimiento para completar el formulario.....	11
Descripción del formulario de evaluación .....	12
1. Encabezado .....	12
2. Identificación del Inspector.....	12
3. Identificación de la edificación.....	12
3.1. Nombre del edificio.....	12
3.2. Plano catastrado .....	12
3.3. Dirección .....	12
3.4. Coordenadas geográficas .....	12
3.5. Persona de contacto .....	13
4. Descripción de la edificación.....	13
4.1. Importancia de la edificación.....	13
4.2. Uso de la edificación .....	14
4.3. Tipo de propiedad .....	15
4.4. Ocupación .....	15
4.5. Año de construcción.....	16
4.6. Año rehabilitación.....	16
4.7. Número y altura de los pisos.....	16
4.8. Dimensiones aproximadas de la edificación. ....	17
4.9. Sistema estructural.....	17
4.10. Sistema de entresuelo.....	21
5. Terreno y cimentación.....	22
5.1. Topografía.....	22
5.2. Sitio de cimentación .....	23

5.3.	Tipo de cimentación .....	23
6.	Estado de la edificación .....	24
6.1.	Estado General .....	24
6.2.	Problemas geotécnicos .....	28
7.	Clasificación de habitabilidad .....	30
7.1.	Habitable .....	30
7.2.	Uso Restringido.....	30
7.3.	No habitable .....	31
8.	Condiciones preexistentes .....	31
8.1.	Calidad de la construcción .....	31
8.2.	Posición en la cuadra .....	33
8.3.	Configuración en planta .....	33
8.4.	Configuración en altura .....	34
8.5.	Configuración estructural .....	35
9.	Daños en elementos estructurales.....	39
9.1.	Evaluación de elementos de concreto reforzado .....	42
9.2.	Evaluación de estructuras de mampostería .....	48
9.3.	Evaluación de elementos de acero estructural.....	63
9.4.	Evaluación de entresijos .....	64
9.5.	Determinación del riesgo estructural .....	64
10.	Daños en elementos no estructurales .....	66
10.1.	Determinación del riesgo no estructural.....	71
11.	Clasificación de habitabilidad .....	72
11.1.	Habitable .....	73
11.2.	Uso Restringido.....	73
11.3.	No habitable .....	73
12.	Recomendaciones .....	74
13.	Comentarios.....	74
14.	Esquema .....	74
15.	Entrega de formulario.....	75

## Introducción

En el presente trabajo se desarrolla un procedimiento para la evaluación de edificios de varios niveles después de un movimiento telúrico, con base en la revisión de literatura y documentos internacionales desarrollados en este ámbito. Entre las principales referencias destacan el documento ATC-20 de Estados Unidos y el “Manual de campo para la inspección de edificaciones después de un sismo” de Colombia.

El trabajo representa la adaptación herramientas existentes, que permite efectuar una evaluación de daños, cautelosa pero rápida, con el fin de identificar las edificaciones que han sido afectadas y que representan un peligro, al mismo tiempo será posible identificar las edificaciones que son seguras y que podrán continuar funcionando o como lo sugiera la Asociación de Ingeniería Sísmica de Colombia (2002), “servir de refugios temporales para las personas afectadas víctimas de los terremotos”.

Una guía de evaluación pretende evaluar de manera específica cualquier edificación afectada con el principal objetivo de determinar su seguridad e identificar las edificaciones estables, comprometidas, o que deben declararse de uso restringido debido a daños severos. Se lograría identificar en un primer plano, cuáles son las edificaciones con mayor daño después de ocurrido un sismo, ya sea este moderado o severo. Así mismo, precisar si aquellas edificaciones dañadas deben prohibir o restringir su uso pues estaría representando un peligro a la comunidad. Del mismo modo, será posible clasificar las edificaciones estables que puedan servir como refugio temporal a personas que perdieron sus viviendas o que hayan sido evacuadas para resguardar su seguridad debido al estado de la edificación que ocupaban. De ser necesario, la evaluación recomendará una inspección posterior más profunda y detallada por parte de especialistas en el área.

El procedimiento contempla dos niveles de evaluación: la evaluación rápida y la evaluación detallada. Pinto & Torres (2016) definen ambos conceptos: la evaluación rápida es el primer nivel de inspección que permite determinar de forma inmediata si la estructura es segura o insegura, con base en el nivel de riesgo por inestabilidad y problemas geotécnicos. La evaluación detallada es una inspección visual a fondo, donde se explora cuidadosamente la edificación, describiendo el nivel de daño estructural.

También se obtiene información relevante para otro tipo de actividades posteriores de manejo de la emergencia, la rehabilitación y reconstrucción. Aunque la guía planteada no determina si es necesaria la reconstrucción o si se requiere la demolición del edificio, ni tampoco tiene como finalidad implantar medidas de rehabilitación a las edificaciones dañadas por sismos; una vez evaluadas las edificaciones, la información obtenida podría convertirse en una base de datos oportuna para la estimación de las pérdidas y la elaboración de posibles planes de acción para la rehabilitación y construcción sismo resistente.

Se obtendrá toda la información necesaria para identificar, evaluar y clasificar cada una de las edificaciones que se inspeccionen. Entre los aspectos importantes por evaluar se presentan los siguientes: colapso, daños en columnas, vigas y entrepiso, movimiento significativo entre pisos, daños en la base de muros, daños en la cimentación, entre otros. Dicha no considera una evaluación en el ámbito electromecánico únicamente se hace mención a ciertos aspectos meramente generales.

La inspección de los elementos estructurales se basa en la observación, la presente guía no sugiere la realización de pruebas físicas a los materiales ni cálculos estructurales de ningún tipo, sin embargo, de ser considerado necesario, se puede recomendar una evaluación ingenieril detallada como se explicaba anteriormente.

Vale la pena resaltar que la guía es aplicable tras la ocurrencia de un sismo, por lo que, si suceden otro tipo de desastres, entendidos como inundaciones, huracanes, incendios, entre otros, se deben verificar otros aspectos que no fueron considerados.

# Objetivos

## Objetivo General

Contar con una metodología que facilite la evaluación de los daños y de la seguridad de edificaciones después de un sismo.

## Objetivos específicos

Los objetivos de realizar una evaluación de edificaciones después de un sismo se explican de manera detallada a continuación y fueron propuestos por la Asociación de Ingeniería Sísmica de Colombia (2002):

- Reducir la incidencia de lesiones o muertes de los ocupantes de edificaciones dañadas por un sismo.
- Crear un registro del número de edificaciones habitables, dañadas o colapsadas, para facilitar el proceso de rehabilitación, reconstrucción y recuperación de la zona afectada.
- Identificar las necesidades de la zona en cuanto al mejoramiento de la seguridad de sus edificios, así como obtener retroalimentación para el progreso de las normas de construcción sismo resistente.
- Identificar las necesidades de la comunidad para una adecuada atención y manejo de la emergencia.
- Proveer información para una estimación superficial de las pérdidas económicas causadas por daños en las edificaciones.

# Procedimiento de inspección

## Personal requerido para la inspección

Según Vizconde (2017), muchas veces en el caso de un gran terremoto, puede no ser posible contar con un número suficiente de ingenieros experimentados, y los funcionarios a cargo tendrían que arreglarse con los recursos disponibles, normalmente ingenieros estructurales, hasta personas voluntarias o miembros de los comités de emergencia que no cuentan con la experiencia necesaria.

En situaciones de emergencia el personal a cargo será responsable de realizar las evaluaciones, de recolectar y analizar la documentación relevante para finalmente brindar las recomendaciones finales. Por eso, lo ideal es que todo participante de una inspección sea capacitado de manera que comprenda la forma de diligenciar los formularios y criterios utilizados para la clasificación de los daños.

Primordialmente, las personas que realicen la evaluación de los daños de una edificación deben de tener una formación profesional en el área de la ingeniería civil, contar con experiencia en el diseño estructural o construcción, conocimiento del comportamiento sísmico y de la evaluación de daños en edificaciones post-sismo.

Se deben crear comités de evaluación El ATC-20-2 recomienda conformar equipos de evaluación de dos personas para la evaluación rápida (dos inspectores de obra o un inspector y un ingeniero) y de tres personas (un inspector de obra, un arquitecto y un ingeniero estructural) para la detallada.

Castro (2018) establece un perfil mínimo y un perfil recomendado con algunas sugerencias adicionales:

### a) Perfil mínimo:

- ✓ Ingenieros o arquitectos.
- ✓ 3 años de experiencia en diseño, construcción o inspección de edificios.
- ✓ Haber sido capacitados en la metodología de evaluación.

### b) Perfil recomendado:

- ✓ Ingenieros o arquitectos
- ✓ Especialidades en estructuras, ingeniería sísmica o forense
- ✓ 5 años de experiencia en diseño, construcción o inspección de edificios.
- ✓ Experiencia previa en evaluaciones post-sismo.
- ✓ Haber sido capacitados en la metodología de evaluación.

Lo anterior es importante porque gracias a los conocimientos y experiencias les será más fácil reconocer los daños estructurales o situaciones no usuales, al tiempo que tendrán el criterio suficiente para tomar las mejores decisiones ante la posible necesidad de evacuar un edificio.

En una labor de inspección post-sísmica, es transcendental cuidar que las determinaciones profesionales y declaraciones estén fundamentadas en información certera y datos objetivos, manifestados a partir del buen conocimiento ingenieril y juicio profesional.

No deja de ser importante que los profesionales a cargo cumplan con el código de ética profesional. El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, solicita a los miembros incorporados reconocer que la seguridad de la vida, la salud, los bienes, el patrimonio, la conservación del ambiente y el bienestar público de todos los integrantes de la sociedad, es su responsabilidad y por ende deberán tomar “las medidas pertinentes para no poner en riesgo la vida, así como para prevenir daños al entorno social o ambiental en que se desempeñan, aplicando los conocimientos técnicos y científicos que rigen la profesión en que se encuentran incorporados al Colegio Federado” (CFIA, 2013).

En caso de que personas voluntarias deseen brindar su ayuda en casos de emergencia, deberán ser propiamente capacitados, pero no estarán en posición de tomar decisiones respecto a la seguridad y habitabilidad de las edificaciones.

## Preparación y capacitación del personal

La instauración de un sistema de inspección requiere la capacitación de profesionales para que estos estén preparados para acudir a intervenciones en el momento en que ocurre un evento sísmico. Está de más decir que es sustancial preparar al personal lo más pronto posible, con anterioridad a la ocurrencia de una emergencia.

El procedimiento de evaluación se puede describir a través de los siguientes pasos, por lo que las personas evaluadoras deben estar en capacidad de entenderlos:

- 1) Examinar el exterior de la edificación, llenar el formulario con la identificación de la edificación y de la estructura
- 2) Evaluar la calidad de la construcción, irregularidades y otros aspectos.
- 3) Observar el estado general de la edificación y daños en la fachada.
- 4) Observar el suelo alrededor de la edificación para determinar posibles grietas, inclinaciones deslizamientos.
- 5) Evaluar el grado de daño de todos los elementos estructurales según el sistema estructural.
- 6) Clasificar la estructura según los resultados de la evaluación.

Por lo tanto, esta capacitación debe tener como objetivo un adecuado entrenamiento en el uso del manual de captura de datos, la entrega de resultados y elaboración estandarizada de los respectivos informes de inspección y evaluación. La idea es convertir a un profesional en un inspector calificado.

“El entrenamiento debe desarrollarse en los siguientes aspectos: procedimiento de movilización, información y ayudas sobre como ubicarse en el terreno y cómo manejar la nomenclatura y la información catastral de los inmuebles” (Carreño, Cardona, & Barbat, 2005)

Organizar capacitaciones y brindar una inducción apropiada en donde se explique el uso del material y equipo, los criterios de evaluación de daños en una edificación y el modo de llenar el formulario de inspección de campo, es esencial. Por lo tanto, se debe familiarizar a los profesionales con los procedimientos y documentos elaborados: “Formulario de evaluación de daños en edificaciones después de un sismo”, “Manual de campo para la evaluación de daños en edificaciones después de un sismo” y “Guía de tipologías comunes de falla de los elementos estructurales”.

Es por esta razón que la creación de cursos de certificación diseñados e impartidos por expertos en evaluación estructural, mediante la participación de universidades, comisiones y entidades afines, permitirá contar con un grupo de evaluadores certificados con conocimientos en inspección de materiales y análisis del comportamiento estructural de los edificios.

## Materiales y equipo

Para realizar los procedimientos de evaluación de daños los equipos de inspectores deben contar con el equipo de protección personal y los artículos necesarios para su seguridad e identificación. Además de contar con los instrumentos necesarios para medir grietas, distancias, entre otros.

El equipo y material con el que las comisiones y cada uno de los evaluadores deberán contar es el siguiente:

- a) Documentos personales.
  - ✓ Identificación personal
  - ✓ Carné de miembro del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica
- b) Equipo de protección personal (EPP)
  - ✓ Casco protector
  - ✓ Botas de punta de acero preferiblemente
  - ✓ Mascarilla para nariz y boca
  - ✓ Lentes de seguridad
  - ✓ Chaleco de seguridad

### c) Material y equipo

- ✓ Formulario de inspección
- ✓ Manual de campo para la evaluación de daños en edificaciones después de un sismo
- ✓ Nombre y número telefónico del contacto en el edificio a evaluar, coordinadores del equipo de evaluación y entidades responsables de la prevención de desastres
- ✓ Mapa de la zona en la que se ubica el edificio a evaluar
- ✓ Navegador de sistema de posicionamiento global portátil (G.P.S.)
- ✓ Etiquetas de la habitabilidad de las edificaciones
- ✓ Cinta amarilla para restringir el paso en áreas inseguras de las edificaciones
- ✓ Libreta para anotar y lapicero
- ✓ Tabla de apoyo
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Linterna y baterías extras
- ✓ Cámara fotográfica
- ✓ Radio de comunicación
- ✓ Brújula
- ✓ Cinta métrica
- ✓ Grietómetro (comparador de grietas)
- ✓ Nivel de mano, plomada y transportador
- ✓ Cincel y martillo
- ✓ Guantes

En caso de poder tener acceso, es muy recomendable contar con el plano de las plantas estructurales del edificio por evaluar.

## Inspección de las edificaciones

Antes de empezar los procesos de evaluación, se sugiere realizar un recorrido rápido por las ciudades afectadas, sobre todo en aquellas zonas donde “la intensidad sísmica haya alcanzado grado VII o más en la escala Mercalli Modificada, valor a partir del cual empiezan a presentarse daños estructurales moderados y daños no estructurales severos en las edificaciones con mayor vulnerabilidad sísmica, que implican riesgo en la seguridad de vida de los ocupantes” (Schmidt, 2006 citado por Castro, 2018).

El propósito es generar información preliminar sobre la extensión del daño y la dimensión de las áreas con mayor intensidad de daños, identificando los edificios obviamente inseguros para iniciar los procedimientos de emergencia. Estos recorridos pueden ser realizados por bomberos, policías o el mismo personal de la Comisión Nacional de Emergencias.

Para lograr este primer paso pueden realizarse reconocimientos aéreos o por tierra, y también mediante la recepción de llamadas de emergencia, ya que se reciben muchas solicitudes de asistencia a la comunidad lo cual permite identificar las zonas de concentración de edificios afectados de forma severa o colapsados, como sugieren Carreño et al (2015).

El procedimiento de inspección como tal debe iniciarse con un reconocimiento preliminar de la zona. La evaluación de daños se desarrolla en dos etapas: la de emergencia y la detallada.

El procedimiento de inspección inicia con un reconocimiento del área, evaluando las condiciones del suelo alrededor de la edificación, para determinar posibles grietas, hundimientos o cualquier anomalía en el terreno que afecte la estabilidad de la edificación. Al mismo tiempo se observan en el exterior posibles daños en la fachada, estado de edificaciones adyacentes, entre otras condiciones preexistentes.

A partir de lo anterior, se definen las vías de acceso más seguras, así como la factibilidad de ingresar a evaluar el interior del edificio. Una vez permitida la entrada, se evalúa el sistema estructural, clasificando el nivel de daño de los elementos estructurales de acuerdo con el manual propuesto en este trabajo. También, los elementos no estructurales según el grado de daño.

Es importante identificar el sistema estructural del edificio y el material con el que fue construido. Con estos resultados, se clasifica el grado de afectación del edificio en cuestión y posteriormente se decide el veredicto de habitabilidad. Para esto se coloca un aviso de clasificación en cada una de las entradas.

Es importante explicar a los ocupantes, el significado de la clasificación establecida, especificando claramente si pueden permanecer con seguridad en la edificación o si deben evacuarla. Cuando el uso es restringido, debe delimitarse el acceso a las áreas designadas como inseguras, instalando barreras o cintas preventivas.

A continuación, se explica la propuesta metodológica y la manera en la que se deberá rellenar el formulario de inspección.



**Figura 1.** Diagrama de flujo de evaluación estructural

### ***Etapa de evaluación rápida***

A partir del estudio de diversas guías, se sugiere la siguiente secuencia en la realización de la inspección:

1. Examinar el exterior del edificio y su estado general, tomando en cuenta que el peligro de colapso puede deberse a su propio estado o a causa del mal estado de edificios adyacentes.
2. Evaluar si las salidas de la edificación son seguras.
3. Observar las características naturales del terreno e inspeccionar el terreno circundante en busca de la posible presencia de grietas, asentamientos, deslizamientos, fallas de taludes cercanos o cualquier otra anomalía del terreno.
4. Caminar alrededor del edificio tanto como sea posible e inspeccionar cada elevación.
5. Rellenar el formulario con la identificación del edificio, la descripción de la estructura y con la evaluación de los daños que se indican.
6. Realizar la clasificación del edificio de acuerdo con los resultados de la evaluación.
7. Completar el aviso correspondiente y colocarlo en todas las entradas del edificio inspeccionado. Se deben tomar las medidas necesarias para restringir el acceso a las áreas designadas como áreas de uso restringido, ya sea con cintas de precaución o barreras.

### ***Etapa de evaluación detallada***

Tras haber completado la evaluación rápida y de ser requerido se prosigue con la evaluación detallada. Debe asegurarse de que la entrada y pasillos del edificio son seguros. *No ingrese* si la edificación está colapsada, existe desviación o inclinación evidente de algún entrepiso o se presenta alguna falla o asentamiento de la cimentación. El procedimiento descrito a continuación se obtiene a raíz de la recopilación de información realizada a partir de las guías comparadas.

1. Evaluar la necesidad y oportunidad de entrar en el edificio. Para la toma de esta decisión, prevalecerán los criterios de seguridad para el personal involucrado en la inspección.
2. Entrar en el edificio cuando así se haya estimado como consecuencia del punto anterior.
3. Evaluar el sistema estructural desde el interior. Se debe analizar el grado de daño de los diferentes elementos estructurales de acuerdo con el tipo de sistema estructural y establecer el nivel de daño de los elementos afectados en el piso con mayores daños.
4. Examinar el sistema vertical de cargas. Verificar si las columnas muestran signos de falla o si el entrepiso o contrapiso ha empezado a alejarse de sus soportes verticales.
5. Examinar el sistema de carga lateral. Observar cualquier posible desplazamiento del piso.
6. Examinar la seguridad de elementos no estructurales como la posible caída de cielos rasos, paredes livianas, escaleras u otros elementos que atenten contra la vida de los habitantes.
7. Completar el formulario con la identificación del edificio, la descripción de la estructura y con la evaluación de los daños que se indican.
8. Realizar la clasificación del edificio de acuerdo con los resultados de la evaluación.
9. Completar el aviso correspondiente y colocarlo en todas las entradas del edificio inspeccionado. Se deben tomar las medidas necesarias para restringir el acceso a las áreas designadas como áreas de uso restringido, ya sea con cintas de precaución o barreras.

### **Componentes del formulario de evaluación**

El formulario contiene doce secciones principales que incluyen los siguientes aspectos

- Identificación del inspector
- Identificación de la edificación
- Descripción de la edificación

- Terreno y cimentación
- Estado general de la edificación
- Problemas geotécnicos
- Condiciones pre-existentes
- Daños en elementos estructurales
- Daños en elementos no estructurales
- Clasificación de habitabilidad
- Recomendaciones y medidas de seguridad.
- Comentarios generales
- Esquema

## Procedimiento para completar el formulario

El procedimiento general para completar el formulario se describe a continuación:

1. Ingresar la fecha y hora de la evaluación.
2. Ingresar nombre del inspector a cargo y su identificación como miembro del Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. Si más de una persona está completando el formulario, debe indicar sus nombres.
3. Identificar el edificio con el nombre y dirección.
4. Ingresar los datos del contacto del edificio sea el propietario, gerente o un ocupante. Esta será la persona a quien se debe informar sobre los resultados de la evaluación.
5. Ingresar los detalles de la descripción del edificio.
6. Ingresar cualquier riesgo externo, refiriéndose al estado general del edificio y características del terreno. Agregar una breve descripción si se observan riesgos distintos a los mencionados en el formulario. Si el riesgo planteado se debe a un edificio vecino, identificar el edificio.
7. Ingresar las condiciones preexistentes que caracterizan el edificio.
8. Ingresar el daño estructural observado. Para cada fila marque el grado de daño determinado.
9. Marcar el nivel daño en los elementos no estructurales.
10. Recomendar cualquier acción adicional que deba ser emprendida.
11. Especificar si es necesaria la delimitación del lugar con cintas preventivas.
12. Definir la clasificación del edificio.
13. Utilizar el espacio para comentarios adicionales.
14. Realizar un esquema que muestre la ubicación del edificio y las partes dañadas del edificio.

# Descripción del formulario de evaluación

A continuación, se presenta una explicación de los diferentes aspectos que componen el formulario.

## 1. Encabezado

Es vital indicar la fecha en la que se realizó la evaluación de la siguiente manera (día / mes / año), colocando el año, con cuatro dígitos; el mes, con dos dígitos; el día, con dos dígitos; y la hora local en formato de 24 horas preferiblemente.

Es importante saber la hora en la que se realizó la evaluación, ya que de presentarse réplicas fuertes que aumenten los daños en la edificación, deberá conocerse si fue antes o después de la evaluación o de alguna intervención de los daños en la edificación. El número de formulario será establecido por la comisión evaluadora.

## 2. Identificación del Inspector

El profesional responsable de realizar la evaluación deberá indicar su nombre completo, su formación y el número de carné inscrito en el Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos, así como indicar la institución a la cual pertenece. Si la evaluación la realizan varias personas se deberá hacer constar su nombre y la información sobre su grado académico.

## 3. Identificación de la edificación

En esta sección se recopilan los datos generales del inmueble con la finalidad de identificar la ubicación física de la edificación y de la persona contactada que suministró información y con la cual puede llegarse a hacer contacto posteriormente.

### 3.1. Nombre del edificio

En primera instancia se debe indicar el nombre del edificio que está siendo evaluado, o bien indicar a la institución pública o privada a la cual pertenece.

### 3.2. Plano catastrado

Deberá indicarse el número del plano catastrado que ha sido inscrito en el Catastro Nacional.

### 3.3. Dirección

Es importante dejar claro la provincia en la que se ubica el edificio de acuerdo a la división política y administrativa de Costa Rica, además se indicará el cantón y distrito al que corresponda.

Se debe ofrecer la dirección exacta del lugar, mencionando nombres de calles, avenidas, condominio residencial, entre otras indicaciones que permitan identificar la edificación sin problema.

### 3.4. Coordenadas geográficas

También, se solicitan las coordenadas geográficas con la ayuda de un navegador con sistema de posicionamiento global (GPS). Se anotará como a continuación se indica:

*latitud:* (Norte-Sur) grados (°) minutos (') segundos (")

*longitud:* (Este-Oeste) grados (°) minutos (') segundos (")

### 3.5. Persona de contacto

Por último, se pide indicar los datos de la persona de contacto, ya sea el nombre del propietario del edificio o bien la persona que atendió al evaluador y su función en el lugar, sea este director, administrador, encargado de seguridad, propietario, etc. ya sea para poder contactarse en futuras re-inspecciones o cualquier otra diligencia; incluso, de ser el caso, comunicar que se debe evacuar total o parcialmente la edificación.

## 4. Descripción de la edificación

Con el fin de comprender el comportamiento y desempeño de las edificaciones sometidas a cargas sísmicas, se requiere la siguiente información:

### 4.1. Importancia de la edificación

El Código Sísmico de Costa Rica (2010), establece que toda edificación debe ser clasificada según la importancia de su ocupación o función:

- a. Grupo A: Edificaciones e instalaciones esenciales
- b. Grupo B: Edificaciones e instalaciones riesgosas
- c. Grupo C: Edificaciones de ocupación especial
- d. Grupo D: Edificaciones de ocupación normal
- e. Grupo E: Edificaciones misceláneas

La descripción detallada de cada grupo se encuentra a continuación en el Cuadro 4.1. Se deberá seleccionar el grupo al cual pertenezca el edificio evaluado. Este punto puede rellenarse después de realizada la evaluación.

CUADRO 4.1 CLASIFICACIÓN DE EDIFICACIONES SEGÚN IMPORTANCIA				
Grupo	Descripción	Ocupación o función de la edificación	Factor <i>I</i>	Factor <i>I<sub>p</sub></i>
<b>A</b>	Edificaciones e instalaciones esenciales	Hospitales e instalaciones que poseen áreas de cirugía o atención de emergencias. Estaciones de policía y bomberos. Garajes y refugios para vehículos o aviones utilizados para emergencias. Instalaciones y refugios en centros de preparación para emergencias. Terminales aeroportuarias y torres de control aéreo. Edificaciones y equipo en centros de telecomunicaciones y otras instalaciones requeridas para responder a una emergencia. Generadores de emergencia para instalaciones pertenecientes al grupo A. Tanques de almacenamiento de agua que sean esenciales. Estructuras que contienen bombas u otros materiales o equipo para suprimir el fuego.	1,25	1,50

<b>B</b>	Edificaciones e instalaciones riesgosas	Obras e instalaciones utilizadas para la producción, almacenamiento y trasiego de sustancias o químicos tóxicos o explosivos. Obras que contienen o soportan sustancias tóxicas o explosivas. Obras cuya falla pueda poner en peligro otras edificaciones de los grupos A y B.	1,25	1,50
<b>C</b>	Edificaciones de ocupación especial	Edificaciones para actividades educativas con una capacidad mayor que 300 estudiantes. Edificios para centros de salud con 50 o más pacientes residentes, pero no incluidas en el grupo A. Todas las edificaciones con una ocupación mayor que 5000 personas no incluidas en los grupos A o B. Edificaciones y equipo en estaciones de generación de energía y otras instalaciones públicas no incluidas en el grupo A y requeridas para mantener operación continua.	1,00	1,25
<b>D</b>	Edificaciones de ocupación normal	Todas las obras de habitación, oficinas, comercio o industria y cualquier otra edificación no especificada en los grupos A, B, C o E.	1,00	1,25
<b>E</b>	Edificaciones misceláneas	Construcción agrícola y edificios de baja ocupación. Galpones y naves de almacenamiento de materiales no tóxicos y de baja ocupación. Tapias y muros de colindancia (ver nota). Obras e instalaciones provisionales para la construcción.	0,75	1,00

Fuente: CSCR-10

Nota. Cuando no representen riesgo elevado a los transeúntes, las tapias y muros de colindancia pueden diseñarse como sistemas o componentes no estructurales conforme al capítulo 14.

#### 4.2. **Uso de la edificación**

En este espacio de debe indicar con una “X” el espacio que muestre el uso del edificio en cuestión, según la siguiente clasificación:

<b>CUADRO 4.2. USO DE LA EDIFICACIÓN</b>	
<b>Uso</b>	<b>Ejemplo</b>
Residencial	- Casas De Habitación, - Viviendas Multifamiliares, - Apartamentos, Condominios, Etc.
Hotelero	- Hoteles, - Moteles, - Hosteles,
Salud	- Hospitales, - Centros De Salud, - Ebais,

	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Clínicas,</li> <li>- Laboratorios,</li> <li>- Asilos, Etc.</li> </ul>
Educativo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Jardín De Niños,</li> <li>- Escuela Primaria,</li> <li>- Escuela Secundaria,</li> <li>- Liceos,</li> <li>- Colegios Técnicos,</li> <li>- Universidades,</li> <li>- Bibliotecas,</li> <li>- Museos, Etc.</li> </ul>
Comercial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Supermercados,</li> <li>- Pulperías,</li> <li>- Farmacias,</li> <li>- Ferreterías,</li> <li>- Tiendas De Ropa,</li> <li>- Centros Comerciales,</li> <li>- Salones De Belleza,</li> <li>- Restaurantes,</li> <li>- Cafeterías,</li> <li>- Bares, Etc.</li> </ul>
Industrial	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fábricas,</li> <li>- Talleres De Reparación Automotriz, Etc.</li> </ul>
Oficinas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Oficinas,</li> <li>- Despachos,</li> <li>- Bancos, Etc.</li> </ul>
Bodegas	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Bodegas Industriales o Comerciales</li> </ul>
Estacionamiento	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Edificios y sótanos de estacionamiento</li> </ul>

Cualquier otro uso distinto a los anteriormente mencionados, deberá especificarse en el espacio en blanco.

#### 4.3. Tipo de propiedad

Se refiere al tipo de propiedad, distinguiendo entre pública o privada.

#### 4.4. Ocupación

El estado de ocupación de la edificación al momento de realizar la inspección deberá especificarse según se encuentre habitada, deshabitada o desalojada por daños. Según Aragón, Flores y López (2011), se definen de la siguiente manera:

- Habitada: cuando la propiedad esté en ocupación y funcionando con normalidad.
- Deshabitada: cuando la propiedad no se ha usado en mucho tiempo por causas ajenas al evento sísmico, incluso si es funcional. Otras razones son porque se encuentra en construcción, porque se ha dejado incompleto o por abandono debido a malas condiciones de mantenimiento y/o funcionalidad.
- Desalojada por daños: cuando la propiedad ha sido puesta fuera de servicio por causa del evento sísmico, ya sea temporal para ser evaluada, aunque no se manifiesten daños notorios.

Además, se debe de indicar la capacidad del inmueble o bien la cantidad promedio de trabajadores y/o usuarios generalmente presentes, irrelevantemente de que esté en uso o no.

#### 4.5. Año de construcción

Determinar con exactitud la edad de una edificación es complicado, ya que a simple vista no se puede descifrar. En ocasiones, la edificación cuenta con una placa de construcción en la que se indica la fecha de su construcción, caso contrario se debe preguntar la fecha aproximada a las personas que habitan la edificación.

La edad de las construcciones está relacionada de forma indirecta con muchos de los daños observados durante los sismos. En muchas ocasiones el deterioro de los materiales constructivos ya sea por erosión causada por el clima o por su misma degradación con el paso de los años, aumenta la vulnerabilidad de las edificaciones. Generalmente, edificios antiguos son más susceptibles a daños que construcciones más recientes. Algunos indicadores de edad de los materiales de construcción se describen en el Cuadro 4.3.

<b>CUADRO 4.3. INDICADORES DE EDAD DE LOS MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN</b>		
<b>Material</b>	<b>Indicador de edad</b>	
	<b>Construcción antigua</b>	<b>Construcción Nueva</b>
Concreto reforzado	Marcas rectas del revestimiento.	Marcas del encofrado de plywood.
Pórticos de madera	Armados de cubiertas en forma de arco. Cubiertas rectas o diagonales.	Revestimiento de plywood.
Pórticos de acero	Construcción retorcida. Tornillos comunes.	Construcción soldada. Tornillos de alta resistencia. Abrazaderas abiertas. Vigas cónicas.
Albañilería	Mortero débil. Anclajes de pared expuestos. Juntas de cabecera.	Mortero fuerte.
Prefabricados	Plywood clavado, sin anclajes de techo.	Elementos de marco de techo anclados a la pared.
Tabiques resistentes al fuego	Azulejo hueco. Listón de madera y yeso.	Tablas de yeso.

Fuente: Vizconde (2017)

La importancia de esto recurre en poder analizar el comportamiento de la edificación de acuerdo a los criterios bajos los cuales fue diseñada y construida. Si bien es cierto, el gran porcentaje de las normativas de diseño sismo-resistente corresponden a menos de 50 años (Carrión & Colina, 2016); por lo que construcciones más antiguas fueron diseñadas sin ningún tipo de consideración sismo-resistente.

Por lo cual, los períodos que se han utilizado para clasificar las edificaciones, se establecieron de acuerdo a las diferentes publicaciones del Código Sísmico de Costa Rica, desde su primera versión en 1974, posteriormente en 1986, 2002, 2010 y su revisión en el 2014; el cual rige los requerimientos de construcción sismo-resistente en el país.

#### 4.6. Año rehabilitación

En caso de existir reparación, refuerzo o reestructuración del edificio, deberá indicarse el año de la última rehabilitación mayor a la que ha sido sometido el inmueble.

#### 4.7. Número y altura de los pisos

Se debe indicar el número de pisos o niveles con los que cuenta el edificio, considerando que:

- a. Pisos: Niveles que se encuentran sobre el nivel del terreno, es decir, a partir del nivel donde los desplazamientos laterales son significativos por lo que no están restringidos por el terreno circundante (Aragón, Flores, & López, 2011)
- b. Sótano: Niveles que están por debajo del nivel del terreno.

También, se indicará la altura de piso, la cual se entiende como la distancia vertical desde la cara inferior de la losa de techo hasta la cara superior de la losa de piso.

#### 4.8. Dimensiones aproximadas de la edificación.

Se deberán medir de manera aproximada las dimensiones de la edificación, y posteriormente estimar su área. En caso de que la edificación sea irregular en planta o con voladizos se deberá medir el largo de todos sus lados, considerado:

- a. Frente: Lado donde se encuentra la fachada o entrada principal a la edificación.
- b. Fondo: Lado perpendicular al lado de frente.

#### 4.9. Sistema estructural

En primer lugar, se deberá identificar el sistema estructural de la edificación, así como definir el material estructural que predomina en la construcción, considerando en su mayoría los elementos como columnas, muros y vigas.

En el caso de muros, estos generalmente están cubiertos por repello por lo que a simple vista no será fácil saber si están conformados por concreto reforzado o mampostería. Castro (2018), recomienda en estos casos remover el repello con una piqueta en un pequeño sector a efectos de exponer el material estructural o en su defecto explorar sectores agrietados. Por otro lado, si se dispone de un detector de refuerzo, éste puede utilizarse para discriminar entre mampostería reforzada y no reforzada.

##### 4.9.1. Estructuras de concreto

Se presentan tres categorías para las construcciones de concreto, cuyas definiciones están dadas por la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia (2013):

- a. **Tipo Marco:** conjunto estructural conformado por vigas y columnas unidos en forma rígida. Los nudos o uniones son los que se encargan de la transferencia de cargas verticales y horizontales hasta la cimentación.



Figura 4.9.1. Marco de concreto (Asociación de fabricantes de morteros y SATE, 2016)

- b. **Tipo Muro:** conjunto estructural en que los elementos verticales son muros resistentes a cargas verticales y horizontales, responsables de transmitir dichas cargas.



Figura 4.9.2. Construcción en muros de concreto (Morales, 2016)

- c. **Tipo Dual:** conjunto estructural combinado de marcos y muros estructurales o marcos arriostrados mediante elementos que limitan su deformación lateral en caso de cargas laterales.

#### 4.9.2. Estructuras de mampostería

Los elementos estructurales verticales son muros o paredes construidas con bloques o ladrillos de arcilla u hormigón unidos con mortero. Se presentan tres categorías:

- a. **Mampostería confinada:** construcción de muros de mampostería rodeados por elementos perimetrales de concreto armado (viguetas y columnas) de dimensiones reducidas, construidos alrededor de las paredes conformando anillos que confinan las piezas de mampostería (AIS, 2002).



Figura 4.9.3. Muro de mampostería confinada (Mendoza & Rodelo, 2007)

- b. **Mampostería reforzada:** posee refuerzos horizontales y verticales en su interior y rellenos de concreto. También, se conoce como mampostería integral, es una de las más seguras y resistentes. Según Mendoza & Rodelo (2007), la distribución de las barras de refuerzo vertical y horizontal se

realiza en el interior del muro, en las zonas y direcciones en que se puedan presentar tensiones, se aprovechan generalmente para ello los huecos de las piezas. De esta manera se logra resistencia a flexión del muro y resistencia a tensión diagonal por efectos de fuerzas en el plano.

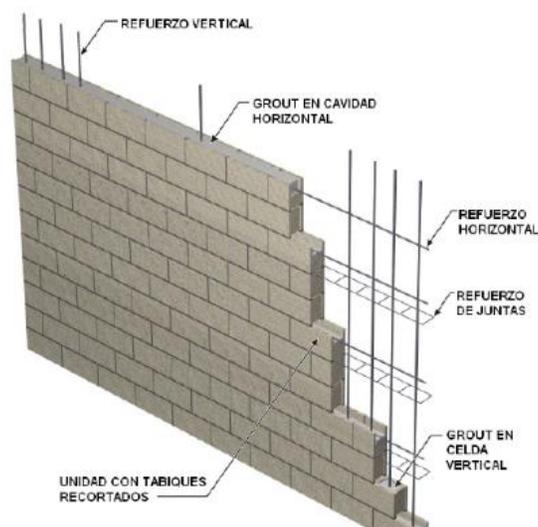
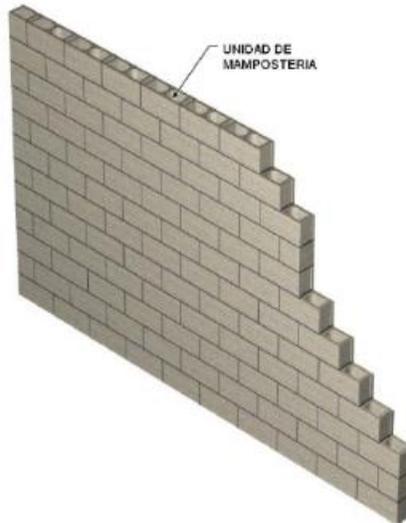


Figura 4.9.4. Muro de mampostería reforzada (Mendoza & Rodelo, 2007)



Figura 4.9.5. Muro de mampostería reforzada (M&M Construcciones, 2017)

- c. **Mampostería no reforzada:** Según AIS (2002), es aquella que no tiene ningún tipo de refuerzo (varillas de acero) ni confinamiento mediante elementos estructurales como elementos perimetrales de concreto reforzado. También, se conoce como mampostería simple.



**Figura 4.9.6.** Muro de mampostería no reforzada (Mendoza & Rodelo, 2007)



**Figura 4.9.7.** Muro de mampostería no reforzada (Revista Educativa, 2015)

### 4.9.3. Estructura de acero

Los elementos estructurales son de acero y están conectados mediante uniones soldadas, atornilladas o remachadas. Se presentan dos categorías cuyas definiciones están dadas por la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia (2013):

- a. **Marcos arriostrados:** son conjuntos estructurales constituidos por vigas y columnas cuya estabilidad lateral se proporciona por medio de arriostramientos diagonales o muros.



*Figura 4.9.8. Marco arriostrado de acero (Jarous, 2012)*

- b. Marcos no arriostrados:** son aquellos cuya estabilidad lateral depende de la rigidez a flexión de las vigas y columnas y sus conexiones.



*Figura 4.9.9. Marco no arriostrado de acero (Maestranza, s.f.)*

#### 4.9.4. Otros

En caso de no estar contemplado el sistema estructural entre los anteriores se debe marcar esta casilla, especificando en el espacio indicado el sistema estructural.

Nota: Las estructuras en las cuales exista combinación de materiales, y sea fácil definir uno como predominante deben ser clasificadas en cualquiera de las categorías anteriores.

#### 4.10. Sistema de entrepiso

El entrepiso tiene influencia en el comportamiento sísmico de la edificación, debido a que su peso y desempeño transmiten acciones horizontales a los elementos verticales; por lo que se deberá indicar el sistema que predomina. Los tipos de losa considerados en esta sección son los que siguen:

- a. Losa monolítica

- b. Losa prefabricada
- c. Losa nervada en dos direcciones
- d. Viguetas pretensadas
- e. Metal deck
- f. Viguetas de acero

Si la edificación cuenta con un sistema de entrepiso distinto a los anteriormente mencionados, deberá seleccionarse la casilla "Otros", e indicar el sistema en el espacio en blanco.

## 5. Terreno y cimentación

Los datos fundamentales del terreno abarcan sus características topográficas, sitio de cimentación y tipo de cimentación. Estas características son importantes ya que de ellas puede depender el comportamiento y estabilidad de la estructura.

### 5.1. Topografía

El Centro Nacional de Prevención de Desastres de México (CENAPRED, 2011) recomienda especificar la morfología del terreno con el fin de caracterizar posible vulnerabilidad a causa de una fuerte pendiente del terreno que pueda provocar deslizamientos, asimetría en los apoyos, posible presencia de rellenos y muros de contención, etc.

Además, la proximidad a cuerpos de agua puede identificar posibles problemas por inundaciones, saturación del subsuelo, pérdida de terreno por erosión, problemas de humedad, etc. De este modo, las principales configuraciones topográficas son definidas en el Manual del formato de captura de datos para evaluación estructural (CENAPRED, 2011) y se ilustran en la Figura 5.1.

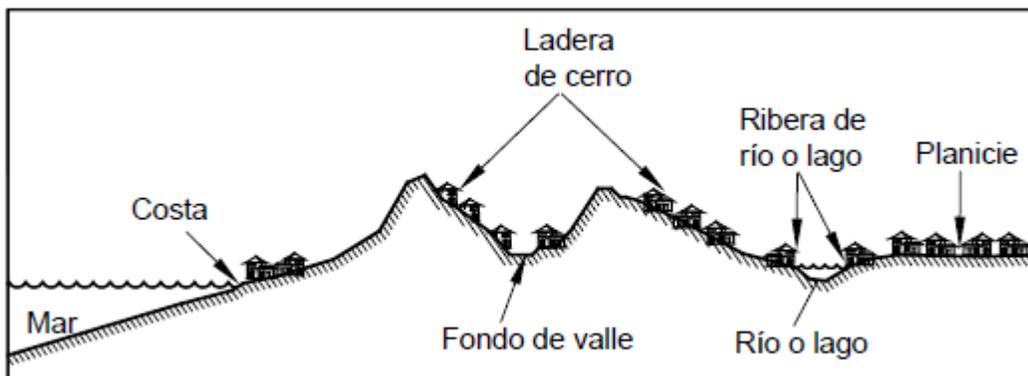


Figura 5.1.1. Configuración topográfica (CENAPRED, 2011)

- Planicie: gran área de terreno plana, sin variaciones de pendiente considerables en su extensión.
- Ladera de cerro: Declive lateral de un cerro, monte o montaña.
- Ribera de río o lago: orilla de algún río o lago que puede ser susceptible de ser inundada. En este caso se debe incluir en el registro la distancia existente en metros entre la construcción y el río o lago.
- Fondo de valle: espacio entre dos elevaciones poco distantes entre sí.
- Costa: orilla del mar y terreno que está cerca de ella; está expuesta a la acción del viento, mareas y oleaje.

## 5.2. Sitio de cimentación

Se refiere al tipo de suelo sobre el que se ubica el inmueble a evaluar, según el Código Sísmico de Costa Rica 2010 (Revisión 2014), se establecen cuatro tipos:

- Sitio tipo S1: Un perfil de roca o suelo rígido o denso con propiedades semejantes a la roca.
- Sitio tipo S2: Un perfil de suelo con condiciones predominantes de medianamente denso a denso o de medianamente rígido a rígido.
- Sitio tipo S3: Un perfil de suelo con 6 a 12 m de arcilla de consistencia de suave a medianamente rígida o con más de 6 m de suelos no cohesivos de poca o media densidad.
- Sitio tipo S4: Un perfil de suelo que contenga un estrato de más de 12 m de arcilla suave.

La identificación del tipo de suelo no es sencilla si no se cuenta con la experiencia. En ocasiones no posee información documental de estudios de suelos previos en el sitio de la edificación evaluada. Sin embargo, CENAPRED (2011) sugiere que con estudios de zonificación geotécnica y mapas se puede identificar el tipo de terreno, por lo tanto, este espacio podrá completarse al final de la evaluación.

## 5.3. Tipo de cimentación

### a. Cimentaciones superficiales

Aquellas cuya profundidad de desplante es relativamente pequeña, en proporción con el ancho de la base de apoyo (losa o zapata); generalmente tienen entre 0,5 y 4,0 m de profundidad:

- Zapatas aisladas:** es una losa de concreto que sirve de base para elementos estructurales puntuales como columnas, consisten en una “ampliación de la base de la columna para distribuir de manera adecuada los esfuerzos que se transmiten al suelo” (Montoya & Pinto, 2010).
- Zapatas corridas:** losa de concreto empleada como apoyo para varias columnas a la vez o para el apoyo de muros por lo que reciben una carga lineal.
- Losa de cimentación:** es una placa extensa de concreto reforzado que se apoya directamente sobre el terreno, y permite repartir el peso y las cargas del edificio sobre toda su superficie de construcción (Tauscher et al, 2016). Según Montoya y Pinto (2010), es una zapata combinada que cubre toda el área que queda debajo de una estructura y que soporta todos los muros y columnas.

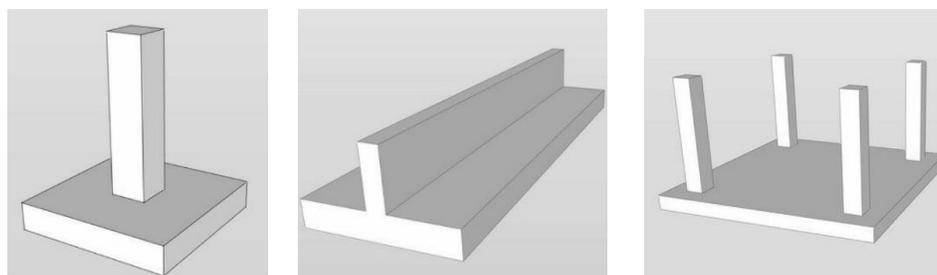


Figura 5.3.1. Tipos de cimentaciones superficiales (Fernández, 2014)

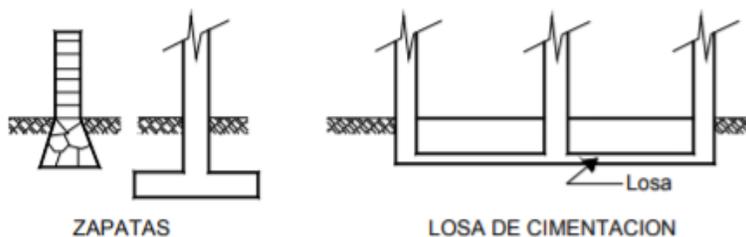


Figura 5.3.2. Tipos de cimentaciones superficiales (Aragón, 2011)

### b. Cimentaciones profundas

Según Montoya y Pinto (2010), se basan en el esfuerzo cortante entre el terreno y la cimentación para soportar las cargas aplicadas, por lo que se ubican a profundidad para poder distribuir los esfuerzos sobre una gran área.

- **Pilotes:** elementos esbeltos y alargados que trabajan esencialmente bajo carga axial transmitiendo el peso de la estructura a las capas inferiores del subsuelo; y se introducen en el terreno mediante impactos con un martillete o por vibración (Aragón et al, 2011).

### c. Otros

Cualquier tipo no contemplado en los anteriores. Se deberá aclarar en el espacio indicado el tipo de cimentación.

## 6. Estado de la edificación

### 6.1. Estado General

#### a. Colapso total

Cuando se presenta existe derrumbe total de la estructura, representando un daño equivalente al 100% de dicha estructura, sin posibilidad de rehabilitación por lo que no es utilizable y debe restringirse el acceso al área (Aragón et al, 2011).

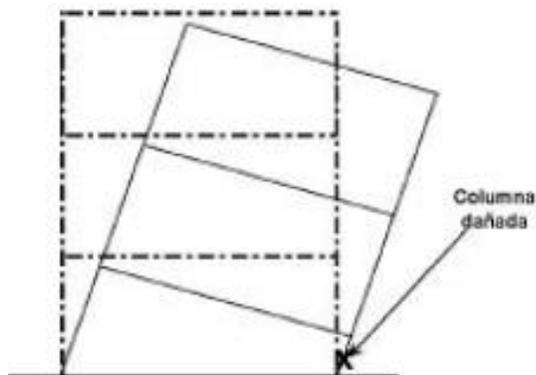


Figura 6.1.1. Colapso por falla en columna del primer piso (AIS, 2003)



Figura 6.1.2 Colapso del Hotel Internacional, en Limón, producto del terremoto de 1991 (LIS, 2011)

**b. Colapso parcial**

Según Aragón et al (2011) , cuando existe un daño severo localizado en ciertas áreas de la estructura, que, aunque el daño es severo no implica peligro para la estabilidad global del edificio. Para declarar el nivel de impacto en la estabilidad global del edificio, debe identificarse la causa principal de la falla parcial del sistema estructural y debe indicarse la zona del daño, si por ejemplo el daño ocurrió en la planta baja, en algún nivel intermedio o en el último piso (colapso del techo de azotea). En caso de que el daño haya afectado varios niveles o toda una sección del edificio, ya sea en sentido vertical u horizontal, se debe estimar el porcentaje que ésta área ocupa respecto al total del edificio no dañado.

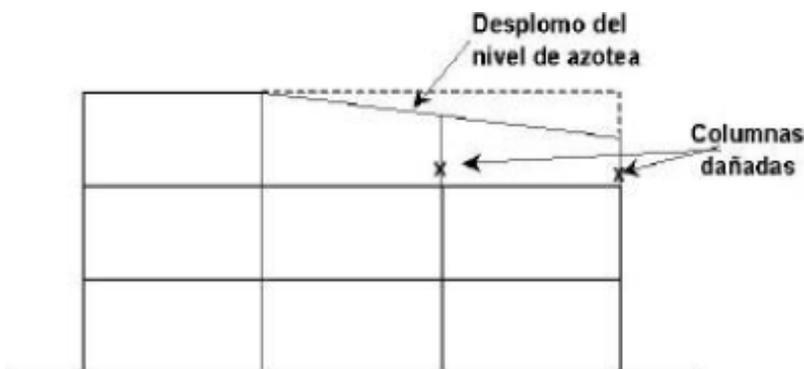


Figura 6.1.3. Colapso parcial (AIS, 2003)



**Figura 6.1.4.** Colapso del primer piso del Hotel New Society, Cotabato City, Mindanao, Filipinas, 1976 (Selna y Tso, 1980 citado por Hernández, 2007)

### c. Inclinación del edificio

Es la pérdida de verticalidad general del edificio. En ocasiones se puede observar a simple vista, pero de no ser evidente, se recomienda el uso de una plomada o un nivel para comprobar si la edificación está inclinada o no.

Cuando la inclinación es clara a simple vista, como en la Figura 6.5 es porque se ha superado el umbral máximo establecido, en este caso por una falla a torsión. Aunque fallas en sus cimientos o el suelo de soporte, también pueden ser causas de afectación

Aragón et al (2011), propone el cálculo de la inclinación, dividiendo el desplazamiento horizontal en la azotea entre la altura del edificio y se multiplica por 100 para tener porcentaje. Se brinda el siguiente ejemplo: con una plomada o instrumentos topográficos se determina un desplazamiento en azotea de 5,0 cm para un edificio de 12,0 m de altura (1200 cm), la inclinación se calcula como:

$$\text{Inclinación} = \frac{5}{1200 \times 100} = 0,42\%$$



**Figura 6.1.5.** Falla torsional y consecuente inclinación de edificio en Taiwán, 1999 (Taiwan Collection, 2000 citado por Hernández, 2007)

En caso de existir inclinación se marcará la casilla “Evidente” y se especificará el porcentaje de inclinación. Modo contrario se indica que no hay o que no fue posible determinarla.

**d. Falla o asentamiento de la cimentación**

Según Farbiarz et al (2011), el suelo se deforma bajo cargas, de forma que todo apoyo es susceptible de sufrir asentamientos a medida que la edificación se va cargando. Un asentamiento es el cambio relativo de nivel entre dos porciones del suelo adyacentes que ocurre por la falta de capacidad de carga del terreno de cimentación o de deformaciones plásticas permanentes.

Por otra parte, “cambios en la humedad del suelo u otros factores pueden ocasionar asentamientos relativos entre apoyos. Este movimiento diferencial puede ocasionar daños importantes en los elementos estructurales y no estructurales de una edificación” (Farbiarz et al, 2011).

Cuando el asentamiento es menor a 10 cm el riesgo es medio, si este se encuentra en un rango de 10 a 20 cm o supera los 20 cm entonces se considera riesgo alto y muy alto respectivamente, sugieren Rodríguez y Castellón (1995). Por lo tanto, deberá indicarse en el espacio en blanco el valor del asentamiento.

**e. Peligro de objetos que pueda caer**

La caída de objetos es la causa más común de heridas. Cuando los objetos no se encuentran debidamente anclados y son sometidos a fuerzas sísmicas, dependiendo de su localización, tamaño, forma y orientación pueden sufrir caída (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2011)

Elementos no estructurales dañados como parapetos, ornamentos, tejas y otros pueden llegar a desprenderse, elementos agrietados, inclinados o con fallas en sus soportes pueden caer eventualmente, poniendo en peligro la integridad física de las personas. Elementos suspendidos pueden balancearse debido a al movimiento sísmico, pudiendo perder su soporte vertical o chocar con otros elementos.

También, debe tomarse en cuenta que durante un movimiento sísmico severo es probable que diferentes objetos (muebles, artefactos electrónicos...) se hayan desplazado de su lugar. El Laboratorio de Ingeniería Sísmica de la Universidad de Costa Rica, desarrolla que cuando elementos sin sujeción son movidos por un terremoto, las fuerzas inerciales pueden causar deslizamiento, oscilaciones y golpes con otros objetos o volcamiento, obstaculizándose el paso para el desalojo del edificio. Aunque no representa un riesgo estructural, significa un riesgo que atenta la vida de los ocupantes y que además pueden llegar a bloquear las salidas de emergencia.

Cuando una edificación presenta colapso parcial, inclinación o asentamiento se considera insegura pues dependiendo del mecanismo de falla, el porcentaje afectado y la zona donde ha ocurrido el daño, la estructura estará propensa al volcamiento o colapso total en cualquier momento.

Tras evaluar las condiciones expuestas, se debe clasificar el nivel de daño por inestabilidad global. Para ello se hará uso del Cuadro 6.2 que fue modificado a partir de la guía de la Asociación Colombiana Sísmica (2003) y el manual del Instituto de Ingeniería UNAM (1995).

<b>CUADRO 6.1. DETERMINACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD GLOBAL</b>				
<b>Daños</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy Alto</b>
Existe colapso	No	No	Parcial	Parcial o Total
Inclinación del edificio	No	Sí	Sí	Sí
Falla o asentamiento	No	Sí	Sí	Sí
Peligro de objetos que puedan caer	No	No	Sí	Sí

Para complementar el cuadro anterior, revisar el Cuadro 6.2.

CUADRO 6.2. OBSERVACIONES IMPORTANTES PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGO POR INESTABILIDAD GLOBAL	
Nivel de daño	Descripción
Muy Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Edificios han alcanzado estados límites últimos, con un colapso total o parcial superior al 50%.</li> <li>- Hay elementos colapsados y desplomes en zonas no colapsadas que representan peligro para el ingreso y circulación de personas en sus alrededores.</li> <li>- Hay asentamiento mayor a 20,0 cm.</li> <li>- Hay inclinación notable.</li> <li>- Hay peligro de objetos que puedan caer.</li> </ul>
Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Edificios con colapso parcial inferior al 50% y superior al 5%, cuya parte de la estructura en pie no está sobrecargado ni en condiciones de sufrir un colapso progresivo.</li> <li>- Hay asentamiento entre 10,0 y 20,0 cm.</li> <li>- Hay peligro de objetos que puedan caer.</li> </ul>
Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hay elementos colapsados o en riesgo de colapsar.</li> <li>- No hay asentamientos o muy leve (menor a 10,0 cm).</li> <li>- Hay inclinación inferior al 5%.</li> <li>- Tras apuntalamiento no representa un peligro para la estabilidad de la edificación o la seguridad de los peatones en sus alrededores.</li> </ul>
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- No existe colapso ni desplome de ningún entrepiso.</li> <li>- No hay asentamientos.</li> <li>- No hay inclinación.</li> </ul>

Fuente: Modificado de Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

### 6.2. Problemas geotécnicos

Cuando en el recorrido por el exterior de la estructura se detecte la presencia de cualquiera de los siguientes eventos, se deberá indicar marcando la casilla correspondiente.

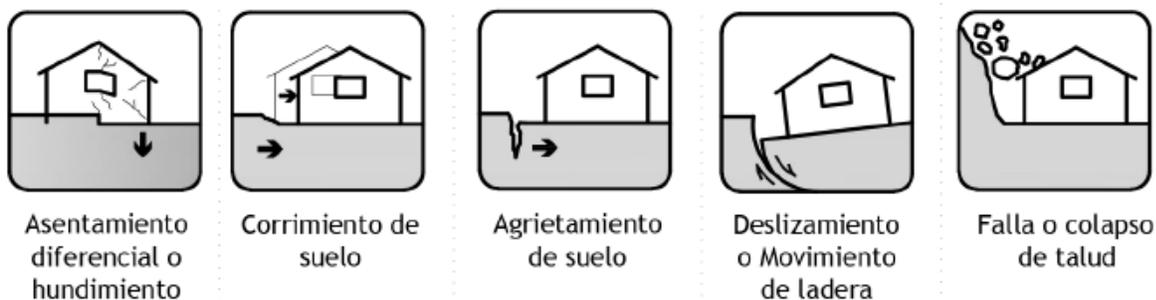


Figura 6.2.1 Condiciones de la estructura con relación al terreno (CONRED, 2015)

Los problemas ilustrados anteriormente se explican a continuación tomando como referencia las definiciones dadas por CENAPRED (2015):

- Asentamiento diferencial:** movimientos descendentes de la superficie del suelo.
- Movimiento del suelo:** Desplazamiento horizontal del suelo, perdiéndose la continuidad.
- Presencia de grietas en el suelo:** Fisuras largas y estrechas, producto de la separación del material del suelo.
- Deslizamiento cercano:** el movimiento de un bloque de tierra hacia fuera y hacia abajo

- e. **Falla de talud cercano:** Las ondas sísmicas pueden producir desplazamientos del suelo o desprendimiento brusco de rocas. Debido a esto es necesario revisar si en los alrededores de las edificaciones existe un talud que pueda poner en riesgo la seguridad de la edificación.
- f. **Erosión:** proceso de desgaste de la superficie del suelo por acción de las corrientes superficiales de agua o hielo glaciario, el viento o la acción de los seres vivos.
- g. **Licuefacción:** es un aumento de la presión de poro por lo que el agregado pierde toda la resistencia al corte y el terreno su capacidad portante. Se producen en suelos granulares: arenas limosas saturadas, arenas muy finas redondeadas y arenas limpias, entre otros tipos de suelo.

García (2012) explica que cuando se observen fallas en el suelo que mantienen la continuidad en dirección y dimensión, son de peligro si atraviesan la estructura o cerca de esta. Además, si una falla muestra movimiento relativo del suelo de 5 centímetros o más en sus direcciones vertical, longitudinal y/o transversal (asentamientos, corrimientos y/o grietas), deberá considerarse el área insegura, tanto estructural como geológicamente; aunque dicha falla no se manifieste con daños visibles en la edificación.

<b>CUADRO 6.3. DETERMINACIÓN DE RIESGO POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS</b>				
<b>Daños</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy Alto</b>
Grietas en el suelo	No	No	Parcial	Total
Falla en talud cercano	No	Parcial	Parcial	Total
Deslizamiento cercano	No	No	Parcial	Total
Movimiento masivo del suelo	No	No	Parcial	Total
Erosión	No	No	Parcial	Total
Licuefacción	No	No	Total	Total
Asentamiento diferencial	No	No	Parcial	Total

<b>CUADRO 6.4. OBSERVACIONES IMPORTANTES PARA LA DETERMINACIÓN DE RIESGO POR PROBLEMAS GEOTÉCNICOS</b>	
<b>Nivel de daño</b>	<b>Descripción</b>
Muy Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El fenómeno geotécnico (remoción en masa, subsidencia o licuefacción), produjo fallas severas en las estructuras de cimentación o existen problemas evidentes en la edificación de emersión, inclinación o asentamiento.</li> <li>- Cuando la edificación, habiendo sufrido daño o no, se encuentra localizada sobre o muy cerca al área de influencia potencial por avance o reactivación del fenómeno y el potencial de reactivación es inminente o muy probable, bajo ciertas consideraciones geotécnicas.</li> </ul>
Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- El fenómeno geotécnico es puntual, pero sugiere una disminución significativa de la capacidad del suelo para resistir las cargas verticales de la edificación o existen problemas evidentes en la edificación de emersión, inclinación y Asentamiento</li> <li>- Cuando la edificación, habiendo sufrido daño o no, se encuentra localizada a cierta distancia, que aún no es suficiente para excluirla del área de influencia potencial por avance o reactivación del fenómeno, y el potencial de reactivación es inminente o muy probable.</li> </ul>

Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- La edificación no se encuentra localizada en área de influencia del fenómeno, pero sí en sus proximidades y no existen claramente condiciones que hagan la ocupación de la edificación insegura, pero se recomiendan algunas medidas de carácter preventivo ya que es probable la reactivación del fenómeno.</li> <li>- Cuando existen dudas de problemas en la edificación de inclinación y asentamiento.</li> </ul>
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Fuera de la zona de influencia del fenómeno geotécnico.</li> <li>- Cuando el fenómeno no produjo daños sobre la edificación y ha sido clasificado con probabilidad menor de reactivación.</li> <li>- Cuando no existen problemas en la edificación de inclinación y asentamiento.</li> </ul>

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

## 7. Clasificación de habitabilidad

Después de realizada la inspección del edificio, y tras haber evaluado los campos referidos al estado general del edificio y problemas geotécnicos se debe clasificar el edificio de acuerdo a los siguientes tres niveles:

### 7.1. *Habitable*

Se representa con color verde. Significa que la ocupación del edificio es permitida, y no existen restricciones de uso. Puede usarse sin ninguna amenaza contra la vida de las personas, para lo cual se garantiza que:

- a) El sistema resistente a cargas tanto verticales como laterales, no presenta reducción significativa en su capacidad
- b) No hay evidencia de daños severos en la estructura ni en el terreno circundante.
- c) Los daños identificados son muy leves y muy puntuales en elementos arquitectónicos que pueden ser fácilmente reparados y que no son un peligro para la integridad de las personas. La reparación del daño no es una condición necesaria para uso del edificio.
- d) No hay urgencia de tomar contramedidas a corto plazo.
- e) Las escaleras y salidas principales no están obstruidas.
- f) No hay peligro de caída de objetos.

Es importante dejar en claro que, en caso de réplica, la condición de seguridad puede variar ya que puede incrementarse el daño en el edificio y el riesgo para sus ocupantes.

### 7.2. *Uso Restringido*

Se representa con color amarillo. Pueden ocurrir dos casos:

a) El inspector define que el estado de daño en partes limitadas del edificio puede implicar un riesgo elevado para sus ocupantes, por esta razón, la ocupación legal del edificio estará restringida en algunas zonas especificadas y debidamente señalizadas, permitiendo el acceso siempre y cuando se tomen las precauciones pertinentes. Es decir, el uso está condicionado a la remoción o reparación de elementos con peligro de caerse, y a la reparación de daños estructurales. Para ello se indican las zonas restringidas y se especifican en detalle las contramedidas necesarias a corto para garantizar la seguridad pública. Cabe señalar que estas contramedidas serán "a corto plazo", es decir, con un gasto moderado y sin ninguna intervención de diseño preciso. De lo contrario, el edificio debe considerarse inutilizable.

b) El inspector define que hay una disminución significativa en la capacidad para resistir cargas, o bien existen daños importantes en elementos arquitectónicos. No se permitirá el uso continuo, ni entrada al público, únicamente se permite la entrada autorizada con fines de emergencia.

Es importante dejar en claro que, en caso de réplica, la condición de seguridad puede variar ya que puede incrementarse el daño en el edificio y el riesgo para sus ocupantes.

### 7.3. **No habitable**

La entrada al edificio es terminantemente prohibida, no se puede usar en ninguna de sus partes, ni siquiera después de tomar contramedidas a corto plazo, por las siguientes razones:

- a) La edificación es de alto riesgo, pues existe un riesgo inmediato asociado a la entrada, uso u ocupación del edificio.
- b) El inmueble sufrió daños estructurales y presenta disminución en su capacidad portante.
- c) La estructura ha colapsado o bien hay posibilidad de colapso por réplicas del sismo.
- d) Se debe desalojar el edificio de manera inmediata

Esto no significa que la estructura deba demolerse o que los daños no puedan repararse, pero se deberán tomar las medidas sobre el apuntalamiento indispensable para que no ocurra un colapso y permita evaluación detallada de los daños para definir la posibilidad de una reestructuración o en su caso una reconstrucción.

Los casos en los que ambas secciones fueron clasificadas con grado bajo, se asignará al edificio un nivel de habitabilidad verde, correspondiente a habitable. Si el edificio tiene por lo menos un punto con grado de daño medio o alto, se asignará al edificio un nivel de habitabilidad amarillo, correspondiente a uso restringido. Si el edificio tiene dos puntos con grado de daño muy alto, se asignará al edificio un nivel de habitabilidad rojo, correspondiente a no habitable.

A partir de la sección 8 se comienza la evaluación detallada, por lo que se concluye la clasificación de habitabilidad según los resultados de esta primera sección de evaluación. De acuerdo al resultado se continuará la evaluación solo en caso de ser considerado necesario por el inspector a cargo.

## 8. **Condiciones preexistentes**

Algunas propiedades del edificio permiten comprender mejor el comportamiento ante un sismo. En esta sección se evalúan cinco aspectos, los cuales son: la calidad de los materiales de construcción, la posición del edificio en la cuadra, la configuración en planta y en altura y la configuración estructural.

### 8.1. **Calidad de la construcción**

Dependiendo del material del que esté construida la edificación, podría variar la calidad de la construcción. Materiales frágiles, como el concreto y la mampostería, tienen resistencias relativamente bajas a tensiones de tracción; mientras que el metal es más dúctil. Sin embargo, independientemente del material estructural, los acabados generalmente incluyen materiales frágiles que se fisuran fácilmente (Farbiarz et al, 2011). Por otro lado, acciones ambientales y distintos procesos fisicoquímicos pueden causar el deterioro de los materiales empleados en construcción.

Se definen tres categorías (Buena, Regular, Mala) para establecer si la edificación ha sido construida con requisitos de calidad y resistencia de los materiales. Para identificar este aspecto se requiere de la experiencia y criterio del evaluador, quien deberá observar la edificación buscando alguna muestra que de calidad.

A partir de recomendaciones dadas por la Consejería de Obras Públicas y la Ordenación del Territorio de la Región de Murcia (2013), se propone prestar especial atención a los siguientes aspectos:

<b>CUADRO 8.1. ASPECTOS A OBSERVAR SEGÚN EL MATERIAL ESTRUCTURAL</b>		
<b>Concreto</b>	<b>Mampostería</b>	<b>Acero</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Presencia de recubrimiento suficiente para la armadura y el estado de la misma.</li> <li>- Estado de corrosión, ya que estos pueden ser indicios de una reducción significativa en la resistencia.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estado del repello o mortero con el que se unieron las unidades de mampostería.</li> <li>- Presencia de sisas.</li> <li>- Tipo y disposición de las unidades de mampostería</li> <li>- Presencia de instalaciones o servicios que atraviesen muros portantes.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Estado de soldaduras o pernos en los perfiles de acero.</li> <li>- Cantidad y colocación de soldaduras o pernos.</li> <li>- Uso de perfiles diferentes para un mismo elemento.</li> <li>- Estado de oxidación, ya que estos pueden ser indicios de una reducción significativa en la resistencia.</li> </ul>

El Cuadro 8.2 explica los criterios de clasificación de la estructura de acuerdo a la calidad constructiva que presenta la edificación.

<b>CUADRO 8.2. CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE ACUERDO A LA CALIDAD DE LA CONSTRUCCIÓN</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
Buena	No se observa caída del recubrimiento del concreto, ni del repello en paredes de mampostería o del mortero con el que se han pegado las unidades, que evidencia una mala calidad en la mano de obra, ni se observan malas soldaduras o mal empernamiento de los perfiles de acero estructural.
Regular	Se observa caída del recubrimiento en algunos elementos de concreto reforzado, a tal grado que se puede ver el acero de refuerzo, en el caso de la mampostería de bloque de concreto, se observan algunas grietas que son evidencia que no se colocó el acero requerido. En el acero estructural se observan algunas soldaduras deficientes (se desprenden fácilmente y no hay el número necesario para garantizar una buena unión) o que no están colocadas en el lugar correcto.
Mala	Las varillas del acero de refuerzo están expuestas por caída del recubrimiento, presentan corrosión. En la mampostería se aprecian sisas en las cuales no se colocó mortero o que su espesor no es uniforme o éste es mayor de 2,0 cm, se observa una mezcla de unidades de mampostería, es decir que se mezclan bloques de concreto de diferente tamaño con ladrillos de arcilla o con piedras; esto se observa en edificaciones que han sido construidas por etapas, así como una mala unión entre el concreto viejo con el nuevo presentándose juntas frías. En el acero estructural se observan soldaduras que se desprenden con facilidad y no hay el número necesario de soldadura o pernos para garantizar una buena unión, se han utilizado perfiles diferentes para un mismo elemento, los perfiles o placas presentan corrosión.

Fuente: Tomado y modificado de Najarro (2008)

## 8.2. Posición en la cuadra

Este aspecto reside de importancia, ya que permite identificar la posibilidad de daño por choque o fallos en edificios vecinos. Cuando las estructuras que chocan no coinciden en el número de niveles, las losas de uno de los edificios pueden golpear las partes intermedias de las columnas del otro, generando daños graves.

Bonnet (2015), expresa que el impacto entre edificios adyacentes no aislados mediante juntas sísmicas, puede producir el colapso parcial o total de los muros de una estructura, particularmente cuando los niveles de pisos y techos no están alineados.

Del mismo modo, el choque entre edificios afecta los elementos no estructurales debido que el martilleo provocará el rompimiento de tuberías o ductos, ventanas, fachadas, desacople de estructuras de cielos suspendidos, entre otros (LIS, 2012).

Las colindancias con predios vecinos normalmente tienen fachadas “cerradas” y no poseen ventanas, por lo que estos elementos son muy rígidos ante desplazamientos horizontales. En cambio, en colindancias que dan a la vialidad o a terrenos libres alrededor del edificio es común contar fachadas “abiertas” mediante ventanas y marcos libres de muros, que son mucho más flexibles (CENAPRED, 2011).

En la Figura 8.2.1, se aprecian tres posiciones:

- Los edificios en esquina pueden tener torsiones de entrepiso importantes al contar con dos fachadas libres y dos en colindancia.
- Los edificios en medio de otros tienen colindancias en dos o tres de sus lados y la fachada abierta.
- Los edificios aislados, no tienen colindancias.

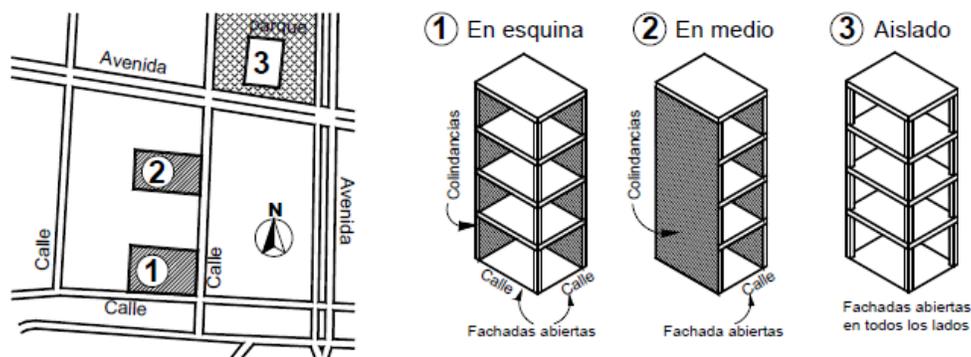


Figura 8.2.1. Posición del edificio en la manzana (CENAPRED, 2011)

## 8.3. Configuración en planta

La configuración en planta define la distribución de masas. Este punto debe evaluarse con el fin de determinar si dicha configuración será origen de problemas de torsión respecto al eje vertical del edificio o concentraciones de esfuerzos en la estructura, que pudieran ocasionar daños mayores.

Telléz (2013), explica la importancia de identificar la posición de los elementos resistentes verticales como columnas y muros, a su vez reconociendo los muros que contribuyen a la respuesta estructural, respecto de los que sólo son divisorios. Así como es conveniente analizar los muros que confinan la zona de escaleras y ascensores, ya que habitualmente están conectados a la estructura por medio de las losas y por ende modifican la respuesta del edificio.

<b>CUADRO 8.3. CRITERIOS PARA EVALUAR REGULARIDAD EN PLANTA</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
Buena	La distribución de masas con relación a los dos ejes ortogonales es aproximadamente simétrica en planta, así como muros y otros elementos resistentes. No tiene ninguna condición correspondiente a la clasificación de mala.
Regular	Entre la clasificación buena y mala.
Mala	En planta tiene entrantes y salientes cuya dimensión excede el 30% de la dimensión en planta, medida paralelamente a la dirección que se considera de la entrante o saliente. Aberturas en el diafragma mayores del 30% del área del piso. La relación de aspecto (largo a ancho) de la base es mayor que 3.

Fuente: Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia (2012)

Hay que poner especial atención a las formas de las plantas que presenten asimetría en una o dos direcciones ortogonales. Algunos ejemplos se muestran en la Figura 8.3.1.

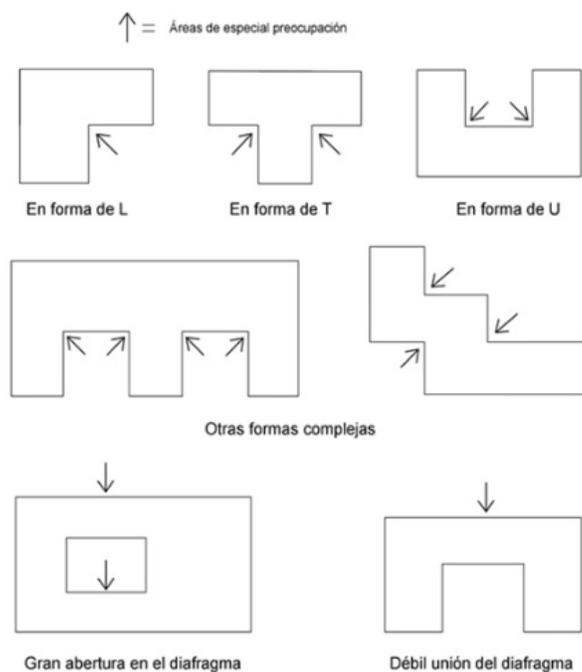


Figura 8.3.1. Irregularidades en planta (Vizcaíno, 2017)

#### 8.4. Configuración en altura

Dentro de las irregularidades en altura debe observarse si existen plantas más débiles que el resto, si existe irregularidad en la distribución de las masas, si hay continuidad de los elementos resistentes en toda la altura y hasta la cimentación, etc. (Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Terreno, 2013). Para la clasificación del estado de la configuración en altura, se utiliza el concepto de Índice de esbeltez (IE), el cual se explica como la relación entre la altura (H) y la dimensión menor de la base (B).

CUADRO 8.4. CRITERIOS PARA EVALUAR REGULARIDAD EN ALTURA	
Clasificación	Descripción
Buena	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>IE &lt; 2.5</math></li> <li>- Pórticos y muros de cortante continuos hasta la cimentación.</li> <li>- No hay pilares cortos ni plantas débiles.</li> <li>- Ningún piso tiene un área mayor o menor en un 70% que la del piso inferior. Se excluyen de este criterio los voladizos y el último piso de la edificación.</li> </ul>
Regular	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>2.5 &lt; IE &lt; 4</math></li> </ul>
Mala	<ul style="list-style-type: none"> <li>- <math>IE &gt; 4</math></li> <li>- Pórticos y muros de cortante discontinuos.</li> <li>- Existencia de pilares cortos o plantas débiles.</li> <li>- Algún piso tiene un área mayor o menor en un 70% que la del piso inferior. Se excluyen de este criterio los voladizos y el último piso de la edificación.</li> </ul>

Fuente: Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia (2012)

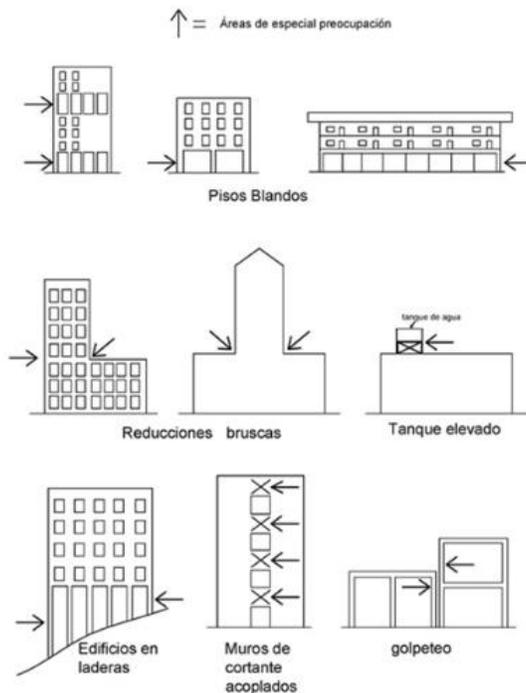


Figura 8.4.1. Irregularidades en altura (Vizcaíno, 2017)

### 8.5. Configuración estructural

Se deberá identificar si existe una distribución asimétrica de los elementos estructurales, si hay columnas cortas, que pueden producir una falla frágil al ser sometida a esfuerzos cortantes excesivos que se generan por la restricción en su deformación; excentricidad que pueda generar el fenómeno de torsión, redundancia, diferencias de masa, entre otros tal como lo describe el Laboratorio de Ingeniería Sísmico (2011):

a) Altas concentraciones de masa en niveles

Se sabe que las fuerzas sísmicas son proporcionales a la masa, por lo que, si en un piso superior se concentran elementos pesados como tanques de almacenamiento de agua, equipos, bodegas, las fuerzas sísmicas serán mayores en ese nivel. A medida que esta concentración de masa se ubique a mayor altura, las aceleraciones sísmicas de respuesta aumentan también, al mismo tiempo aumentando el riesgo de volcamiento de la estructura.

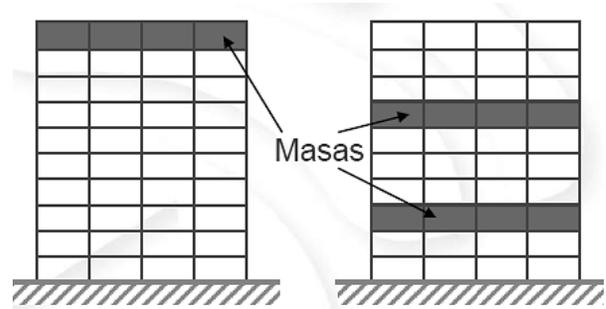


Figura 8.5.1. Diferencias de masa (CENAPRED, 2016)

b) Columnas débiles

Si la rigidez de las columnas o paredes que soportan la estructura sufre un cambio brusco, ya sea por confinamiento de las paredes hasta cierta altura de los marcos, por desniveles del terreno, por nivel intermedio entre dos pisos, entre otros, los esfuerzos se concentrarán y se acumulará energía en el piso más débil, pues el nivel donde se interrumpen los elementos verticales es más flexible que los demás, lo que genera un problema de estabilidad.

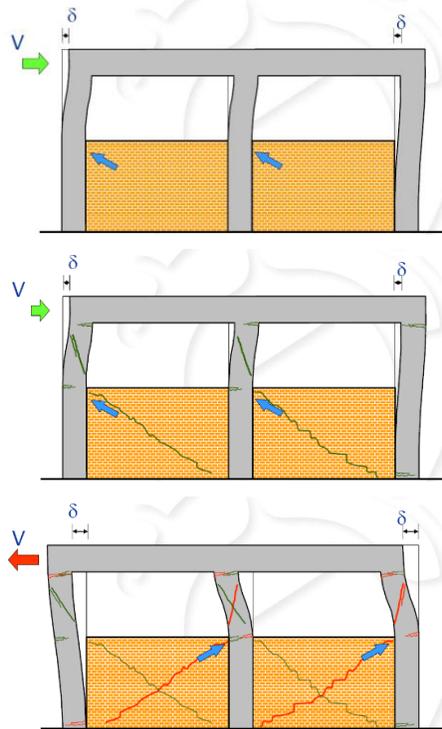


Figura 8.5.3. Cambio brusco en elevación (CENAPRED, 2016)

c) Menor resistencia de columnas que vigas

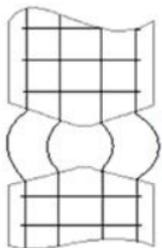
Si las columnas tienen menor resistencia que las vigas, las vigas fallarán primero lo que provoca que la estructura colapse.

## d) Pisos blandos o suaves

Son pisos donde los elementos estructurales verticales son interrumpidos, para ofrecer más espacio en ese piso o por razones arquitectónicas, generalmente en los niveles de acceso. Esto produce un debilitamiento de la rigidez de los elementos verticales en ese piso.

## e) Falta de confinamiento del concreto en columnas

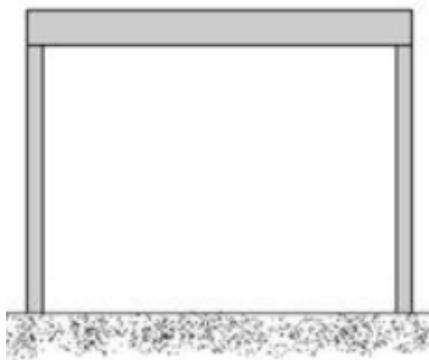
Se produce cuando se utilizan pocos o ningún aro de confinamiento del concreto, por lo que el núcleo de los elementos sometidos a flexocompresión falla en forma explosiva.



**Figura 8.5.4.** Falla del concreto (LIS, 2011)

## f) Falta de redundancia

Si la estructura cuenta con pocos elementos soportantes (falta de redundancia), la falla de uno de ellos provocaría el colapso total o parcial de la estructura.



**Figura 8.5.5.** Marco sin redundancia (LIS, 2011)

## g) Flexibilidad excesiva en el diafragma que forma el entrepiso

La flexibilidad excesiva en el diafragma que forma el entrepiso produce deformaciones laterales no uniformes, que son perjudiciales para los elementos no estructurales adosados al diafragma. Este comportamiento puede deberse a una relación muy grande largo/ancho (mayor que 5), y a aberturas de gran tamaño en el piso que impiden que este funcione como un cuerpo rígido.

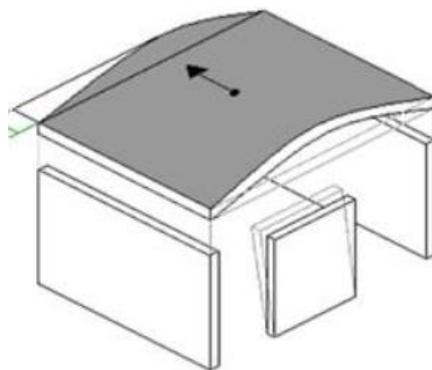


Figura 8.5.6. Flexibilidad excesiva (LIS, 2011)

h) Torsión entre pisos

Es importante que el centro de rigidez de un edificio sea igual al centro de masa, de lo contrario ocurre la torsión. Este problema se da debido a la gran rigidez que presentan los muros de colindancia, pero basta con que se excedan ciertos límites de excentricidad (una mala distribución de la rigidez lateral) para que se produzcan efectos negativos de la torsión.

i) Desplazamiento relativo entre pisos.

El desplazamiento relativo entre pisos debido a una excesiva flexibilidad de los marcos, junto con dimensiones insuficientes de las juntas constructivas, provoca daños en paredes de cerramiento por la excesiva flexibilidad de los marcos. Los desplazamientos laterales excesivos se deben a las grandes distancias entre los elementos de soporte (claros o luces), sus alturas y sus rigideces. Se pueden tener como problemas: inestabilidad estructural y daños en elementos no estructurales adosados a niveles contiguos.

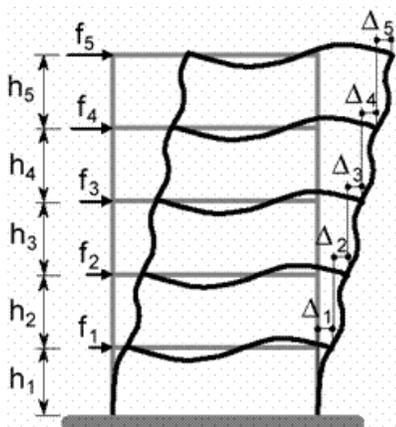


Figura 8.5.7. Desplazamiento de entrepisos (Gestión de Riesgo en Manizales, 2005)

La presencia de problemas estructurales como los descritos con anterioridad aportan a la vulnerabilidad de un edificio por lo que se deberá especificar la ocurrencia de estos, marcando las casillas correspondientes. De presentarse algún problema no explícito en las opciones de la guía, deberá especificarse en la sección de comentarios al final de esta guía.

Del mismo modo, todos estos detalles definen una buena o mala configuración estructural, la cual en caso de ser deficiente puede contribuir a un mal comportamiento de la edificación en un sismo, por ende, puede favorecer el fallo de los elementos estructurales e incluso el colapso. Para ayudar a clasificar el edificio como bueno, regular o malo, se emplea el Cuadro 8.5.

<b>CUADRO 8.5. CLASIFICACIÓN DE LA ESTRUCTURA DE ACUERDO A LA CONFIGURACIÓN ESTRUCTURAL</b>	
<b>Clasificación</b>	<b>Descripción</b>
Buena	Existe simetría en la distribución de los elementos estructurales, reduciendo la diferencia de excentricidad entre el centro de masa y en centro de rigidez. No se observan columnas que no estén confinadas completamente por los muros de relleno, de manera que no se puede producir el efecto de columna corta. Existen continuidad y simetría en la distribución en altura de los elementos estructurales tales como paredes o columnas.
Regular	Existe asimetría en elementos estructurales, así como columnas que no están confinadas por los muros en toda su altura y se observa discontinuidad y asimetría en la distribución en altura de los elementos estructurales en al menos el 33% de los niveles de la edificación (en el caso de edificaciones de uno y dos niveles será con la existencia en algún nivel del 50% de los elementos estructurales).
Mala	Existe asimetría en elementos estructurales, así como columnas que no están confinadas por los muros en toda su altura y se observa discontinuidad y asimetría en la distribución en altura de los elementos estructurales en más del 50% de los niveles de la edificación (en el caso de edificaciones de uno y dos niveles será con la existencia en algún nivel del 75% de los elementos estructurales).

Fuente: Najarro (2008)

## 9. Daños en elementos estructurales

Cuando se trate de edificaciones de varios niveles, se deberán inspeccionar los elementos tales como columnas y paredes portantes en el piso que presente los elementos verticales más dañados y en la dirección que presente mayor daño, ya que éstos implican el mayor riesgo para la seguridad estructural. Es importante insistir en que la inspección de los elementos estructurales se realizará en el piso de mayor daño con el fin de analizar la situación más perjudicial. Al examinar las situaciones más desfavorables, se está siendo conservador con el único fin de garantizar la integridad de las personas y la de la edificación misma. Se debe indicar en el formulario el piso respecto al cual se realizó la evaluación que se le conoce como el entrepiso crítico, además de indicar la dirección en la cual se presenta.

De igual forma, para el caso de vigas y entrepisos, estos se evaluarán en el nivel en el que se encontraron los elementos verticales con mayor daño. Si existiera otro nivel, que evidencie que los daños en vigas y entrepisos es muy severo, se deberá evaluar necesariamente si el piso es inferior al piso de los elementos verticales más dañados. “En caso de que el daño en elementos verticales sea nulo o mínimo, comparado con el daño en elementos horizontales se seleccionará el entrepiso con daño en dichos elementos” (Aragón et al, 2011).

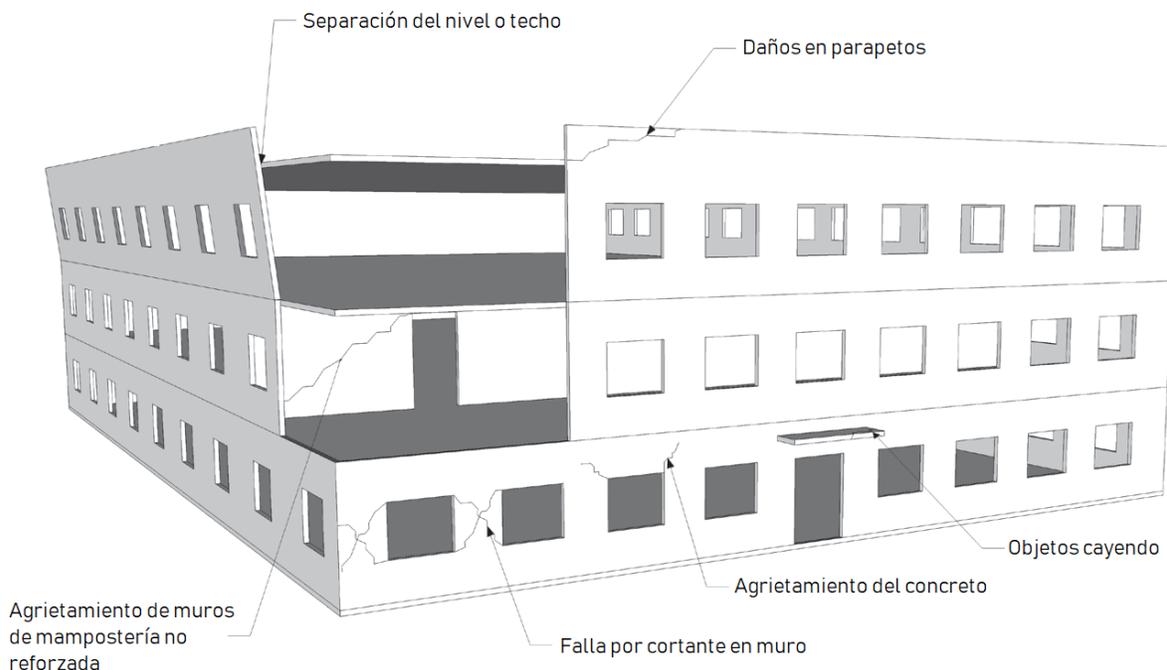
La clasificación de los daños se describe según las directrices del FEMA 306 (1998) con algunos ejemplos adecuados a los sistemas estructurales del país según estudio realizado por Schmidt (2016):

- Daño muy leve: el daño no afecta significativamente propiedades estructurales. Los arreglos requeridos son cosméticos a menos que el rendimiento en componentes no estructurales sea muy estricto. Ejemplos: Caída de fragmentos muy pequeños de mortero. Grietas finas en repello de miembros de marcos o en la base de las paredes. Grietas finas en paredes y divisiones
- Daño leve: el daño que no afecta significativamente la capacidad de la estructura y no pone en peligro la seguridad de los ocupantes debido a la caída de elementos no estructurales. Ejemplos: Grietas finas en muchas paredes. Caída de piezas medianas de repello frágil. Caída o desplazamiento de paneles de cielos colgantes. Grietas en miembros de marcos y en muros estructurales. Grietas en divisiones, caída de cubiertas. Caída de mortero de juntas.
- Daño moderado: el daño intermedio que cambia la capacidad de la estructura, sin acercarse al límite del colapso parcial de los principales componentes estructurales. Ejemplos: Posible caída de objetos no estructurales. Grietas en columnas, en uniones viga-columna, en la base de los marcos y en juntas de muros. Desprendimiento de piezas grandes de repello y de concreto. Deformaciones en las varillas de refuerzo. Caída de tapicheles en mampostería sin refuerzo.
- Daño fuerte: el daño intermedio cambia significativamente la capacidad de la estructura. El reemplazo o mejora de algunos componentes puede ser requerido. Ejemplos: Falla severa de paredes. Falla parcial de techos y pisos. Grandes grietas en elementos estructurales con daños en el concreto por compresión y rotura de armaduras. Ladeo de columnas. Colapso de algunas columnas o del nivel superior.
- Daño severo: el daño reduce significativamente la capacidad de la estructura, acercándola al límite del colapso parcial o total de la estructura principal, edificaciones inclinadas, asentamientos, paredes severamente agrietadas y/o desplomadas, vigas o columnas falladas, pisos separados de su soporte vertical, juntas y conexiones que muestren fallas significativas, cimientos fracturados, etc. Requiere el reemplazo o mejora de los componentes. Se refiere a daños mayores como el colapso parcial o total de la estructura,

De acuerdo al material de construcción de los elementos estructurales, así serán los criterios para evaluarlos. Por lo tanto, se debe entender cuáles son los elementos que definen en sobremanera el comportamiento estructural de un edificio según el tipo de sistema constructivo, esto se presenta en la siguiente tabla.

<b>CUADRO 9.1. ELEMENTOS PRINCIPALES A EVALUAR</b>	
<b>Sistema estructural</b>	<b>Elementos fundamentales</b>
Marcos de concreto reforzado	Uniones, columnas y vigas
Marcos con muros estructurales de concreto reforzado	Muros, uniones, columnas y vigas
Muros de mampostería no reforzada	Paredes portantes
Muros de mampostería reforzada	Paredes portantes
Muros de mampostería confinada	Paredes portantes (con columnetas y vigas de confinamiento)
Marcos de acero	Uniones, columnas, arriostres y vigas

Comúnmente, se pueden identificar algunos daños típicos en estructuras de concreto reforzado o de mampostería, tal como se ilustra en la figura adjunta.



**Figura 9.1.** Daños típicos en estructuras de hormigón armado o mampostería  
(Ministry of Business, Innovation and Employment of New Zealand, 2015)

En primer lugar se presenta un listado de posibles tipos de daño observables, por lo que se marcará con una "X" aquellos daños visibles en los diferentes elementos, entre ellos Aragón et al (2011) describen los siguientes:

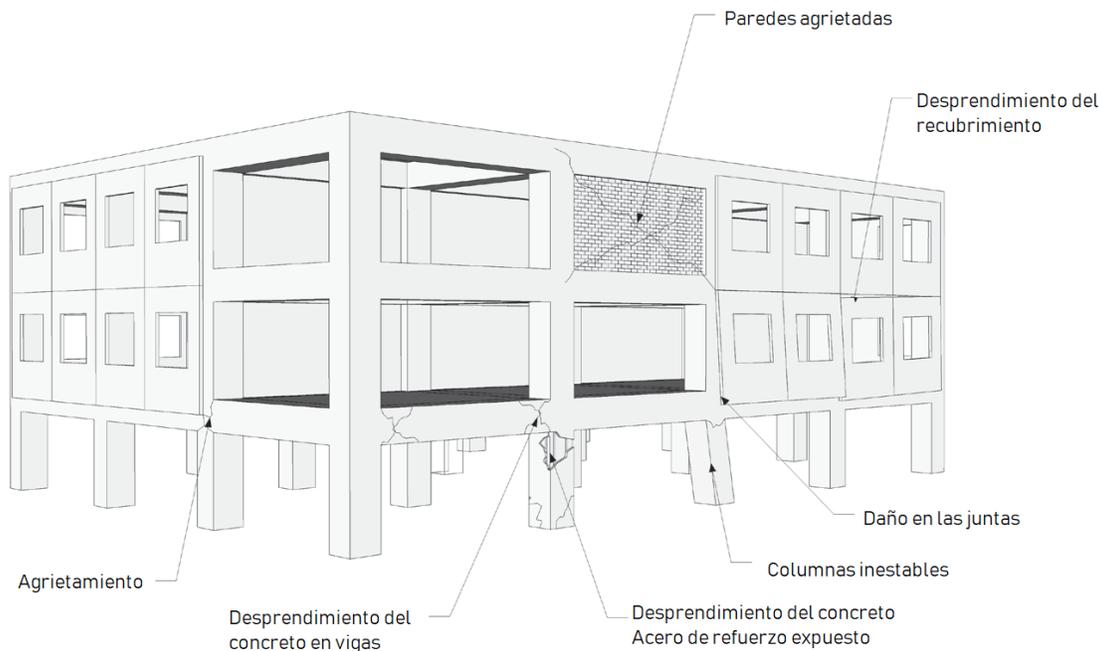
- a) **Grietas inclinadas (por cortante):** fisuras que se presentan por lo general atravesando toda la dimensión del elemento estructural con una inclinación bastante perceptible formando ángulos de aproximadamente 45 grados con respecto al eje del elemento.
- b) **Grietas normales al eje del elemento (por flexión):** aparición de grietas por lo general horizontales en columnas y verticales en vigas.
- c) **Desprendimiento del concreto:** se manifiesta agrietamiento severo, desprendimiento del recubrimiento de concreto con exposición del acero de refuerzo. Se debe a problemas de adherencia entre concreto y acero, por la expansión de acero por corrosión o por el aplastamiento por compresión del concreto.
- d) **Fractura del refuerzo longitudinal:** agrietamiento severo con desprendimiento importante del recubrimiento de concreto y exposición del acero de refuerzo. El refuerzo longitudinal falla debido a tensión pura o por la fatiga ante ciclos repetitivos de pandeo y recuperación/estiramiento a tensión.
- e) **Fractura del refuerzo transversal o estribos:** agrietamiento severo con desprendimiento importante del recubrimiento de concreto y exposición del acero de refuerzo. Se identifican los aros fracturados producto de la demanda de tensiones excesivas.
- f) **Pandeo de refuerzo longitudinal:** falla generalizada por aplastamiento del concreto, agrietamiento severo con desprendimiento importante del concreto.
- g) **Corrosión del acero:** es la reacción química en la cual el metal se combina con el oxígeno del aire degradando su estructura molecular por lo que el elemento estructural pierde material reduciéndose su sección, en el caso de refuerzo de concreto, se expande agrietando y desconchando al concreto que lo rodea.

Para cada elemento fundamental del sistema estructural, se asigna un porcentaje equivalente a la cantidad de elementos dañados de acuerdo a los niveles y según el criterio del evaluador. Dicho porcentaje se determina como la relación entre el número de elementos afectados y el total de elementos de este tipo en ese piso. Esta información sobre los porcentajes de daño, se registrará para cada uno de los diferentes tipos de elementos estructurales en una tabla con casillas respectivas.

Las grietas deben evaluarse de acuerdo al tamaño y ancho de la apertura. El problema de fisuras y grietas depende del sistema constructivo del inmueble. A continuación, se describirá la evaluación de los elementos estructurales según el material del que estén hechos:

### 9.1. Evaluación de elementos de concreto reforzado

La Figura 9.1.1. ilustra los daños más comunes en estructuras hechas con concreto reforzado.



**Figura 9.1.1.** Daños típicos en estructuras de concreto reforzado  
(Ministry of Business, Innovation and Employment of New Zealand, 2015)

Las fisuras pueden deberse a la falta de acero de refuerzo o bien a una carga excesiva. Por otro lado, la presencia de grietas en ocasiones puede provocar la entrada de agentes externos corrosivos. Los agrietamientos en vigas y columnas pueden ser aceptables bajo ciertas condiciones de carga de servicio, siempre y cuando los anchos de las grietas o fisuras no excedan los límites recomendados. La Figura 9.1.2. muestra una serie de patrones típicos de agrietamiento del concreto.

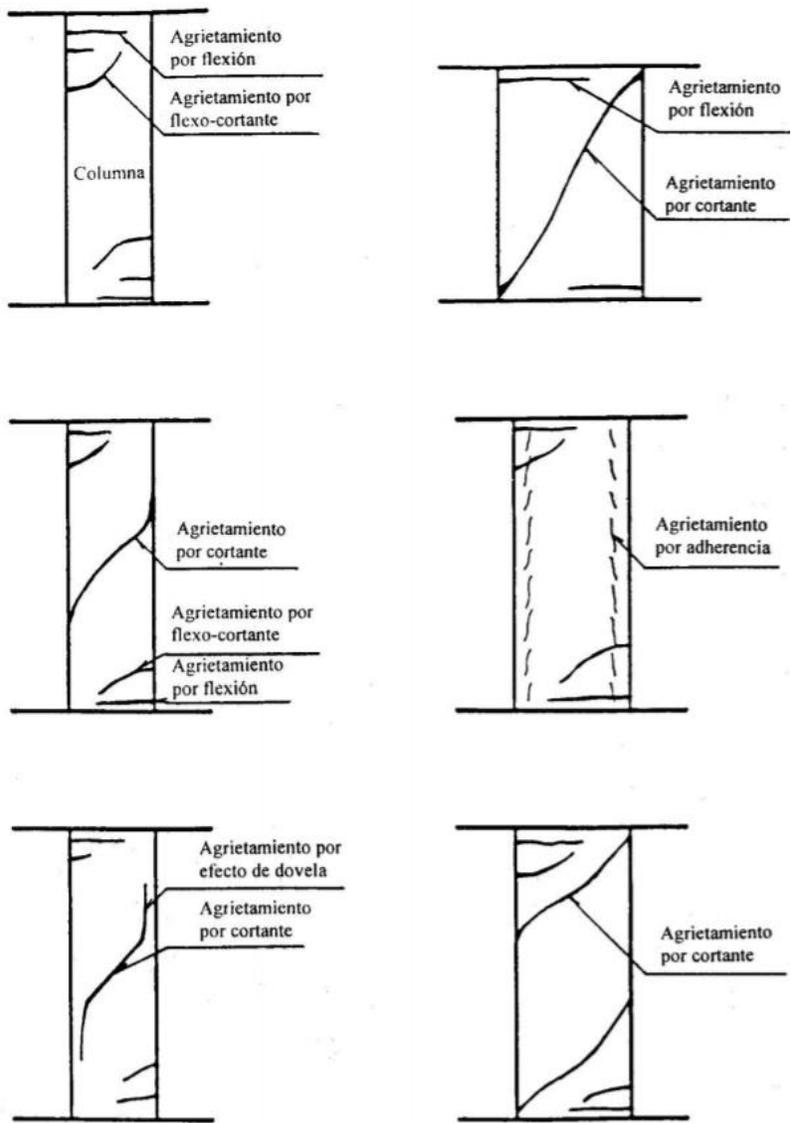


Figura 9.1.2 Patrones de agrietamiento en columnas de concreto reforzado (Jumonji, 1996)

El personal evaluador hará uso de una herramienta conocida como grietómetro y para para determinar el nivel del daño se apoyará del Cuadro 9.2 el cual fue modificado a partir de los daños descritos por la Asociación de Ingeniería Sísmica Colombiana (AIS, 2011) y la Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia (2012). El Cuadro 9.3 describe los daños en uniones viga-columna.

CUADRO 9.2. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN VIGAS Y COLUMNAS DE CONCRETO	
Niveles de daño	Descripción del daño
Muy leve	Algunas fisuras de ancho menor a 0,2 mm, casi imperceptibles sobre la superficie del concreto.
Leve	Grietas claramente visibles, con anchos entre 0,2 mm y 1,0 mm sobre la superficie del concreto.

Moderado	Grietas con anchos entre 1,0 y 2,0 mm en la superficie del concreto, pérdida incipiente del recubrimiento.
Fuerte	Agrietamiento notable del concreto, el ancho de las grietas excede los 2,0 mm y hasta 6,0 mm. Pérdida de recubrimiento y exposición de las barras de refuerzo longitudinal. Los elementos con este nivel de daño han alcanzado su capacidad a resistencia máxima, y se puede pensar que presentan o presentarán degradación en su resistencia.
Severo	Grietas con ancho mayor a 6,0 mm. Degradación y aplastamiento del concreto, agrietamiento del núcleo, pandeo de las barras de refuerzo longitudinal y posible apertura o rotura de ganchos de aros. Aplastamiento de la columna o muro. Deformaciones e inclinaciones excesivas.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

Las Figuras 9.1.3 y 9.1.4 ilustran los niveles de daño descritos anteriormente.

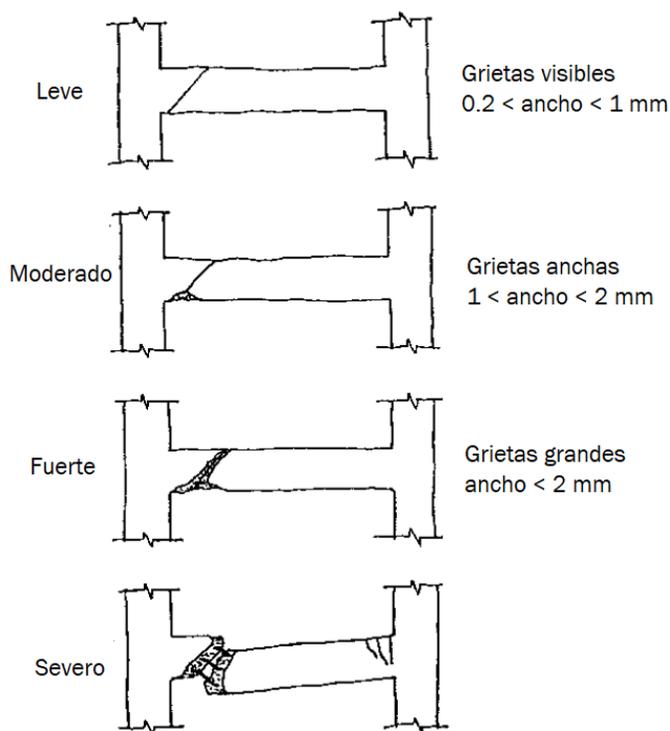


Figura 9.1.3. Niveles de daño en vigas (Kaminosono et al, 2002)

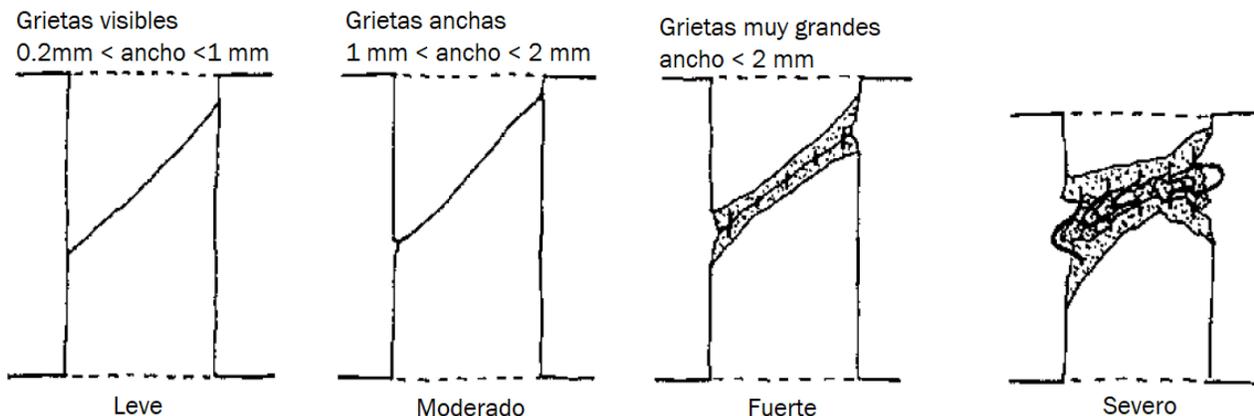


Figura 9.1.4. Niveles de daño en columnas (Kaminosono et al, 2002)

CUADRO 9.3. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO UNIONES VIGA-COLUMNA	
Niveles de daño	Descripción del daño
Muy leve	Ninguna fisura.
Leve	Grietas entre 0,2 y 1,0 mm. Caída del recubrimiento de concreto en los extremos.
Moderado	Grietas entre 1,0 mm y 2,0 mm. Pérdida incipiente del recubrimiento de concreto en la unión.
Fuerte	Grietas diagonales a $45^\circ$ por cortante, pérdida incipiente del recubrimiento en la unión.
Severo	Grietas mayores a 6,0 mm. Agrietamiento del núcleo de concreto, exposición y pandeo de las barras de refuerzo longitudinal, deformación vertical de la unión.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

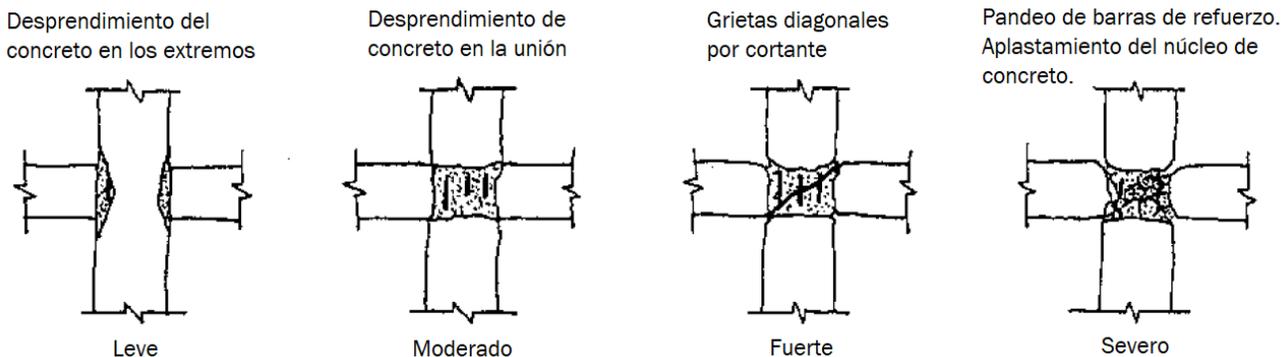


Figura 9.1.5. Niveles de daño en uniones viga-columna (Kaminosono et al, 2002)

<b>CUADRO 9.4. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN MUROS DE CONCRETO REFORZADO (COMPORTAMIENTO DE FLEXIÓN DÚCTIL)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Ninguna fisura mayor a 4,0 mm. Ninguna fisura por cortante mayor a 3,0 mm. No hay caída de recubrimiento ni fisuras verticales.
Leve	Grietas por cortante mayores a 3,0 mm. No hay caída de recubrimiento ni fisuras verticales. No hay pandeo del refuerzo.
Moderado	Grietas con anchos entre 1,0 y 2,0 mm en la superficie del concreto, pérdida incipiente del recubrimiento.
Fuerte	Agrietamiento notable del concreto, el ancho de las grietas excede los 2.0 mm y hasta 6 mm. Pérdida de recubrimiento y exposición de las barras de refuerzo longitudinal. Los elementos con este nivel de daño han alcanzado su capacidad a resistencia máxima, y se puede pensar que presentan o presentarán degradación en su resistencia.
Severo	Grietas con ancho mayor a 6,0 mm. Degradación y aplastamiento del concreto, agrietamiento del núcleo, pandeo de las barras de refuerzo longitudinal y posible apertura o rotura de ganchos de aros. Aplastamiento de la columna o muro. Deformaciones e inclinaciones excesivas.

Fuente: FEMA-306, 1998

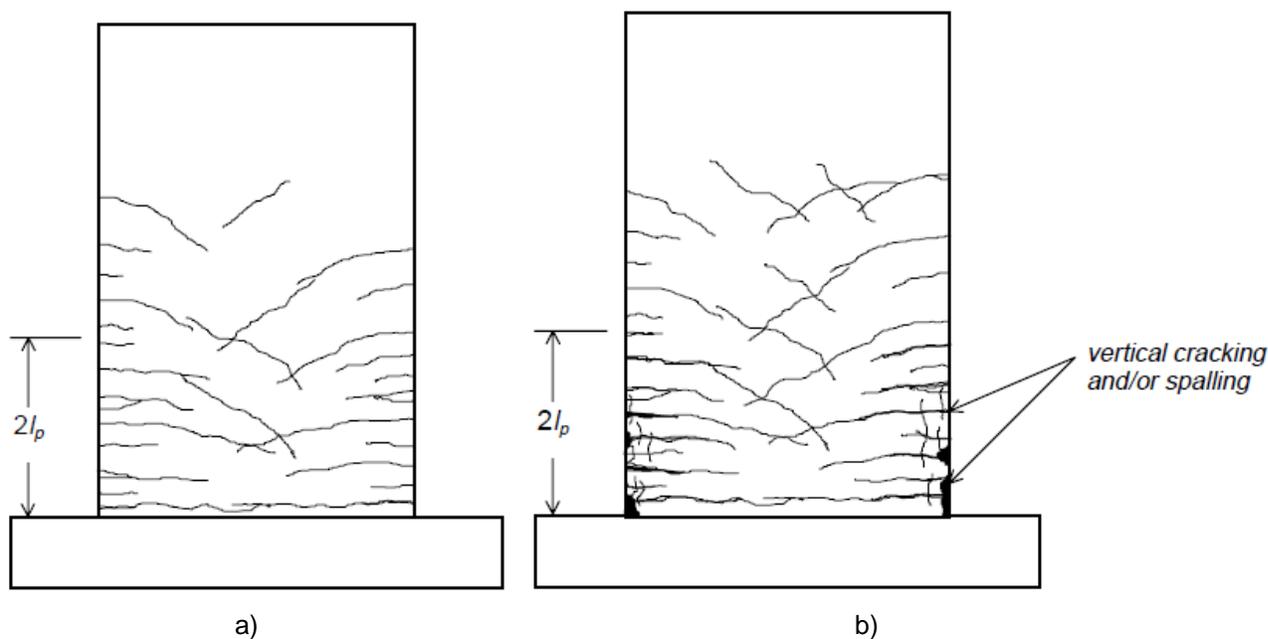


Figura 9.1.6. a) Daño ninguno o muy leve b) Daño moderado (FEMA-306, 1998)

**CUADRO 9.5. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN MUROS DE CONCRETO REFORZADO (COMPORTAMIENTO DE FLEXIÓN DÚCTIL CON TENSIÓN DIAGONAL)**

Niveles de daño	Descripción del daño
Muy leve	Fisura de cortante menor a 1,5 mm y fisura de flexión menor a 5,0 mm. No hay caída de recubrimiento ni fisuras verticales.
Moderado	Fisura de cortante menor a 3,0 mm y fisura de flexión menor a 6,0 mm. Caída de recubrimiento parcial. No hay pandeo del refuerzo ni desplazamiento.
Fuerte	Grietas de cortante entre 3,0 y 9,0 mm.
Severo	Grietas con ancho mayor a 9,0 mm. Refuerzo fracturado.

Fuente: FEMA-306, 1998

**CUADRO 9.6. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN MUROS DE CONCRETO REFORZADO (COMPORTAMIENTO DE FLEXIÓN CON APLASTAMIENTO DEL ALMA)**

Niveles de daño	Descripción del daño
Muy leve	Fisura de cortante menor a 1,5 mm y fisura de flexión menor a 5,0 mm. No hay caída de recubrimiento ni fisuras verticales.
Leve	Fisura de cortante menor a 3,0 mm y fisura de flexión menor a 6,0 mm. Caída de recubrimiento parcial. No hay pandeo del refuerzo ni desplazamiento.
Fuerte	Desprendimiento del concreto. No hay fractura del refuerzo.
Severo	Gran desprendimiento del concreto y vacíos en el alma. Desplazamiento significativo.

Fuente: FEMA-306, 1998

**CUADRO 9.7. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN MUROS DE CONCRETO REFORZADO (COMPORTAMIENTO DE TENSIÓN DIAGONAL)**

Niveles de daño	Descripción del daño
Muy leve	No hay grieta de cortante y fisura de flexión menor a 3,0 mm.
Moderado	No hay grieta de cortante. Grietas menores a 3,0 mm. No hay caída de recubrimiento parcial.
Fuerte	Grietas de cortante entre 3,0 y 9,0 mm.
Severo	Grietas con ancho mayor a 9,0 mm. Refuerzo fracturado.

Fuente: FEMA-306, 1998

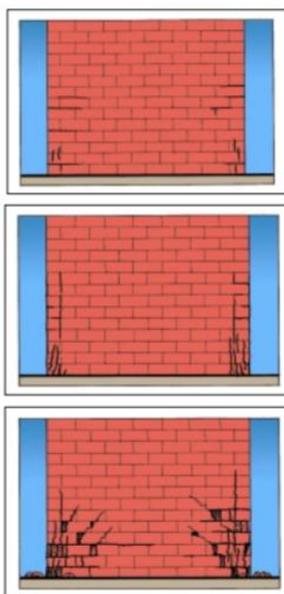
En términos generales, si la estructura principal (marcos, losas, muros de corte, muros de carga) y elementos secundarios (muros de cerramiento, gradas, instalaciones, ventanería, etcétera), no presentan daños, la edificación es habitable. Si existen daños en gradas y/o se observan fisuras en elementos estructurales tales como: muros de carga, losas y/o vigas, se permitirá el ingreso solo a personal calificado.

Sin embargo, es importante tener conocimiento de las diferentes formas de falla de estos elementos, para poder evaluar correctamente las estructuras de concreto reforzado. Una descripción de estas fallas, se en el Apéndice E.

**9.2. Evaluación de estructuras de mampostería**

<b>CUADRO 9.8. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS PORTANTES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA (COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN DÚCTIL)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Fisuras pequeñas difícilmente visibles, con ancho menor a 0,2 mm, sobre la superficie del muro.
Leve	Fisuración perceptible a simple vista, con anchos entre 0,2 mm y 1,0 mm, sobre la superficie del muro.
Moderado	Agrietamiento diagonal incipiente, grietas con anchos entre 1,0 mm y 3,0 mm, en la superficie del muro. Algunas fisuras en elementos de confinamiento de los paños de muros.
Fuerte	Agrietamiento diagonal severo, con anchos mayores a 3,0 mm y dislocación de piezas de mampostería.
Severo	Desprendimiento de partes de piezas, aplastamiento local de la mampostería, prolongación del agrietamiento diagonal en elementos de confinamiento, con anchos mayores a 3,0 mm. Desplome apreciable del muro.

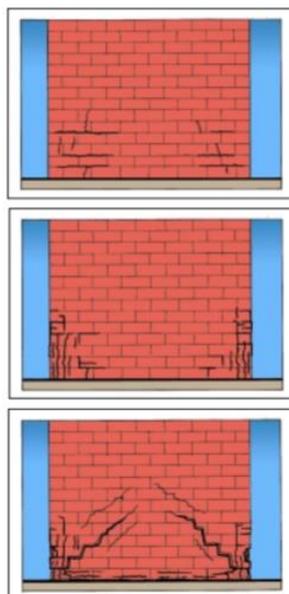
Fuente: Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia (2012)



**Figura 9.2.1.** Daño muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.9. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS PORTANTES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA (COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN Y CORTANTE)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Fisuras pequeñas difícilmente visibles, con ancho menor a 0,2 mm, sobre la superficie del muro.
Leve	Grietas perceptibles a simple vista, con menores a 3,0 mm, sobre la superficie del muro.
Moderado	Agrietamiento diagonal incipiente, grietas con anchos menores a 5,0 mm, en la superficie del muro. Moderada grietas en unidades de mampostería y grietas verticales. No hay pandeo ni fractura del refuerzo. No hay desplazamiento significativo.
Severo	Refuerzo fracturado. Grietas con ancho mayor a 6,0 mm. Rotura de la mampostería en la base.

Fuente: FEMA-306, 1998



**Figura 9.2.2.** Daño muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

CUADRO 9.10. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS PORTANTES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA (COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN CON DESLIZAMIENTO POR CORTANTE)	
Niveles de daño	Descripción del daño
Muy leve	Fisuras pequeñas difícilmente visibles, con ancho menor a 0,2 mm, sobre la superficie del muro.
Leve	Grietas perceptibles a simple vista, con menores a 3,0 mm, sobre la superficie del muro.
Moderado	Grietas mayores a 3,0 mm.
Severo	Desplazamiento horizontal permanente. Rotura en la base de la mampostería.

Fuente: FEMA-306, 1998

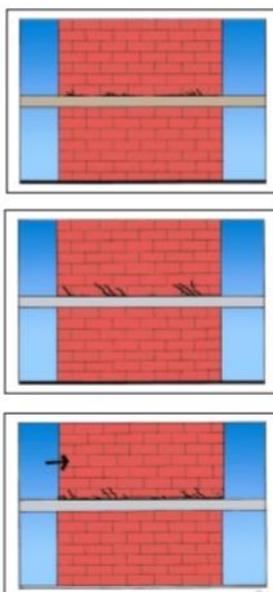


Figura 9.2.3. Daño muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.11. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS DÉBILES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA (COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN Y CORTANTE)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Fisuras pequeñas difícilmente visibles, con ancho menor a 1,5 mm, sobre la superficie del muro.
Leve	Fisuras perceptibles a simple vista, con anchos menor a 3,0 mm, sobre la superficie del muro.
Moderado	Grietas con anchos menores a 5,0 mm, en la superficie del muro. Algunas fisuras en las piezas de mampostería. No hay pandeo ni fractura del refuerzo. No hay desplazamiento significativo.
Fuerte	Agrietamiento diagonal severo, con anchos mayores a 3,0 mm y dislocación de piezas de mampostería.
Severo	Grietas mayores a 6,0 mm. Grietas diagonales anchas. Fisuras en la base del muro. Desprendimiento del mortero en la base del muro.

Fuente: FEMA-306, 1998

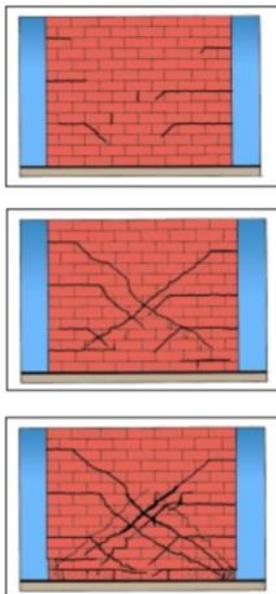
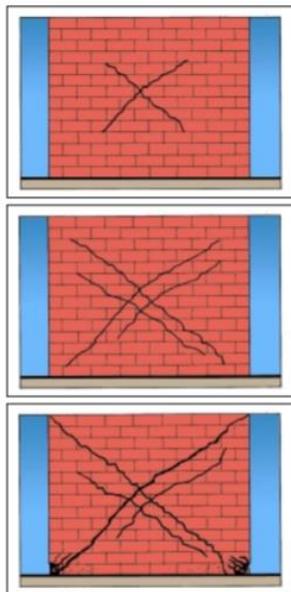


Figura 9.2.4. Daño muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.12. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS DÉBILES DE MAMPOSTERÍA REFORZADA (COMPORTAMIENTO A CORTANTE)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Fisuras de flexión pequeñas difícilmente visibles, con ancho menor a 1,5 mm, sobre la superficie del muro.
Leve	Fisuras con anchos menores a 1,5 mm, sobre la superficie del muro. Grietas verticales en el centro del muro.
Moderado	Grietas con anchos menores a 5,0 mm, en la superficie del muro. No hay fisuras en las piezas de mampostería. Hay grietas diagonales con una grieta dominante.
Fuerte	Grieta dominante mayor a 9,0 mm.
Severo	Grietas diagonales anchas. Fisuras en la base del muro. Fractura del refuerzo.

Fuente: FEMA-306, 1998



**Figura 9.2.5.** Daño muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.13. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS CORTOS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Pequeñas grietas y mortero fisurado en las juntas horizontales en el extremo superior e inferior de la pila.
Moderado	Grietas moderadas y mortero fisurado en las juntas horizontales en el extremo superior e inferior del muro. Posibles grietas y mortero fisurado en las juntas de pega dentro del muro pero las juntas horizontales no se abren.
Fuerte	Posible movimiento en el plano o fuera de él, en la parte superior e inferior. Unidades de mampostería rotos y fisurados en las esquinas del muro. Grietas y mortero fisurado en las juntas horizontales en el extremo superior e inferior del muro.
Severo	Movimiento significativo en el plano o fuera de él, en la parte superior e inferior. Unidades de mampostería rotos y fisurados gravemente en las esquinas del muro.

Fuente: FEMA-306, 1998

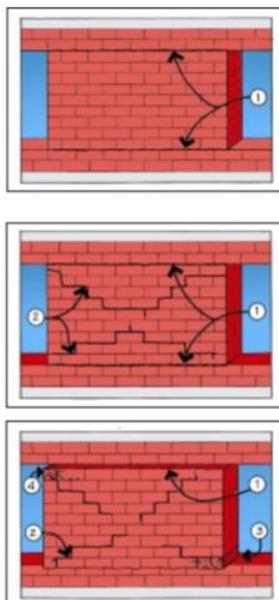


Figura 9.2.6. Daño muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.14. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS CORTOS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA (DESLIZAMIENTO DE LAS JUNTAS)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Mortero agrietado y fisurado en la parte superior e inferior de las uniones. Grietas en forma escalonada pero no continuas a través de la pila se han iniciado, pero no hay desplazamiento horizontal. No se presentan grietas en las unidades de mampostería.
Moderado	Grietas horizontales y mortero fisurado en las juntas horizontales indican que ha ocurrido un desplazamiento horizontal a lo largo de las grietas y se crea un mecanismo de rotura escalonado con aberturas en las juntas de 6,0 mm. El 5% de las hiladas tienen grietas en las unidades de mampostería.
Fuerte	Grietas horizontales y mortero triturado en las juntas horizontales indican que ha ocurrido un desplazamiento horizontal a lo largo de las grietas y se crea un mecanismo de rotura escalonado con aberturas en las juntas de aproximadamente 12,0 mm. Más del 10% de las hiladas tienen grietas en las unidades de mampostería.
Severo	Movimiento significativo por lo que los bloques superiores se han deslizado fuera de su apoyo. Las grietas se han propagado a través de un número significativo de unidades. Algunos bloques de mampostería en los bordes del muro han comenzado o están a punto de caer.

Fuente: FEMA-306, 1998

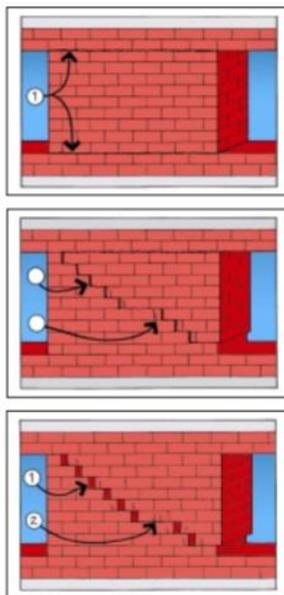


Figura 9.2.7. Daños muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.15. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS CORTOS DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA (COMPORTAMIENTO A TENSIÓN DIAGONAL)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Grietas diagonales pequeñas en unidades de mampostería en un poco menos del 5% de las hiladas.
Moderado	Grietas diagonales en la pila, muchas de las cuales van a través de las unidades de mampostería con grietas de ancho menor a 6,0 mm. Las grietas diagonales llegan a alcanzar las esquinas. No se presentan roturas o fisuras en las esquinas de la pila.
Fuerte	Grietas diagonales en la pila, muchas de las cuales van a través de las unidades de mampostería con grietas de ancho superior a 6,0 mm. Se presentan roturas y fisuras secundarias en las esquinas de la pila. Movimientos secundarios a lo largo o a través del plano de rotura. Desprendimiento de partes de mampostería.
Severo	Algunos bloques de mampostería en los bordes del muro han comenzado o están a punto de caer.

Fuente: FEMA-306, 1998

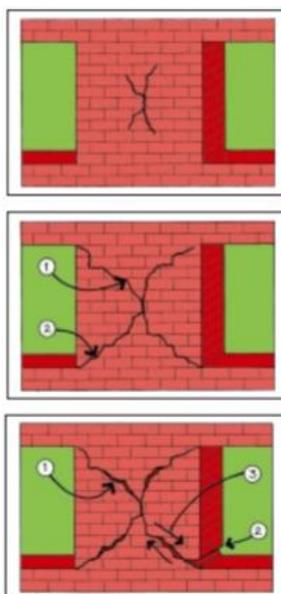


Figura 9.2.8. Daños muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

CUADRO 9.16. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS PORTANTES DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA (FLEXIÓN/ROTURA DE LA BASE/DESPLAZAMIENTO DE LAS JUNTAS HORIZONTALES)	
Niveles de daño	Descripción del daño
Muy leve	Grietas horizontales pequeñas en las juntas horizontales en los talones del muro. Grietas orientadas diagonalmente y fisuras secundarias en el talón del muro.
Moderado	Grietas horizontales y mortero fisurado en las juntas horizontales indican que ha ocurrido un desplazamiento horizontal a lo largo de las grietas y se crea un mecanismo de rotura escalonado con aberturas en las juntas de aproximadamente 6,0 mm. Grietas diagonales y rotura en el talón del muro. Las grietas se extienden en varias hiladas. Grietas orientadas diagonalmente algunas de las cuales atraviesan las unidades de mampostería.
Fuerte	Grietas horizontales cerca de la base del muro similar al nivel de daño moderado excepto que el ancho es de aprox. 12,0 mm. Grietas orientadas diagonalmente y grietas en la base del muro. Las grietas se extienden en varias hiladas. Se presentan grietas a través de las unidades de mampostería. Se presentan roturas locales de la mampostería. Grietas diagonales que tratan de combinar mecanismos de colapso. Pueden atravesar piezas de mampostería.
Severo	Movimiento significativo por lo que los bloques superiores se han deslizado fuera de su apoyo. Algunos bloques de mampostería en los bordes del muro han comenzado o están a punto de caer.

Fuente: FEMA-306, 1998

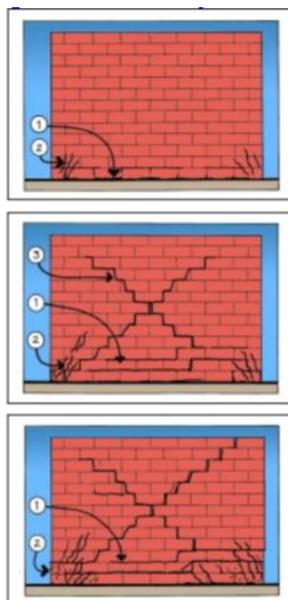


Figura 9.2.9. Daños muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

CUADRO 9.17. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS PORTANTES DE MAMPOSTERÍA NO REFORZADA (COMPORTAMIENTO A FLEXIÓN)	
Niveles de daño	Descripción del daño
Muy leve	Grietas horizontales pequeñas en las juntas horizontales en el talón del muro. Grietas en la porción central del muro. No se presentan desplazamientos horizontales a lo largo de la grieta y el plano de rotura no es continuo a través de la grieta. No se presentan roturas en las unidades de mampostería.
Fuerte	Grietas moderadas horizontales en las juntas horizontales en el talón del muro. Roturas horizontales en grietas de la parte central del muro. Se presentan algunos desplazamientos horizontales a lo largo de la grieta. Grietas diagonales que se prolongan hacia los talones del muro y tratan de conformar mecanismo general.
Severo	Grietas horizontales en las juntas horizontales en el talón del muro. Roturas horizontales en grietas en la parte central del muro. Se presentan grandes desplazamientos horizontales a lo largo de la grieta. Grietas diagonales en la base del muro que pueden atravesar las unidades de mampostería. Algunas de ellas pueden generar rotura de partes de la mampostería.

Fuente: FEMA-306, 1998

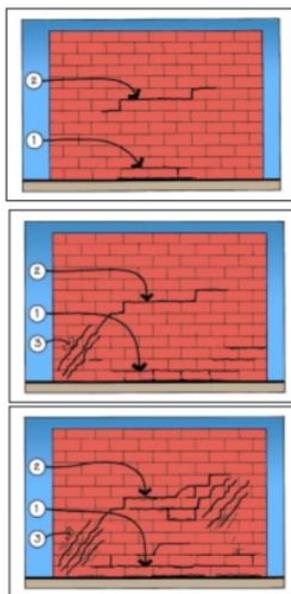


Figura 9.2.10. Daños muy leve, fuerte y severo respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.18. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA (ROTURA DIAGONAL Y EN LAS ESQUINAS)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Separación del mortero alrededor del marco ocurre primero en la interfase viga - panel. Algunas grietas pequeñas pueden ser evidentes a lo largo de las hiladas.
Moderado	Para un marco dúctil (columna fuerte-viga débil) la cedencia del refuerzo longitudinal ocurre primero en la viga con grietas secundarias en las columnas. Roturas por compresión ocurren en los bloques de las esquinas.
Fuerte	Grietas extensas en las zonas de articulación de vigas y columnas llevando a fisurar el concreto del marco. Grietas diagonales pasan a través de las piezas de mampostería. Fisuramiento de los paneles en las esquinas y también a través del plano de corte crítico en la mitad de la altura del mismo.

Fuente: FEMA-306, 1998

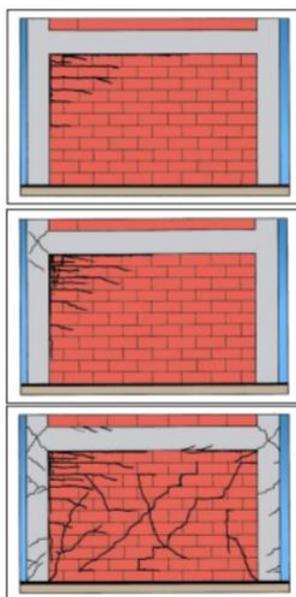


Figura 9.2.11. Daños muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.19. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA (AGRIETAMIENTO EN LAS ESQUINAS)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
<b>Muy leve</b>	Separación del mortero alrededor del perímetro del panel y rotura del mortero cerca de las esquinas del panel.
<b>Moderado</b>	Rotura del mortero, grietas en unidades de mampostería incluyendo movimientos laterales de las fachadas.
<b>Fuerte</b>	Pérdida de partes de la mampostería en las esquinas y total fisuramiento de las fachadas. Roturas diagonales y/o deslizamientos de las juntas.

Fuente: FEMA-306, 1998

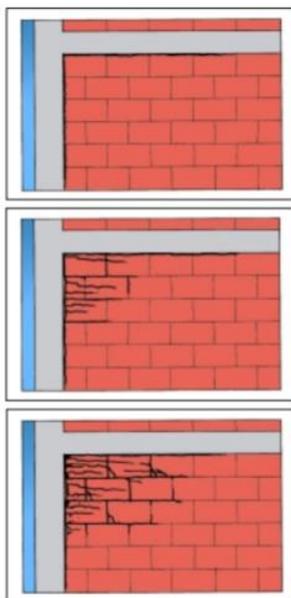


Figura 9.2.12. Daños muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.20. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA (TENSIÓN DIAGONAL)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Roturas pequeñas en forma de diagonales en las unidades de mampostería. Están asociadas con fallas por adherencia entre el mortero y el bloque. Las grietas se concentran en la zona central del panel.
Moderado	Grietas moderadas totalmente extendidas a lo largo de diagonales siguiendo las hiladas del mortero escalonadamente. En ocasiones se propagan a través de las piezas de mampostería. Se presentan algunas roturas y desprendimientos de mortero.
Fuerte	Las grietas tienen anchos del orden de 3,0 mm y están usualmente conectadas con las esquinas deterioradas. Se presentan pérdidas del mortero en zonas de alta compresión. Se presentan varias grietas diagonales. Se presenta con frecuencia rotura en las unidades de mampostería. Partes de la mampostería y/o morteros pueden deteriorarse completamente y caerse por fuera del plano del muro.

Fuente: FEMA-306, 1998

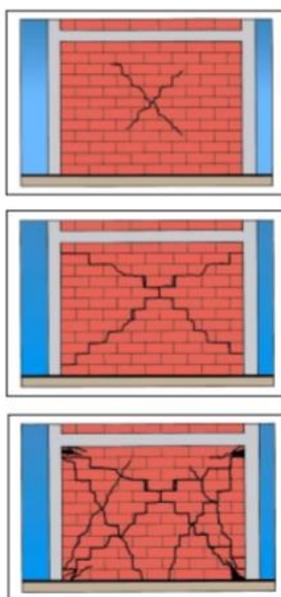


Figura 9.2.13. Daños muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.21. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA (DESPLAZAMIENTO DE LAS JUNTAS HORIZONTALES)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Roturas del mortero alrededor del perímetro del marco. Esto se nota muy particularmente en las columnas cerca de las esquinas de los paneles.
Moderado	Rotura del mortero y agrietamiento de las unidades de mampostería que se extienden sobre grandes zonas adyacentes a la viga y columna. Presencia de grietas horizontales en la parte central del muro. Conexión con las grietas diagonales en las esquinas del panel.
Fuerte	Rotura significativa de mortero y piezas que se extienden alrededor del perímetro del marco particularmente a lo largo de la altura de las columnas. Conformación del mecanismo. Desplazamientos horizontales de las juntas.

Fuente: FEMA-306, 1998

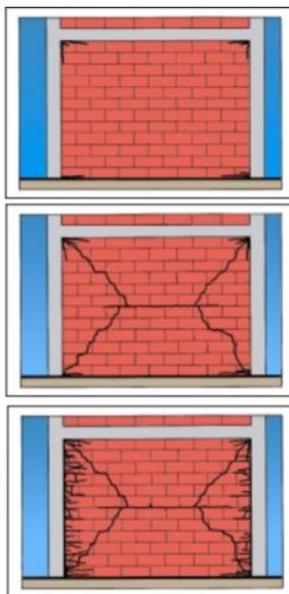


Figura 9.2.14. Daños muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

<b>CUADRO 9.22. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO MUROS DE MAMPOSTERÍA CONFINADA (DESPLAZAMIENTO DE LAS JUNTAS HORIZONTALES)</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Grietas por flexión en el mortero alrededor del perímetro con grietas pequeñas en el mortero a la mitad de la altura del panel.
Moderado	Rotura y pérdida del mortero a lo largo de la parte superior, inferior y en la mitad. Posiblemente roturas en forma de X en el área central del panel.
Fuerte	Roturas severas de esquina a esquina con alguna mampostería sacada fuera del plano. En la parte superior, inferior y en la mitad el mortero se encuentra completamente fisurado o suelto. Hay mampostería sacada fuera del plano.

Fuente: FEMA-306, 1998

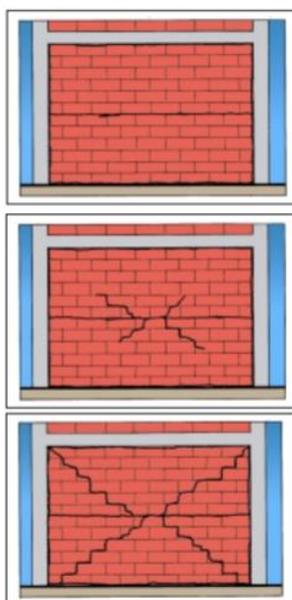


Figura 9.2.15. Daños muy leve, moderado y fuerte respectivamente (AIS, 2001)

### 9.3. Evaluación de elementos de acero estructural

“Una dificultad que se enfrenta al evaluar los daños sobre las columnas de acero es el hecho de que las columnas puedan estar recubiertas de concreto con la finalidad de darles resistencia contra el fuego, y por tanto, los daños del elemento estructural no son perceptibles a simple vista, de tal modo que lo primero que se tiene que hacer, será remover los elementos que impidan la observación directa de los elementos estructurales” (Becerra, 2017).

Las experiencias de sismos sufridos en otros países que utilizan mucho el acero estructural para la construcción, han demostrado que la principal causa de daños y fallas en estructuras de acero estructural lo representan las conexiones de los elementos estructurales, sean éstas soldadas, remachadas o empernadas. Podría ocurrir que las conexiones estén ocultas por elementos no estructurales, los cuales se deberán remover para garantizar una completa visibilidad de la conexión.

También, es importante prestar atención al panel de unión, aunque puede ser complicado ya que, en algunos casos, además de las vigas conectadas a los patines de la columna, existen vigas conectadas al alma, lo que dificulta la visibilidad.

<b>CUADRO 9.23. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN VIGAS, COLUMNAS Y CONEXIONES DE ACERO</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Sin defectos visibles.
Leve	Deformaciones menores casi imperceptibles.
Moderado	Deformaciones perceptibles a simple vista, pandeo incipiente de secciones.
Fuerte	Pandeo local, fractura o alguna evidencia de daño en secciones del elemento estructural fuera de zonas de posible formación de articulaciones plásticas.
Severo	Pandeo local, fractura o alguna evidencia de daños en secciones del elemento estructural dentro de zonas de posible formación de articulaciones plásticas. Fractura de soldaduras, tornillos o roblones.

Fuente: Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Territorio de la Región de Murcia (2012)

**9.4. Evaluación de entrepisos**

<b>CUADRO 9.24. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN ENTREPISOS</b>	
<b>Niveles de daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy leve	Algunas fisuras de ancho menor a 0,2 mm, casi imperceptibles sobre la superficie.
Leve	Grietas claramente visibles, con anchos entre 0,2 mm y 1,0 mm sobre la superficie.
Moderado	Grietas con anchos entre 1,0 y 2,0 mm en la superficie, pérdida incipiente del recubrimiento.
Fuerte	Agrietamiento notable, el ancho de las grietas excede los 2,0 mm y hasta 6,0 mm. Pérdida de recubrimiento en la superficie.
Severo	Grietas severas con ancho mayor a 6,0 mm. Degradación y aplastamiento del material.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

**9.5. Determinación del riesgo estructural**

El riesgo estructural de una edificación se asocia al nivel de daño de los elementos estructurales que aportan estabilidad a una estructura, por ende, un daño muy grave puede significar el colapso total o parcial, por efecto de posibles réplicas o su propio peso, aunque el resto de elementos que conforman la edificación no presenten daños considerables.

El riesgo estructural se ha clasificado en varias categorías, cuyas características deben verificarse de acuerdo con el Cuadro 9.24, para determinar el grado de severidad de los daños. Deberá seleccionarse con una "X", una de las siguientes categorías (Bajo, Medio, Alto, Muy Alto), según sea el escrutinio de los evaluadores a cargo.

<b>CUADRO 9.24. DETERMINACIÓN DEL RIESGO ESTRUCTURAL</b>				
<b>Daños</b>	<b>Bajo</b>	<b>Medio</b>	<b>Alto</b>	<b>Muy Alto</b>
Muy Leve	-	-	-	-
Leve	Menor a 30%	Mayor a 30%	-	-
Moderado	No hay	Menor a 30%	30 a 60%	Mayor a 60%
Fuerte	No hay	Menor a 10%	10 a 30 %	Mayor a 30%
Severo	No hay	Menor a 5%	5 a 15%	Mayor a 15%

<b>CUADRO 9.25. OBSERVACIONES IMPORTANTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO ESTRUCTURAL</b>	
<b>Niveles de Riesgo</b>	<b>Descripción de daño</b>
Muy Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Edificaciones que sufrieron daños permanentes (Nivel de daño severo) en sus elementos estructurales verticales (columnas o paredes) en sistemas estructurales a base de marcos resistentes a momentos o en muros en sistemas a base de muros estructurales.</li> <li>- Disminución significativa de la capacidad para resistir cargas verticales o laterales en tal proporción que existe inestabilidad potencial.</li> <li>- El sistema de entrepiso que se apoya en estos elementos verticales presenta asentamientos o deformaciones verticales cercanas a un estado de desplome, la estructura no tendrá resistencia suficiente ante fuerzas laterales para soportar una réplica del evento principal. También, en algunos casos en que el nivel de daño en columnas y paredes estructurales reporte deformaciones permanentes en los mismos, hará pensar que la capacidad de estos elementos para soportar el sistema de piso está seriamente afectada.</li> </ul>
Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Disminución de la capacidad para resistir cargas verticales o laterales, pero no existe inestabilidad potencial.</li> <li>- Edificaciones que sufrieron daños importantes en sus elementos estructurales verticales.</li> <li>- Existe un riesgo asociado a la entrada, uso u ocupación del edificio, debido a la disminución de su capacidad sismorresistente, por la extensión de los daños o por la presencia de elementos en peligro de caer en las salidas principales y escaleras.</li> <li>- El acceso a la edificación debe ser controlado y no se puede usar antes de ser reforzada. Hay que evaluar la necesidad de apuntalar la edificación.</li> </ul>
Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Hay peligro puntual por daños en los elementos estructurales, pero no reducen su capacidad global de resistencia ni ponen en peligro la estabilidad de la estructura.</li> <li>- No existen claramente condiciones que hagan la ocupación de la edificación insegura, pero el daño observado impide que se tenga una ocupación total y debe ser restringido el acceso a algunos sectores, cuya ocupación pueda estar condicionada a la reparación o apuntalamiento de aquellos elementos que ofrezcan peligro.</li> </ul>
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inmuebles que sufrieron daños leves muy puntuales en los elementos estructurales (en menos de un 30% de los elementos), que no ponen en peligro a los habitantes o a la estructura.</li> <li>- Inmuebles que no evidencian ningún tipo de daños.</li> </ul>

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

## 10. Daños en elementos no estructurales

Los elementos no estructurales son todos aquellos que no aportan al desempeño de la estructura, solo se apoyan sobre ella, pueden ser arquitectónicos y electromecánicos, por lo que, elementos que no cayeron durante el sismo pueden caer eventualmente debido a la fuerza de su propio peso o por el movimiento causado en una posible réplica. Además de obstaculizar el acceso a las entradas o pasillos de las edificaciones, esto significa un riesgo para la vida y la seguridad de las personas que habitan el edificio.

Los principales modos de falla de elementos no estructurales pueden describirse según Farbiarz, Campos, Arango y Cardona (2011):

- ✓ Caída: Cuando objetos como parapetos, equipos suspendidos, cielos rasos muy pesados, etc. no se encuentran debidamente anclados pueden sufrir caída.
- ✓ Volcamiento: Componentes con un centro de gravedad alto, como paneles eléctricos, estanterías y divisiones internas son susceptibles a volcarse.
- ✓ Deslizamiento: Elementos colocados en el piso o sobre el techo pueden deslizarse, llegando a afectar conexiones eléctricas o de tuberías generando riesgo de incendios o derrames de agua.
- ✓ Balanceo: elementos suspendidos con soporte vertical, por ejemplo, lámparas, puede balancearse como un péndulo, chocando con otros elementos incluyendo tuberías, eventualmente podría caerse sobre los ocupantes.

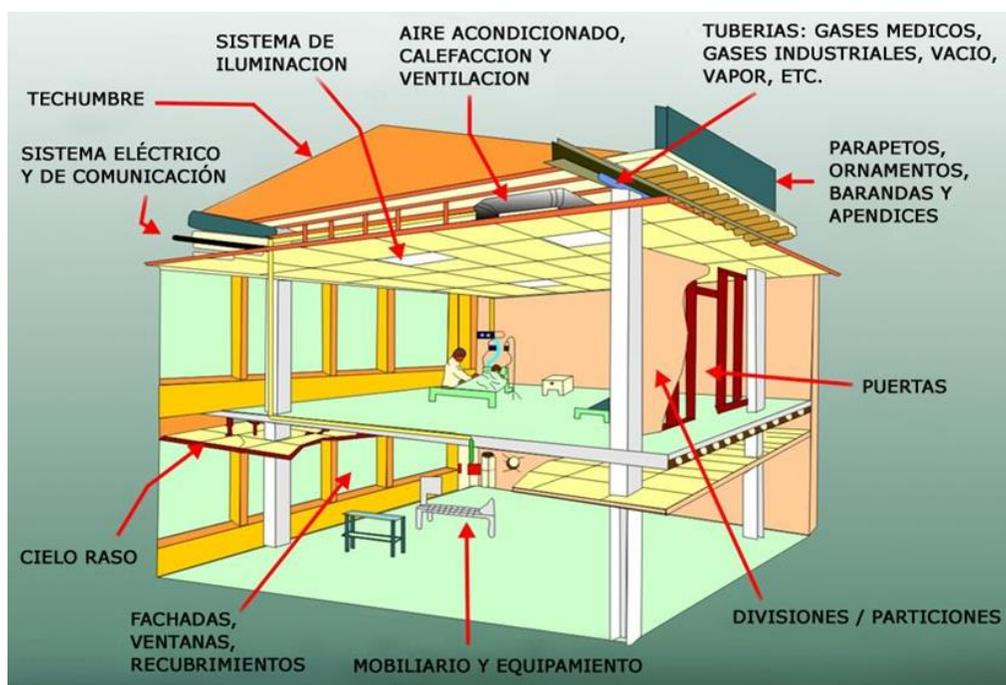


Figura 10.1. Elementos no estructurales (Organización Panamericana de la Salud, 2014)

Los daños no estructurales que normalmente se presentan son el aplastamiento de las uniones entre las estructuras y los elementos no estructurales, el agrietamiento de elementos livianos, el desprendimiento de acabados y la fractura de vidrios y las instalaciones. A continuación, se describen los principales daños en diferentes elementos no estructurales:

- a. Muros de fachadas: Los daños en los elementos de fachada varían según los materiales y la forma de anclaje a la estructura, principalmente se dañan por agrietamiento o desprendimiento de material (Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Terreno, 2013).
- b. Paredes livianas: agrietamiento, desprendimiento de material, inclinación del muro

- c. Cielos rasos: agrietamiento, deformación, caída de algunas o todas las piezas que lo conforman
- d. Luminarias: caída o ruptura de lámparas o soporte de las mismas.
- e. Techo: el conjunto de la estructura sobre el último entrepiso y los materiales de acabado en cubierta pueden presentar daños en apoyos o cerchas (Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Terreno, 2013).
- f. Escaleras: agrietamiento en escalones, desprendimiento de material, agrietamiento en elementos de soporte de escaleras, presencia de obstrucciones.
- g. Tanques elevados: fisuras, fugas, daños a la estructura de soporte, desplazamiento.
- h. Instalaciones de gas o agua: ruptura de tuberías o ductos en cualquier caso con fugas para el caso de instalaciones de gas o agua.
- i. Instalaciones eléctricas: malfuncionamiento o cortos circuitos en la eléctrica
- j. Otros: cualquier otro tipo de daño presente se describirá brevemente.



**Figura 10.2.** Caída de cielos rasos en Hospital de Ciudad Neily (La Nación, 2009)

Para evaluar el nivel de riesgo en los elementos no estructurales, se deberá observar si éstos están desprendidos, si existe la posibilidad de que caigan, si tienen grietas visibles, entre otros aspectos que son detallados en cada caso. A cada tipo de elemento considerado se le asigna una calificación dentro de cinco posibles niveles de daño que se describen para cada tipo de elementos. La calificación dependerá de lo que el evaluador observe y se marcará con una "X" la opción determinada.

El Cuadro 10.1 para muros de fachadas, el Cuadro 10.2 para paredes divisorias, el Cuadro 10.3 para cielos rasos y luminarias, el Cuadro 10.4 para techos, el Cuadro 10.5 para escaleras, el Cuadro 10.6 para tanques elevados y el Cuadro 10.7 para evaluar el daño en tanto en instalaciones eléctricas como de gas y agua.

<b>CUADRO 10.1. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN MUROS DE FACHADA</b>	
<b>Niveles de Daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Ninguno/muy leve	Grietas pequeñas difícilmente visibles, con ancho menor a 0,2 mm, sobre la superficie del muro.
Leve	Agrietamiento perceptible a simple vista, con anchos entre 0,2 mm y 1,0 mm, sobre la superficie del muro.
Moderado	Agrietamiento diagonal incipiente. Grietas considerablemente grandes con anchos mayores o iguales a 1,0 mm y menores a 3,0 mm en la superficie del muro.
Fuerte	Se observa separación, desprendimiento y en algunos casos caída de algunas partes del acabado. Agrietamiento diagonal severo, con anchos mayores o iguales a 3,0 mm y dislocación de piezas de mampostería.
Severo	Desprendimiento y caída de gran parte de los acabados exteriores de las paredes. Desprendimiento de gran parte de los elementos metálicos de unión. Desprendimiento de piezas y/o aplastamiento local de la mampostería. Desplome o inclinación apreciable de la pared.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

<b>CUADRO 10.2. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN PAREDES LIVIANAS</b>	
<b>Niveles de Daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Ninguno/muy leve	Grietas pequeñas difícilmente visibles, con ancho menor a 0,2 mm, sobre la superficie de la pared.
Leve	Agrietamiento perceptible a simple vista, con anchos entre 0,2 mm y 1,0 mm, sobre la superficie de la pared.
Moderado	Agrietamiento diagonal incipiente. Grietas considerablemente grandes con anchos entre 1,0 mm y 3,0 mm en la superficie de la pared.
Fuerte	Agrietamiento diagonal severo, con anchos mayores o iguales a 3,0 mm y dislocación de piezas de mampostería y aplastamiento de unas pocas piezas en la parte baja de la pared.
Severo	Desprendimiento de partes de piezas, aplastamiento local de la mampostería. Desplome o inclinación apreciable de la pared.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

<b>CUADRO 10.3. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN CIELOS RASOS E ILUMINACIÓN</b>	
<b>Niveles de Daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Ninguno/muy leve	No hay daño aparente.
Leve	No existe daño significativo y no hay riesgo aparente para las personas.
Moderado	Se observan daños pero no existe aparentemente peligro de inestabilidad.
Fuerte	Agrietamiento moderado o colapso parcial.
Severo	Pérdida de anclaje o apoyo del cielo raso y de las luminarias.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

<b>CUADRO 10.4. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN CUBIERTAS DE TECHOS</b>	
<b>Niveles de Daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Ninguno/muy leve	Caída de muy pocas tejas o láminas por deslizamiento de las mismas. No se observa desnivel en el techo.
Leve	Caída y falla de varias tejas o láminas que sufren deslizamiento (entre el 15% y el 30%). No se observa desnivel en el techo o ninguna otra afectación en la estructura de cubierta.
Moderado	Deslizamiento, caída y falla de un número notable de tejas o láminas (entre el 30% y el 45%), sin presentar desnivel en el techo, daños leves en la estructura de cubierta.
Fuerte	Deslizamiento, caída generalizada de tejas o láminas (entre 45% y el 60%), problemas en los apoyos de los polines o celosías generando desniveles menores en la estructura del techo.
Severo	Daño severo o falla total de la estructura de techo (cerchas, vigas, etc.); deslizamiento, caída y falla de prácticamente toda la teja o lámina de la cubierta.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

<b>CUADRO 10.5. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN ESCALERAS</b>	
<b>Niveles de Daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Ninguno/muy leve	Grietas pequeñas difícilmente visibles con ancho menor a 0,2 mm sobre la superficie de los escalones.
Leve	Daños menores reflejados en pequeñas grietas pequeñas (ancho menor a 1,0 mm) que no afectan la seguridad y uso.
Moderado	Daños con agrietamiento del concreto o material de la escalera o de sus apoyos (grietas con anchos superiores a 1,0 mm), pero sin riesgo de inestabilidad ni caída de elementos.
Fuerte	Agrietamiento severo, con anchos de grietas mayores a 3,0 mm, escombros en los accesos e indicios de daños en los apoyos.
Severo	Daño significativo en los apoyos o desgarramiento de la escalera en sus apoyos, barras de refuerzo pandeadas, colapso parcial, asentamiento o inclinación con respecto a los pisos que vincula. Insegura para el ingreso.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

<b>CUADRO 10.6. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN TANQUES ELEVADOS</b>	
<b>Niveles de Daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Ninguno/muy leve	Sin defectos visibles
Leve	Daños menores reflejados en grietas pequeñas (ancho menor a 1,0 mm) que no afectan la seguridad y uso. Deformación casi imperceptible del tanque.
Moderado	Daños con agrietamiento del concreto o de sus apoyos (grietas con anchos superiores a 1,0 mm), pero sin riesgo de inestabilidad.
Fuerte	Agrietamiento severo, con anchos de grietas mayores a 3,0 mm. Daños en los apoyos, deformación excesiva.
Severo	Barras de refuerzo pandeadas, colapso, asentamiento o inclinación. Representa un riesgo para los civiles.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

<b>CUADRO 10.7. DESCRIPCIÓN DE LOS NIVELES DE DAÑO EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS, DE GAS E HIDRÁULICAS</b>	
<b>Niveles de Daño</b>	<b>Descripción del daño</b>
Ninguno/muy leve	Sin defectos visibles
Leve	Deformación casi imperceptible del componente. Pequeñas fisuras en apoyos de depósitos o equipos.
Moderado	Deformación perceptible del componente. Fisuras en apoyos de depósitos o equipos que no comprometen su estabilidad.
Fuerte	Deformación excesiva del componente. Daños en o deformación excesiva de a Daños o en apoyos de depósitos o equipos que representan un riesgo para los transeúntes.
Severo	Dislocación del componente.

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003)

En caso de observar otros daños deberá especificarse detalladamente en el espacio adecuado. Un ejemplo a tomar en cuenta son los daños en las paredes de ascensores, obstrucciones, rompimiento de cables, falla del sistema electromecánico o colapso. Los derrames químicos o de cualquier otro material peligroso deben reportarse. Otro ejemplo sería la ruptura de vidrios, grietas a 45° en esquinas de vano, deformación de marcos de ventanas, etc. La deformación relativa entre pisos, ocasiona que las ventanas de vidrio, particiones livianas y otros elementos fijados a la estructura sufran deformación. Esto provoca que, materiales frágiles como el vidrio que no pueden tolerar deformación, se agrieten cuando el perímetro donde están confinados se cierre y el edificio ejerza esfuerzos directamente sobre ellos, por lo que puede ocurrir

### **10.1. Determinación del riesgo no estructural.**

Para clasificar el nivel del riesgo que los daños en los elementos no estructurales representan para la seguridad de los ocupantes de una edificación, se proponen cuatro categorías (Bajo, Medio, Alto y Muy Alto) según la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003). Se marcará con una "X" la casilla que contenga la clasificación que más se adapte a las condiciones de la edificación que se esté evaluando.

En el Cuadro 10.8 se describen los diferentes niveles para clasificar el riesgo por el daño en los elementos no estructurales.

<b>CUADRO 10.8. OBSERVACIONES IMPORTANTES PARA LA DETERMINACIÓN DEL RIESGO NO ESTRUCTURAL</b>	
<b>Nivel de Riesgo</b>	<b>Descripción del daño</b>
Muy alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen daños severos y se encuentran dispersos por toda la edificación.</li> <li>- Existen muchos elementos en peligro de caer.</li> <li>- El acceso a la edificación está obstaculizado por completo y su funcionamiento se ha perdido debido a la falla de los elementos no estructurales.</li> <li>- Elementos de fachada, balcones, antepechos, cielos rasos, tanques elevados u otros elementos en peligro de caer.</li> <li>- Daños severos en varias paredes de relleno y escaleras.</li> <li>- Presencia de derrame de químicos y sustancias tóxicas, peligro por líneas de gas rotas o líneas de energía caídas.</li> </ul>
Alto	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Existen daños fuertes generalizados.</li> <li>- Existen muchos elementos en peligro de caer.</li> <li>- El derrame de químicos y sustancias tóxicas en la edificación es fuerte.</li> <li>- Elementos de fachada, balcones, antepechos, cielos rasos, tanques elevados u otros elementos en peligro de caer.</li> <li>- Daños fuertes en varias paredes de relleno y escaleras.</li> <li>- Presencia de derrame de tóxicos, peligro por líneas de gas rotas o líneas de energía caídas.</li> </ul>
Medio	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los daños están concentrados en un área pequeña y es probable restringir el acceso a las áreas inseguras mediante la colocación de barreras que restrinjan el paso de vehículos o peatones.</li> <li>- Peligro puntual de falla o caída de objetos, en zonas diferentes a los accesos y escaleras.</li> <li>- Se pueden remover o anclar fácilmente los elementos que ofrecen peligro o son fáciles de aplicar otras medidas.</li> </ul>
Bajo	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Los daños son leves y muy puntuales y no ofrecen peligro para la integridad de las personas.</li> <li>- No existen daños en los elementos no estructurales.</li> </ul>

Fuente: Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2003), modificación

## 11. Clasificación de habitabilidad

Cuando se habla de habitabilidad se hace referencia a los requisitos mínimos que una edificación debe ofrecer a sus ocupantes en cuanto a comodidad y seguridad, sea esta estructural, no estructural y en sus cimientos, de manera que tenga la capacidad de cumplir con el criterio de funcionalidad, es decir que cumpla con las funciones y objetivos para los que fue diseñada, aún después de haber estado bajo las acciones de carga que produce un sismo.

Teniendo en claro que el objetivo principal de una evaluación estructural postsismo es garantizar la seguridad de las personas se debe tener especial sensatez a la hora de clasificar la habitabilidad del inmueble, para lo cual es importante recordar que pueden ocurrir réplicas de menor, igual o incluso, aunque poco probable de mayor magnitud que el sismo principal.

En primer lugar, se indicará con una "X" si la evaluación de emergencia se realizó llevando a cabo una inspección: 1. Exterior parcial o 2. Exterior completa.

La sección se concluye con la clasificación de habitabilidad de la edificación, de acuerdo a los resultados obtenidos en los cuatro niveles de riesgo definidos con anterioridad:

### A. Riesgo por inestabilidad global

- B. Riesgo por problemas geotécnicos
- C. Riesgo estructural
- D. Riesgo no estructural

Una vez detectado los daños en los elementos estructurales de manera individual, se procederá a elaborar un dictamen cuantitativo e integral, esto es, se deberá precisar el porcentaje de elementos dañados en relación a la totalidad del sistema estructural y compararlos con la normatividad existente para determinar el grado de seguridad del edificio. De forma general se puede decir que, si los elementos dañados representan más del 10 % de los componentes del sistema, la edificación representa un riesgo ante una réplica del temblor. De este modo, los 3 estados definidos se describen de la siguiente forma:

### **11.1. Habitable**

Se representa con color verde. Significa que la ocupación del edificio es permitida, y no existen restricciones de uso. Puede usarse sin ninguna amenaza contra la vida de las personas, para lo cual se garantiza que:

- a) El sistema resistente a cargas tanto verticales como laterales, no presenta reducción significativa en su capacidad.
- b) No hay evidencia de daños severos en la estructura ni en el terreno circundante.
- c) Los daños identificados son muy leves y muy puntuales en elementos arquitectónicos que pueden ser fácilmente reparados y que no son un peligro para la integridad de las personas. La reparación del daño no es una condición necesaria para uso del edificio.
- d) No hay urgencia de tomar contramedidas a corto plazo.
- e) Las escaleras y salidas principales no están obstruidas.
- f) No hay peligro de caída de objetos.

Es importante dejar en claro que, en caso de réplica, la condición de seguridad puede variar ya que puede incrementarse el daño en el edificio y el riesgo para sus ocupantes.

### **11.2. Uso Restringido**

Se representa con color amarillo. Pueden ocurrir dos casos:

a) El inspector define que el estado de daño en partes limitadas del edificio puede implicar un riesgo elevado para sus ocupantes, por esta razón, la ocupación legal del edificio estará restringida en algunas zonas especificadas y debidamente señalizadas, permitiendo el acceso siempre y cuando se tomen las precauciones pertinentes. Es decir, el uso está condicionado a la remoción o reparación de elementos con peligro de caerse, y a la reparación de daños estructurales. Para ello se indican las zonas restringidas y se especifican en detalle las contramedidas necesarias a corto plazo para garantizar la seguridad pública. Cabe señalar que estas contramedidas serán "a corto plazo", es decir, con un gasto moderado y sin ninguna intervención de diseño preciso. De lo contrario, el edificio debe considerarse inutilizable.

b) El inspector define que hay una disminución significativa en la capacidad para resistir cargas, o bien existen daños importantes en elementos arquitectónicos. No se permitirá el uso continuo, ni entrada al público, únicamente se permite la entrada autorizada con fines de emergencia.

Es importante dejar en claro que, en caso de réplica, la condición de seguridad puede variar ya que puede incrementarse el daño en el edificio y el riesgo para sus ocupantes.

### **11.3. No habitable**

La entrada al edificio es terminantemente prohibida, no se puede usar en ninguna de sus partes, por las siguientes razones:

- a) La edificación es de alto riesgo, pues existe un riesgo inmediato asociado a la entrada, uso u ocupación del edificio.
- b) El inmueble sufrió daños estructurales y presenta disminución en su capacidad portante.

- c) La estructura ha colapsado o bien hay posibilidad de colapso por réplicas del sismo.
- d) Se debe desalojar el edificio de manera inmediata

Esto no significa que la estructura deba demolerse o que los daños no puedan repararse, pero se deberán tomar las medidas sobre el apuntalamiento indispensable para que no ocurra un colapso y permita evaluación detallada de los daños para definir la posibilidad de una reestructuración o en su caso una demolición.

Los casos en los que todas las secciones fueron clasificadas con grado bajo, se asignará al edificio un nivel de habitabilidad verde, correspondiente a habitable. Si el edificio tiene por lo menos un punto con grado de daño medio o alto, se asignará al edificio un nivel de habitabilidad amarillo, correspondiente a uso restringido. Si el edificio tiene dos puntos o más con grado de daño muy alto, o al menos dos puntos con grado de daño alto, se asignará al edificio un nivel de habitabilidad rojo, correspondiente a no habitable.

## 12. Recomendaciones

Deberán marcar con una "X", las medidas y recomendaciones que, según el juicio del inspector a cargo, deben realizarse para garantizar la seguridad de las personas que habitan la edificación, así como la intervención de instituciones especializadas o competentes en algún problema en particular que afecte la edificación.

## 13. Comentarios

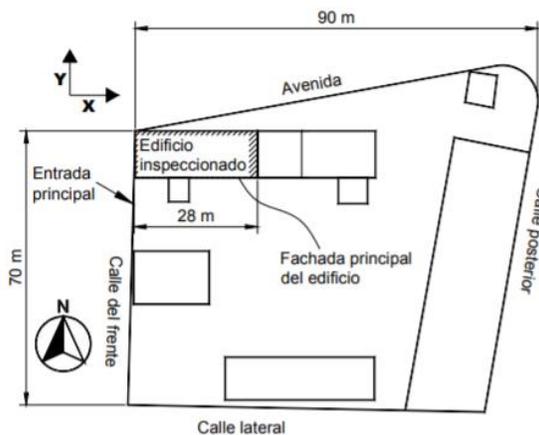
En esta sección podrán hacer énfasis en elementos estructurales, no estructurales, que generan un mayor riesgo para la estabilidad de la edificación y para la seguridad de la misma y de las personas que la habitan. Se podrá hacer énfasis en medidas de urgencias, adicionales a las que tiene el formulario de inspección de campo, que sean necesarias implementar de inmediato para garantizar la seguridad de las personas y la estabilidad de la edificación.

Cuando se identifiquen áreas inseguras, se deberá especificar cuáles son esas áreas para colocar las debidas señales de precaución.

## 14. Esquema

En esta sección se deberá hacer un croquis en el que se muestren los aspectos más importantes, entre ellos:

- Ubicación de la edificación, puntos de referencia como carreteras, parques, colindancias, etc.
- Ubicación de los accesos al edificio.
- Sistema coordinado de referencia
- Orientación respecto al norte geográfico
- Dimensiones generales del terreno y del edificio
- Detalles sobre los daños que se consideren importantes



**Figura 14.1.** Ejemplo de croquis del inmueble (Aragón, Flores, & López, 2011)

Si lo desea, es recomendable hacer también un esquema que muestre la distribución en planta y altura, especificando la ubicación de los elementos estructurales, dimensiones, claros e indicando aquellos elementos que hayan sufrido daño.

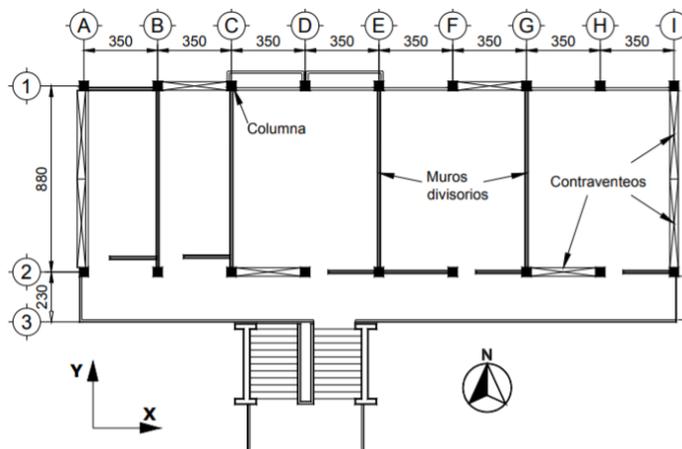


Figura 14.2. Ejemplo de esquema de planta (Aragón, Flores, & López, 2011)

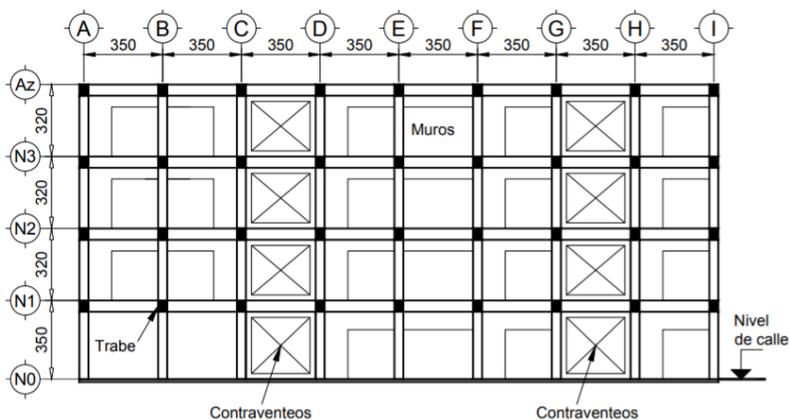


Figura 14.3. Ejemplo de esquema de elevación (Aragón, Flores, & López, 2011)

## 15. Entrega de formulario

La persona a quien se le entregue el formulario debe poner su nombre completo y firma como comprobación de recibido, además de la fecha.

# **Apéndice E**

*“Tipologías de falla de los elementos estructurales”*

# TIPOLOGÍAS COMUNES DE FALLA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

KATALINA SANABRIA MENESES  
TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

NOVIEMBRE 2018



# TIPOLOGÍAS COMUNES DE FALLA DE LOS ELEMENTOS ESTRUCTURALES

Katalina Sanabria Meneses  
Noviembre del 2018

# Contenido

Introducción .....	2
Tipologías comunes de falla de los elementos estructurales .....	3
Concreto.....	3
Comportamiento de los elementos estructurales del sistema de marcos .....	3
Comportamiento de elementos estructurales del sistema de paredes .....	17
Comportamiento de los elementos estructurales del sistema dual .....	19
Mampostería .....	20
Clasificación de estructuras de mampostería .....	20
Comportamiento de elementos estructurales del sistema de paredes .....	21
Acero estructural .....	28
Clasificación de estructuras de acero .....	28
Comportamiento de elementos estructurales del sistema marcos.....	34
Comportamiento estructural del sistema dual.....	44
Sistemas de entrepiso.....	45
Clasificación de entrepisos .....	45
Comportamiento de los sistemas de entrepiso .....	47

# Introducción

Para entender el comportamiento sísmico de las estructuras, es necesario identificar las características que han conducido a las fallas y a los buenos comportamientos estructurales en el pasado, así como también el análisis de los distintos tipos de daños y de las causas que los han originado.

Toda edificación debe garantizar un comportamiento apropiado ante las cargas impuestas, tanto gravitacionales como sísmicas; en pocas palabras, debe poseer una resistencia adecuada para soportar las cargas, una rigidez oportuna para resistir deformaciones permisibles y estabilidad.

Por lo general, las fallas presentadas en las edificaciones durante eventos sísmicos, se originan producto de los defectos en el diseño y configuración estructural, así como en los errores durante la construcción de la obra y el empleo de materiales inapropiados para la edificación.

Se considera que una estructura ha fallado cuando se sobrepasa un estado límite determinado de acuerdo con criterios de resistencia, rigidez, desempeño e, inclusive, apariencia, AIS (2011).

En primer lugar, una estructura puede dañarse gravemente a raíz de un sismo cuando se exceden los límites de servicio. Los estados límite de servicio son aquellos que, aunque no amenazan la integridad estructural, deterioran la funcionalidad de la edificación. Por ejemplo, deflexiones excesivas bajo cargas, aún por debajo del límite de fluencia del material. También, el ancho excesivo de grietas en materiales como el concreto y la mampostería reforzados, cuyas matrices se fisuran con niveles relativamente bajos de tensiones y tras lo cual el refuerzo comienza a trabajar, indican Munera y Villamizar (2013).

Por otro lado, pueden alcanzarse los límites últimos, es decir cuando se supera la capacidad portante del edificio, de manera que se declare fuera de servicio por colapso total de la estructura o parte de la misma. Esto ocurre cuando hay una pérdida del equilibrio del edificio considerado como cuerpo rígido. Un ejemplo claro son los edificios esbeltos cuyas cimentaciones no resisten las fuerzas de tensión inducidas por un sismo. Los elementos esbeltos también son susceptibles de fallar por pandeo o deformaciones excesivas, pudiendo causar el colapso del elemento. En otros casos, cuando los elementos son sometidos a ciclos continuos de carga, puede excederse el límite último por fatiga del material.

Del mismo modo, cuando los esfuerzos inducidos por solicitaciones externas superan la capacidad de los materiales se produce su rotura. Respecto a esto, Munera et al (2013), afirman que cuando se produce la rotura de un elemento estructural principal, la consecuente redistribución de esfuerzos puede causar sobrecarga en elementos adyacentes, produciendo, a su vez, el colapso progresivo de la estructura.

No obstante, si el elemento que sufre la rotura tiene suficiente ductilidad, puede resistir grandes deformaciones sin fallar y sin pérdidas considerables de resistencia, formando un mecanismo de disipación de energía conocido como rotulación plástica, siendo la última línea de defensa de una estructura ante eventos sísmicos poco frecuentes de gran intensidad, fundamenta la Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2011).

Tras la ocurrencia de un sismo es común encontrar en las columnas grietas diagonales causadas por cortante y/o torsión, grietas verticales, caída del recubrimiento, aplastamiento del concreto y pandeo del refuerzo longitudinal por exceso de esfuerzos de flexocompresión. De manera similar, en las vigas, se presentan grietas diagonales o verticales, rotura de aros a causa de cortante y/o torsión, pandeo del refuerzo longitudinal y aplastamiento del concreto por flexión.

Las conexiones o uniones entre elementos estructurales suelen ser los puntos más críticos, las fuerzas de cortante producen grietas diagonales y se presentan fallas por adherencia del refuerzo longitudinal de las vigas. Mientras que en las losas se pueden presentar grietas por punzonamiento alrededor de las columnas y grietas longitudinales a lo largo de la placa.

La siguiente guía hace referencia a una detallada explicación de las patologías más comunes que pueden encontrarse en los principales elementos estructurales de acuerdo a los diferentes sistemas constructivos y materiales entre los cuales se abarca únicamente el concreto, la mampostería y el acero.

# Tipologías comunes de falla de los elementos estructurales

## Concreto

### Comportamiento de los elementos estructurales del sistema de marcos

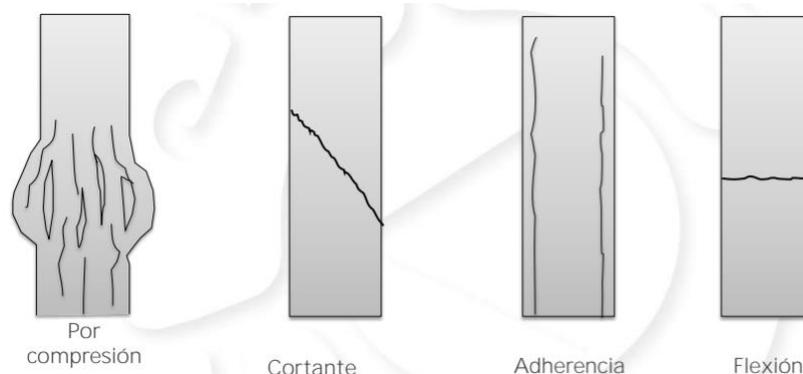
Las estructuras a base de marcos son muy elásticas y durante un sismo sufren desplazamientos horizontales importantes. Los desplazamientos horizontales en los marcos chocan con los muros de relleno, elementos que sirven para dividir espacios o aislar el exterior, y los rompen formando grietas diagonales en "X", ya que el movimiento se da en un va y ven (Ríos, 2017).

### Columnas

Las columnas se definen como elementos verticales que soportan principalmente cargas a compresión o flexocompresión, encargados de transmitir todas las cargas de la estructura a la fundación; es decir, es uno de los elementos más importantes para el soporte de la estructura. En caso de una posible falla, el área afectada sería mayor, pudiendo generar el colapso de la estructura.

Las columnas pueden clasificarse como cortas o esbeltas. Una columna corta también conocida como columna robusta se puede definir como aquella en la cual la carga última para una excentricidad dada es regida por la resistencia de los materiales y las dimensiones de la sección transversal del elemento; su altura es igual o menor a diez veces su ancho menor o su diámetro. Mientras tanto, una columna esbelta es aquella en la que la carga última produce flexión adicional debido a las deformaciones transversales, es decir falla por pandeo.

En el caso de las columnas, las fallas por tensión y compresión producen un aplastamiento del concreto, la fluencia del acero en tensión y la falla del refuerzo transversal. También, se pueden producir grietas diagonales, causadas por cortante y torsión, o grietas verticales, desprendimiento del recubrimiento y pandeo de las barras de refuerzo longitudinal debido a exceso de esfuerzos de flexocompresión. En la Figura 1 se muestran algunos tipos de fallas descritas anteriormente.



**Figura 1.** Modos de falla en columnas de concreto reforzado (Coordinación Nacional de Protección Civil, 2016)

## I. Falla por flexocompresión

“La flexocompresión en columnas se presenta como producto de la combinación de momentos flexionantes y carga axial de compresión a lo largo de su vida útil, que se incrementan cuando sucede un sismo” (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2016).



**Figura 2.** Falla a flexocompresión

Según Najjarro (2008), una columna se puede reforzar con estribos o espirales, el comportamiento en cada uno de los casos es casi similar hasta que llegan a la carga última, una vez es alcanzada ésta en una columna que no tiene estrechamente espaciado los estribos falla de inmediato acompañada de una ruptura del concreto y pandeo de las varillas de acero longitudinal. Por otro lado, al alcanzarse la carga última en una columna con espiral en ésta se agrieta el recubrimiento fuera de la espiral; la capacidad de carga se ve reducida debido a la pérdida del área de concreto.

Existen dos modos principales de falla de elementos sujetos a flexocompresión:

### 1.1 Falla por tensión

“Se produce cuando el acero de un lado fluye en tensión antes de que se produzca el aplastamiento del concreto en el lado opuesto, más comprimido” (González & Robles, 2005).

### 1.2 Falla por compresión

“Este tipo de falla se origina debido a la gran concentración de esfuerzos que se producen precisamente en los extremos de las columnas por las elevadas acciones internas como son carga axial, fuerza cortante y momento flector, causadas por las fuerzas sísmicas. Muchas estructuras se han colapsado como resultado de un inadecuado confinamiento del núcleo de concreto en columnas” (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2016). En otras palabras, podría decirse que la falla por compresión en una columna sucede cuando esta es severamente comprimida más allá de su capacidad de carga. En este caso, la falla se produce por aplastamiento del concreto. El acero del lado más comprimido fluye, mientras que el del lado opuesto no fluye en tensión.

Del mismo modo, la insuficiencia de aros para restringir las barras longitudinales puede generar posibles manifestaciones prematuras de fallas por compresión, esto al pandearse las barras de acero a compresión pues no existe un elemento que las contenga lateralmente. Cuando se presentan estos casos, debido a que los aros se deforman, el concreto que se encuentra en su núcleo queda expuesto; aunque en ocasiones el núcleo se mantiene sano.



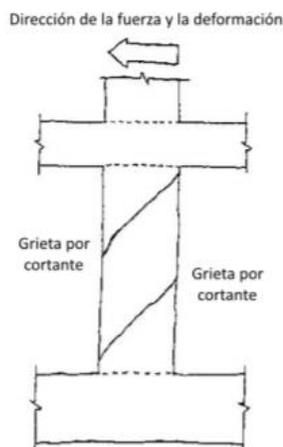
**Figura 3.** Falla por compresión (CENAPRED, 2016)

## II. Falla por cortante

Las fuerzas cortantes por lo general no actúan solas sobre un elemento de concreto reforzado, por lo general, actúan en combinación con flexión, carga axial y torsión. Según la Red Nacional de Evaluadores (s.f.), la falla por cortante se presenta cuando las fuerzas cortantes son mayores que la resistencia proporcionada, conjuntamente, por el concreto y por el acero de refuerzo transversal (aros).

El agrietamiento se presenta en forma diagonal sobre dos de las caras paralelas de la columna, esto significa un deterioro de rigidez y de resistencia, ocasionando que la capacidad de deformación inelástica disminuya. Es más probable que ocurra en las columnas cortas.

El daño por cortante es considerado muy peligroso ya que es tipo frágil, y sus consecuencias tienden a resultar catastróficas según la Red Nacional de Evaluadores (s.f.). La transmisión del cortante a los elementos se apoya en la resistencia a tensión del acero y la resistencia a compresión del concreto, es por ello que es de esperarse que la falla por cortante se de una manera frágil en las columnas.



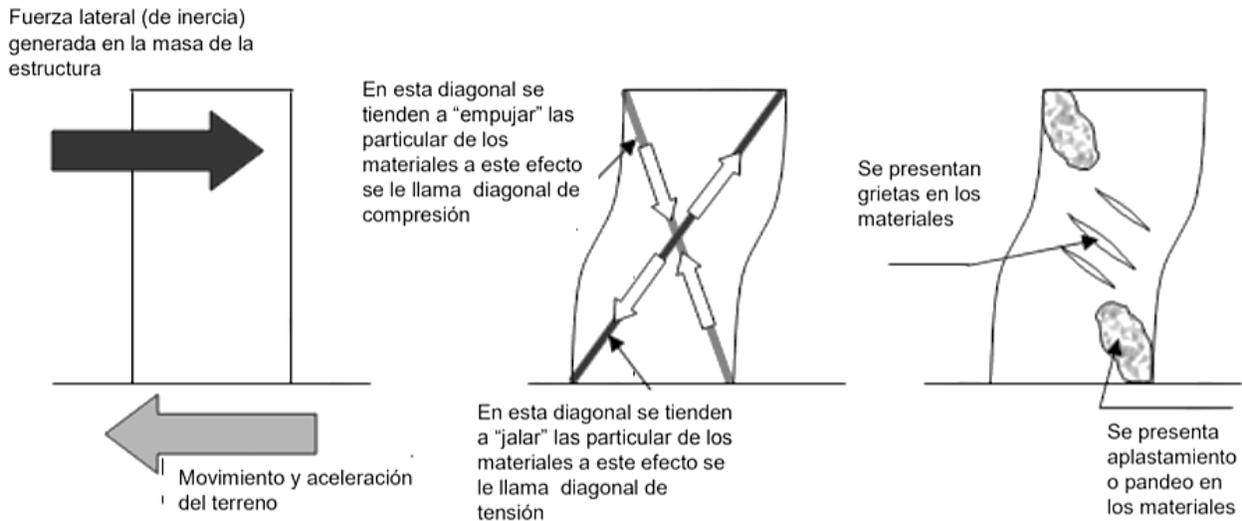
**Figura 4.** Grietas por cortante (Kaminosono et al, 2002)



**Figura 5.** Falla por compresión (CENAPRED, 2016)

Los aros al ser elementos confinantes, evitan que el concreto que se encuentra en el núcleo de la columna se escurra y, de esta manera, la columna sería capaz de resistir el sismo; por eso la separación excesiva o el no colocar estribos en las columnas ocasiona colapsos. La insuficiencia de estribos tiene como consecuencia una falla por cortante (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2016)

González y Robles (2005), afirman que antes de que aparezcan las primeras grietas por flexión en la parte inferior, el comportamiento del elemento es elástico; al aumentar las cargas, la fuerza cortante puede originar esfuerzos que exceden la resistencia a tensión del concreto, produciendo grietas inclinadas a una altura aproximada de medio peralte. Estas grietas pueden aparecer súbitamente en puntos donde no exista una grieta de flexión o, muy frecuentemente, pueden presentarse como continuación de una grieta de flexión que gradualmente cambia de inclinación.



**Figura 6.** Comportamiento a cortante (CENAPRED, 2016)

### 2.1. Falla por tensión diagonal

“La grieta inclinada puede aparecer súbitamente, sin señal previa, y extenderse inmediatamente hasta causar el colapso de la pieza” (González & Robles, 2005).

### 2.2. Falla por compresión por cortante

Cuando el agrietamiento inclinado se desarrolla gradualmente y el elemento colapsa por el aplastamiento de la zona de compresión en el extremo de la grieta inclinada, ya que se reduce la zona disponible para soportar los esfuerzos de compresión originados por flexión. (Márquez & Rafael, 1994)



**Figura 7.** Falla por compresión cortante (CENAPRED, 2016)

### III. Falla por flexión

Se observa como fisuras horizontales en los extremos de la columna. Según el Centro Nacional de Prevención de Desastres de México (2016), este tipo de falla inicia con el agrietamiento del concreto en el lado de las tensiones en donde el acero de refuerzo debe contribuir a soportar dichas fuerzas. Los reglamentos piden que se calcule la cantidad de acero a tensión por flexión de tal forma que este acero pueda fluir y tenga la posibilidad de presentar grandes alargamientos sin que se pierda la resistencia de la sección (se mantiene el momento resistente), lo cual constituye una falla dúctil o con capacidad de deformación. Finalmente, ocurre la falla por aplastamiento del concreto en la zona de compresión.

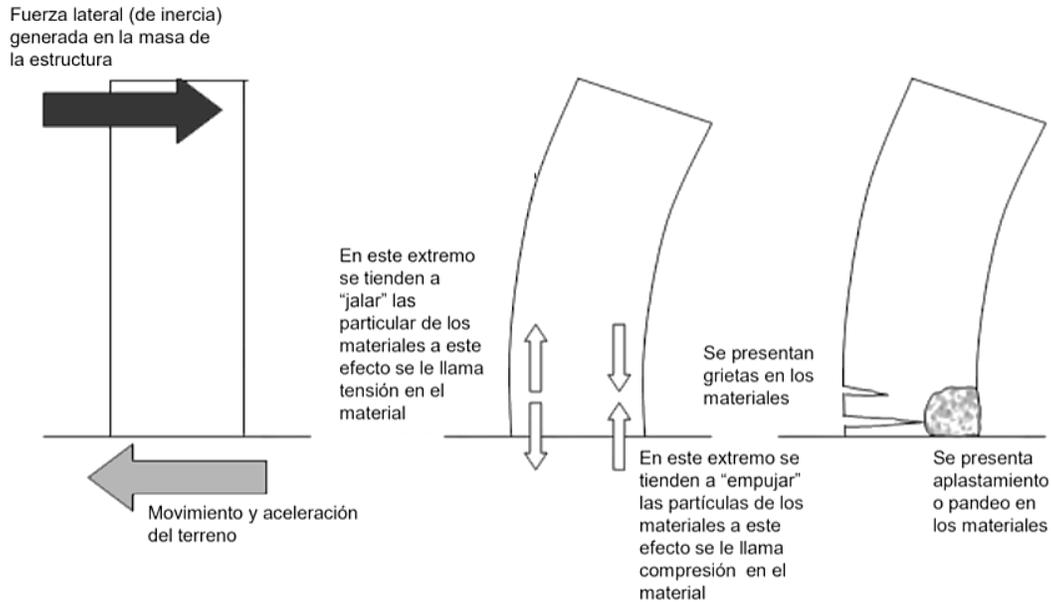


Figura 8. Comportamiento a flexión (CENAPRED, 2016)



Figura 9. Falla por flexión (CENAPRED, 2016)

#### **IV. Falla por torsión**

Los elementos de concreto reforzado están sometidos normalmente a momentos flectores, a fuerzas de cortantes transversales asociadas con estos momentos flectores y, en el caso de columnas, a cargas axiales combinadas a menudo con flexión y cortante.

Además, pueden actuar fuerzas de torsión que tienden a torcer el elemento con respecto a su eje longitudinal. Nilson (1999) añade que estas fuerzas de torsión en pocas ocasiones actúan solas y por lo general están acompañadas por momentos flectores, por cortantes transversales y algunas veces por fuerzas axiales.

La vibración torsional ocurre cuando el centro de masa de un edificio no coincide con su centro de rigidez. Ante esta acción el edificio tiende a girar respecto a su centro de rigidez, lo que causa grandes incrementos en las fuerzas laterales que actúan sobre los elementos perimetrales de soporte de manera proporcional a sus distancias al centro de ubicación (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2016).

Por tanto, cuando los elementos estructurales están distribuidos asimétricamente en planta, se originan vibraciones torsionales ante las acciones sísmicas, generando fuerzas elevadas en los elementos de la periferia del edificio. Cuando las fisuras o grietas son producidas por torsión, éstas se presentan a lo largo de toda la columna en forma de líneas a 45°, los esfuerzos diagonales producidos por torsión ocurren en todas las caras del miembro.

Nilson (1999), deja en claro que después del agrietamiento, la resistencia a torsión del concreto disminuye hasta aproximadamente la mitad de la resistencia del elemento sin fisuras, la torsión restante es resistida por el refuerzo, cuando el momento torsor de agrietamiento está actuando en el elemento se genera una rotación continua para un momento torsor constante, hasta que las fuerzas se redistribuyen del concreto hacia el acero. Cuando la sección se acerca a la resistencia última, se fisura el concreto que recubre el acero y comienza a desprenderse disminuyendo poco a poco la capacidad de torsión del elemento.

#### **V. Falla por adherencia**

También se le puede llamar falla por deslizamiento del refuerzo, en estos casos, la resistencia máxima se alcanza cuando hay extensos agrietamientos longitudinales al nivel del acero a tensión, es decir, se observa una sucesión de pequeñas grietas paralelas.

#### **VI. Pérdida de recubrimiento en columnas**

Cuando el elemento llega a su capacidad de compresión lo primero que ocurre es el desconchamiento del recubrimiento que se desprende y deja expuesto el acero y el núcleo de concreto de la columna; así se reduce el área de concreto de esta y, por lo mismo, también se ve reducida su capacidad de resistencia. Este es un aviso del daño severo de la columna, tras el cual puede suceder el colapso incluso con una réplica menor de un sismo. Sin embargo, si las columnas están bien diseñadas y reforzadas, con poca separación de estribos y acero distribuido uniformemente, pueden tener todavía capacidad de carga a pesar del daño (Centro Nacional de Prevención de Desastres, 2016).



Figura 8. Pérdida de recubrimiento (CENAPRED, 2016)

Tras comprender los diferentes modos de falla, a continuación, se presentan de manera resumida, los daños típicos en columnas:

CUADRO 1. FALLAS TÍPICAS EN COLUMNAS		
Tipos de Daños	Descripción	Apariencia típica
C1	Grietas aproximadamente a 45 grados en los extremos de las columnas; puede o no haber desprendimiento del concreto y exposición del refuerzo. (Falla por cortante)	
C2	Grietas a 45 grados formando una X en la parte de la columna que no está restringida por muros laterales. (Falla en columnas cortas).	
C3	Fractura y desprendimiento del concreto, exposición y deformación del refuerzo en los extremos de la columna. (Falla por flexocompresión).	
C4	Desprendimiento del concreto y exposición del acero de refuerzo con el núcleo destruido (Falla por compresión)	
C5	Grietas horizontales en los extremos de la columna. (Falla por flexión)	

Fuente: García (2012)

## Vigas

Las vigas se definen como elementos estructurales que soportan cargas a flexión principalmente. El comportamiento de una viga en un sistema de marco, dependerá del tipo de carga a la que se vea sometida. La siguiente imagen describe algunas de las fallas más comunes.

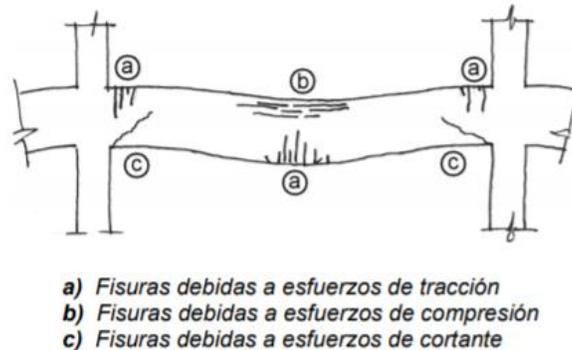


Figura 9. Fallas comunes de vigas (López et al, s.f.)

### I. Falla por tensión

Se presentan en la zona de máximo momento flector de la viga, es decir, en el centro de la cara inferior, y cerca de los apoyos (o encima de los mismos) en la cara superior si hay continuidad de viga (momento negativo de empotramiento). Si aparecen más de una fisura, normalmente se distribuyen uniformemente.

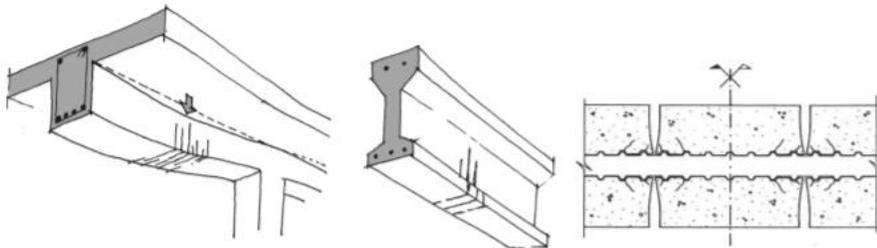


Figura 10. Fallas por tensión en vigas (López et al, s.f.)

### II. Falla por flexión

Cuando se trata de vigas de concreto simple presentan una resistencia muy baja, ya que la resistencia a la tensión en flexión es una pequeña fracción de la resistencia a la compresión asegura Nilson (1999); es por ello que “estas vigas fallan del lado sometido a tensión a cargas bajas mucho antes de que se desarrolle la resistencia completa del concreto en el lado a compresión”. Mientras que si las vigas poseen refuerzo suficiente las grietas serán pequeñas y la falla ocurre por flexión antes o después de la fluencia del acero.

Cuando la viga es sometida a una carga que incrementa gradualmente se tiene que para cargas bajas el esfuerzo de tensión en el concreto es menor que el módulo de ruptura y todo el concreto resiste los esfuerzos de compresión de un lado y los esfuerzos de tensión del otro.

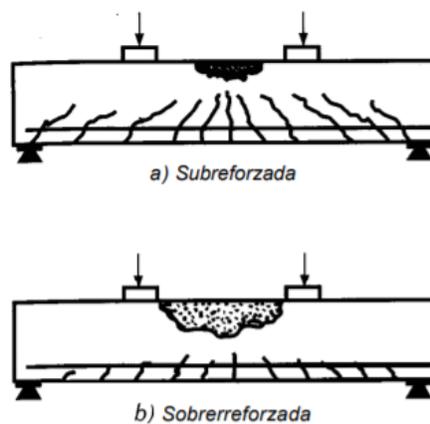
Del mismo modo, Nilson (1999), explica que, al aumentar la carga, llegará un momento en que se alcance la resistencia a la tensión del concreto y es en esta etapa que se desarrollan las grietas de tensión, aparecen en la

parte inferior de las vigas y se propagan verticalmente y muy cerca del nivel del plano neutro, que a su vez se desplaza hacia arriba con agrietamiento progresivo. En las secciones agrietadas el acero de refuerzo absorbe prácticamente toda la tensión, el esfuerzo en el acero aumenta y la zona de compresión se ve reducida.

Según la cantidad de acero longitudinal con que está reforzada la pieza, éste puede fluir o no antes de que se alcance la carga máxima. Cuando el acero fluye antes de que el concreto se aplaste, el comportamiento del miembro es dúctil; es decir, se producen deflexiones grandes antes del colapso final, generalmente debido a una insuficiencia de acero. En este caso se dice que el elemento es subreforzado.

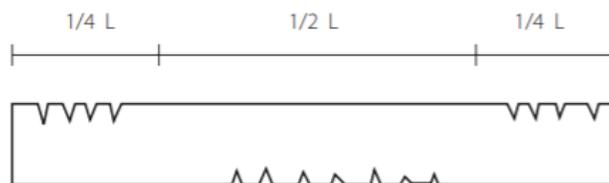
Por otra parte, si la cantidad de acero longitudinal de tensión es grande, aplastamiento del concreto ocurre antes de que el acero fluya y que el elemento es sobrerreforzado, pues hay más acero que concreto. En este caso, la falla ocurre de manera frágil.

Puede suceder que el aplastamiento del concreto y la fluencia del acero ocurran simultáneamente, es decir que la deformación tanto del acero como del concreto es igual. En este caso se dice que sucede una falla balanceada.



**Figura 11.** Agrietamiento en la falla de vigas sujetas a flexión (Nilson, 1999)

Según Becerra (2017), las fisuras verticales ubicadas la parte superior de los cuartos extremos del claro que libra el elemento, o bien, en la parte baja del medio central, son inducidas por el esfuerzo de flexión al que fue sujeta la viga durante el temblor, lo que no soportó y se produjo una deformación plástica.



**Figura 12.** Grietas atribuidas a flexión (Becerra, 2017)

### III. Falla por cortante

El cortante puede presentarse en tres formas distintas, principalmente en elementos sin refuerzo en el alma. Sin embargo, el comportamiento de elementos con refuerzo en el alma es muy similar hasta que aparecen las primeras grietas. El refuerzo restringe la aparición de grietas inclinadas.

### 3.1 Falla a tensión diagonal

Según Najarro (2008), representa el efecto combinado de los esfuerzos cortantes y de los esfuerzos flectores; éstos a su vez son proporcionales, respectivamente, a la fuerza cortante y al momento flector en una ubicación particular del elemento.

Este tipo de falla generalmente en secciones con poco o sin refuerzo transversal en el alma. Esto ocurre cuando el concreto no es capaz de soportar el esfuerzo de tensión máxima y por lo tanto se genera una grieta inclinada perpendicular a la trayectoria del esfuerzo en tensión.

Estas grietas pueden aparecer súbitamente en puntos donde no existe una grieta a flexión o, muy frecuente, pueden presentarse como una continuación de una grieta en flexión que gradualmente cambia de inclinación (Salgado et al, 1988).

Para una sección con una fuerza cortante grande y un momento flector pequeño, se presentará muy poco o ningún agrietamiento por flexión antes de desarrollarse el agrietamiento por tensión diagonal. Cuando la fuerza cortante y el momento flector tienen valores grandes, en el caso de una viga bien dimensionada y reforzada, las grietas de tensión por flexión son las que se presentan en primera instancia; su ancho y longitud están bien controlados y se mantienen pequeñas debido a la presencia del refuerzo longitudinal.

Por otro lado, Nilson (1999), fundamenta que cuando en una sección los esfuerzos flectores son despreciables, los esfuerzos de tensión diagonal, resultan con una inclinación aproximada de  $45^\circ$  y son numéricamente iguales a los esfuerzos cortantes, con su máximo en el eje neutro. Por ello, la mayoría de las grietas se formarán en o cerca del eje neutro y se propagarán a partir de ese punto.

La formación de dichas grietas llamadas de cortante en el alma, pueden aparecer cuando el esfuerzo de tensión diagonal cerca del eje neutro alcanza valores similares al de la resistencia a la tensión del concreto. Según Jiménez y Navarro (2012), se presentan generalmente junto a los apoyos en vigas de gran peralte y alma delgada, o en los puntos de inflexión (cambio en la concavidad de la curva de flexión) en vigas continuas.

Sin embargo, de acuerdo con Nilson (1999), cuando el refuerzo de tensión diagonal en la parte superior de una o más de estas grietas excede la resistencia a la tensión del concreto, la grieta se inclina hacia una dirección diagonal y continúa abriéndose y alargándose, estas grietas se conocen como grietas por cortante y flexión y son más comunes que las grietas de cortante en el alma.

### 3.2 Falla por cortante

En este caso, el agrietamiento inclinado ocurre paulatinamente y la pieza falla por aplastamiento en la zona de compresión en el extremo de la grieta inclinada (Márquez & Rafael, 1994).

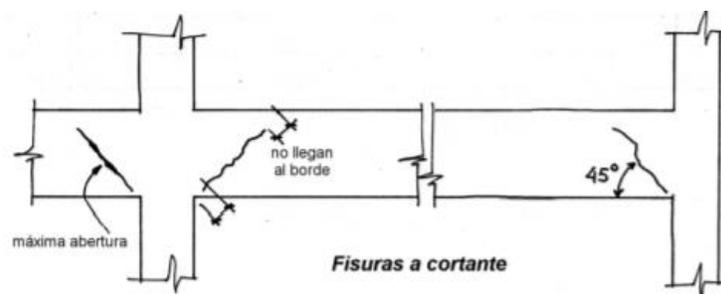


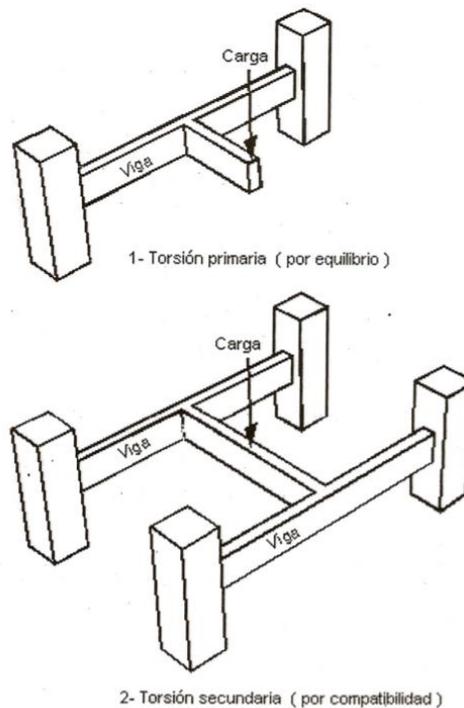
Figura 13. Agrietamiento en la falla de vigas sujetas a cortante (Márquez & Rafael, 1994)

### 3.3 Falla por adherencia por cortante

Cuando existen agrietamientos longitudinales al nivel del acero en tensión junto con aplastamiento en la zona de compresión en el extremo de la grieta inclinada (Márquez & Rafael, 1994).

#### IV. Falla por torsión

El comportamiento por torsión en vigas es similar al visto en las columnas. Es importante tener clara la diferencia entre torsión primaria y torsión secundaria. La torsión primaria conocida como torsión estáticamente determinada, se genera cuando la carga externa no tiene otra alternativa más que ser resistida por torsión. En el caso de la torsión secundaria llamada también torsión estáticamente indeterminada, ésta se genera a partir de los requisitos de continuidad, es decir, de la compatibilidad de deformaciones entre partes adyacentes de una estructura.



**Figura 14.** Tipos de torsión (González & Robles, 2005)

Una viga de concreto sometida a torsión se agrieta y falla formando un patrón en espiral a  $45^\circ$ , como resultado de la tensión diagonal que corresponde a esfuerzos de torsión mayores que la resistencia a torsión de la viga. Los esfuerzos son parecidos a los provocados por el cortante en vigas, pero los esfuerzos diagonales que resultan de la tensión ocurren en todas las caras del elemento.

En una viga de concreto simple, la falla ocurre súbitamente para valores pequeños del ángulo de giro; es una falla de tipo frágil, en la que la grieta de tensión se inicia en la cara inferior, se extiende después a las caras laterales, y se aplasta el concreto de la cara superior. Por consiguiente, puede afirmarse que la falla por tensión ocurre por flexión en un plano inclinado a  $45^\circ$  con respecto al eje longitudinal de la viga. El comportamiento, modo de falla y resistencia de vigas con refuerzo longitudinal únicamente, es similar al de vigas de concreto simple (Ruiz, 2006).

Los daños por torsión en vigas son menos probables, pero cuando se presentan producen grietas diagonales que se pueden confundir con las grietas de cortante. El criterio que se puede utilizar para distinguirlas es que las grietas por cortante están inclinadas en el mismo sentido en las dos caras opuestas en cambio las de torsión están inclinadas en sentidos contrarios. (Sintomatología en las estructuras de concreto armado, 2006)

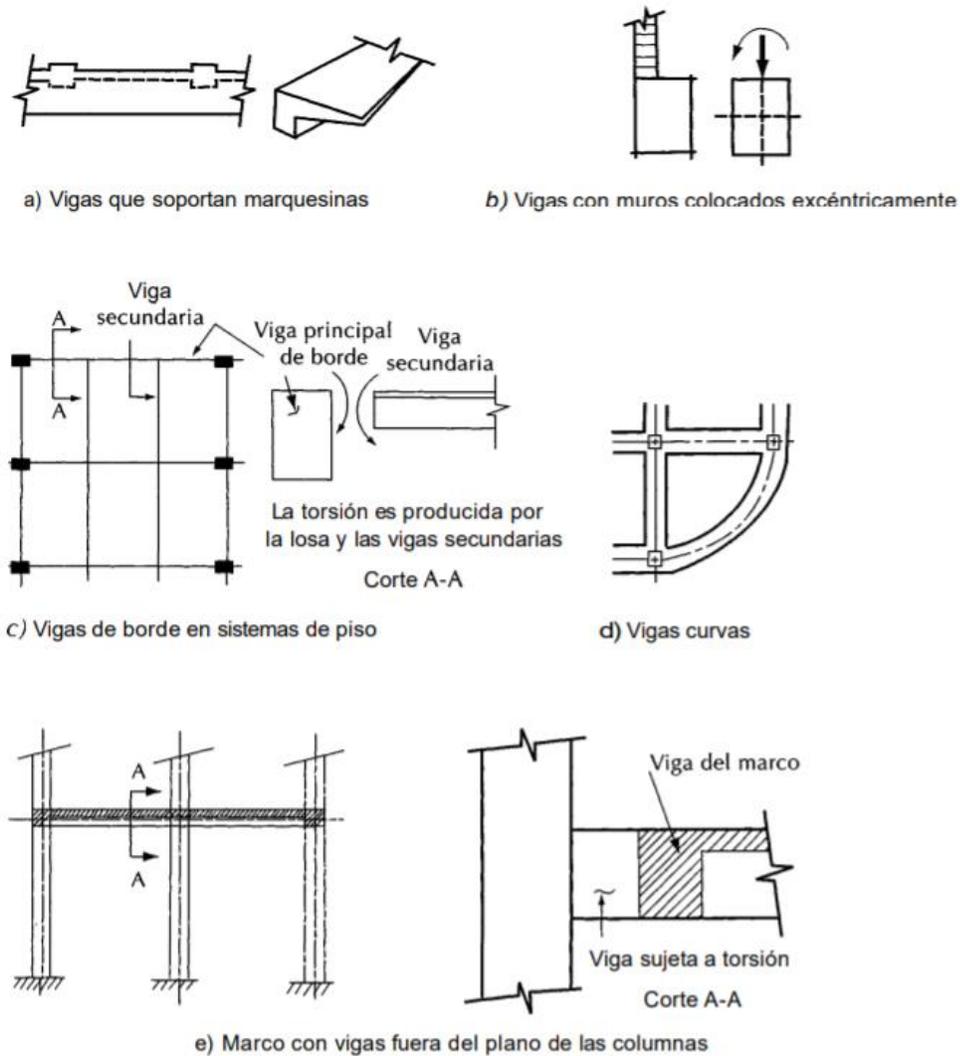


Figura 15. Elementos propensos a sufrir torsión (Anónimo)

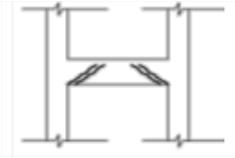
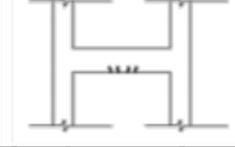
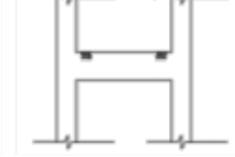
## V. Falla por adherencia del acero con el concreto

Es cuando ocurre pandeo del refuerzo longitudinal. Según Becerra (2017), se presenta a modo de grietas pequeñas, ubicadas de manera paralela, correspondientes con la ubicación del acero de refuerzo.



Figura 16. Grietas atribuidas a falla por adherencia (Becerra, 2017)

Tras comprender los diferentes modos de falla, a continuación, se presentan de manera resumida, los daños más típicos en vigas de concreto:

<b>CUADRO 2. FALLAS TÍPICAS EN VIGAS</b>		
<b>Tipos de Daños</b>	<b>Descripción</b>	<b>Apariencia típica</b>
V1	Grietas aproximadamente a 45 grados en los extremos de las vigas. (Falla por cortante)	
V2	Grietas perpendiculares al eje de la viga en la parte inferior del tercio medio del claro. (Falla por tensión)	
V3	Fisuras perpendiculares al eje de la viga, en la parte superior de los extremos. (Falla por tensión)	

Fuente: García (2012)

## Uniones o nudos

Las uniones son las que unen a los elementos verticales (columnas) con los horizontales (vigas o losas) para garantizar la continuidad de los mismos.

El comportamiento ideal de una unión según Nilson (1999), es aquel en el que la unión, transmite todas las fuerzas de los extremos de los elementos hasta los elementos de apoyo, de manera que la resistencia de la unión sea mayor que la de los elementos que se unen y que su rigidez sea suficiente para no alterar la rigidez de los elementos conectados.

Las uniones viga-columna y viga-viga son las que tienen el comportamiento más crítico al ser sometidas a cargas sísmicas.

### I. Unión viga-columna

El comportamiento de las conexiones viga-columna, tiene una incidencia directa sobre la respuesta total y la estabilidad de los edificios con sistema de marcos. Una pérdida importante de rigidez y resistencia en esta conexión, puede generar un mecanismo de colapso local o incluso global. (Orozco, 2016)

En el caso de las uniones viga-columna se producen las siguientes fallas:

#### 1.1 Falla dúctil por flexión en las vigas adyacentes al nudo

Formación de rótulas plásticas en éstas. “La rótula plástica es un dispositivo de amortiguamiento de energía, que permite la rotación de la deformación plástica de la conexión de una columna, de manera rígida. Es el modo de falla más deseable, puesto que la formación de articulaciones plásticas en las vigas permite la disipación de energía a través de grandes deformaciones sin pérdida de resistencia aparente de la estructura” (Texeira, 2010).

#### 1.2 Falla dúctil por flexión en las columnas adyacentes al nudo

Formación de rótulas plásticas en las columnas. “Es menos deseable que el anterior, aun cuando el mecanismo es similar. La formación de rótulas en las columnas puede generar una inclinación permanente en la estructura, difícil de reparar. Además, puede verse comprometida la estabilidad de las columnas y por lo tanto la de la estructura” (Texeira, 2010).

#### 1.3 Pérdida del recubrimiento

Se reduce la capacidad de carga por compresión de la columna y existe un anclaje defectuoso entre viga y columna según Texeira (2010).

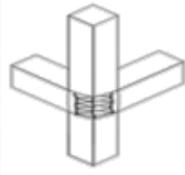
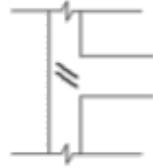
#### 1.4 Pérdida del anclaje del refuerzo.

Este modo de falla es sumamente inconveniente, ya que impide que la estructura transmita el corte lateral según Texeira (2010).

#### 1.5 Falla por corte.

Es una falla frágil que impide la formación de las rótulas plásticas y reduce la capacidad de la estructura de disipar energía inelástica según Texeira (2010).

Tras comprender los diferentes modos de falla, a continuación, se presentan de manera resumida, los daños más típicos en vigas de concreto:

<b>CUADRO 3. FALLAS TÍPICAS EN UNIÓN VIGA-COLUMNA</b>		
<b>Tipos de Daños</b>	<b>Descripción</b>	<b>Apariencia típica</b>
U1	Desprendimiento del concreto, pandeo y exposición del refuerzo longitudinal de la columna. (Falla por compresión)	
U2	Desprendimiento del concreto, pandeo y exposición de refuerzo de la unión. (Falla por momento flector).	
U3	Grietas a 45 grados en la unión. (Falla por corte).	

Fuente: García (2012)

## II. Unión viga-viga

Según Nilson (1999), el comportamiento de este tipo de unión se da a través de una reacción principal que se transmite desde una viga secundaria a una viga principal, mediante un puntal diagonal a compresión, que aplica su empuje cerca de la parte inferior de la viga principal de carga. Cuando este empuje no es considerado en el diseño, “se puede generar un fracturamiento del concreto en la parte inferior de la viga principal seguido del colapso de la viga secundaria” expresa el mismo autor.

## Comportamiento de elementos estructurales del sistema de paredes

### Muros

En el caso de las paredes de concreto reforzado, los cuales deben resistir flexocompresión y cortante para ser consideradas estructurales; se mencionó anteriormente que su comportamiento depende de la relación altura-longitud, ya que esta relación determinará el tipo de carga que predominará en la pared.

#### I. Falla por corte

En el caso de las cargas de corte, estas predominan en paredes bajas, en las cuales la resistencia y rigidez a cargas laterales es muy elevada, pero lamentablemente el comportamiento tiende a ser frágil por el predominio de los efectos de corte.

La falla por corte se produce en los muros de concreto armado cuando su capacidad resistente a fuerza cortante es inferior a la de flexión. Esta falla se caracteriza por la presencia de grietas diagonales; al igual que

en una falla por flexión, los talones del muro pueden triturarse con el subsiguiente pandeo del refuerzo vertical, si es que el extremo carece de estribos de confinamiento (Bartolomé et al, 2011)

## II. Falla por flexión

En cuanto a la flexión, esta actúa esencialmente en paredes esbeltas, las cuales se comportan como vigas en voladizo; la carga axial sobre ellas es pequeña y dominan los efectos de flexión, provocando el pandeo y aplastamiento del concreto en el extremo de la pared que se encuentra en compresión.

Cuando la resistencia de una pared ante las cargas (flexión y corte) que actúan sobre ella es menor que el valor de estas cargas externas, se producirán grietas las cuales dependiendo de su magnitud producirán fallas en la pared. En el caso de la flexión debida a la acción de cargas gravitatorias y laterales, esta puede darse en dirección normal o paralela al plano de la pared, originando grietas horizontales y aplastamiento del concreto.

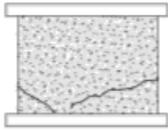
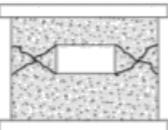
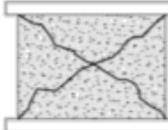
Según Bartolomé et al (2011), este tipo de falla se presenta cuando la capacidad de resistencia a la fuerza cortante (proporcionada por el refuerzo horizontal y el concreto) supera a la de flexión (generada por el refuerzo vertical y la carga axial). Esta falla se caracteriza por el balanceo del muro en torno a sus extremos, transmitiéndose gran parte de la carga vertical por el extremo comprimido, lo que puede originar la trituración del concreto con el subsiguiente pandeo del refuerzo vertical, en caso de que no exista confinamiento en los extremos.

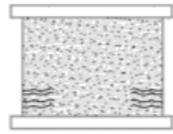
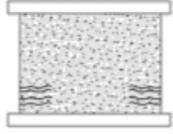
Conviene señalar que la falla por flexión trata de concentrarse en la zona más débil del muro, por ejemplo, donde hay una reducción significativa de su longitud, evidentemente porque la capacidad resistente a flexión en la zona más larga del muro es mayor que la existente en la zona de menor longitud (Bartolomé et al, 2011).

## III. Falla por deslizamiento

Bartolomé et al (2011), explican que este tipo de falla es una derivación de la falla por flexión, producida al conectarse las dos grietas formadas por flexión en ambos extremos del muro. Se presenta en las juntas de construcción del muro y se agrava cuando existe segregación del concreto, cuando las juntas son lisas o cuando los traslapes del refuerzo vertical son realizados en la misma sección transversal.

Tras comprender los diferentes modos de falla, a continuación, se presentan de manera resumida, los daños más típicos en muros de concreto:

<b>CUADRO 4. FALLAS TÍPICAS EN MUROS DE CONCRETO</b>		
<b>Tipos de Daños</b>	<b>Descripción</b>	<b>Apariencia típica</b>
MC1	Grietas aproximadamente a 45 grados en los extremos de la base del muro. (Falla por cortante).	
MC2	Grietas a 45 grados formando una X en las partes del muro que rodean la abertura. (Falla por corte en muros con abertura).	
MC3	Grietas a 45 grados formando una X. (Falla por cortante).	

MC4	Grietas casi horizontales en los extremos de la base del muro. (Falla por flexión).	
MC5	Grietas casi horizontales en los extremos de la base del muro. (Falla por flexión).	
MC6	Grietas verticales en los extremos de la viga de acople. (Falla deslizamiento).	

Fuente: García (2012)

## Comportamiento de los elementos estructurales del sistema dual

En ocasiones la solución más eficiente, para resistir fuerzas sísmicas en un edificio es la elección de un sistema dual o combinado formado por marcos y paredes estructurales. La idea es hacer un diseño en el cual las paredes resistan la mayor parte de las cargas laterales y una pequeña parte de las verticales y que los marcos resistan la mayor parte de las cargas verticales y que absorban una pequeña parte de las cargas laterales, según la rigidez de cada elemento.

Este sistema se caracteriza por el hecho que al crecer la relación altura-longitud de la pared su rigidez se reduce muy rápidamente y se presenta una interacción bastante compleja entre marco y la pared, ya que en los pisos inferiores la rigidez de la pared es muy alta y restringe la deformación de los marcos por completo, en cambio en los pisos superiores, la pared tiende a presentar grandes deformaciones.

Si se establece una buena distribución de los elementos rigidizantes (paredes), se podrá mantener la ventaja de espacio y la ductilidad que ofrece el sistema de marcos al mismo tiempo que se obtiene una estructura con una mayor rigidez y resistencia ante cargas laterales.

Para evitar un comportamiento inadecuado debe prestarse atención a la diferencia de rigidez que exista entre la zona rigidizada y el resto de la estructura. De acuerdo con Silva (2006), una extrema diferencia provoca que las fuerzas laterales se centralicen en esta zona y se transmitan a áreas concentradas de la cimentación o pueden generarse solicitaciones excesivas en los puntos de unión entre las paredes estructurales y las vigas del marco.

Debido a que el sistema dual es una combinación de los sistemas de marco y de paredes estructurales, el comportamiento y modo de falla de todos estos elementos es igual al comportamiento de los elementos estructurales del sistema de marcos y del sistema de paredes. Según Najarro (2008), "el único dato interesante es que el modo de falla que predomina en las vigas de unión debida a los sismos es por la tensión diagonal producida por el cortante".

# Mampostería

Ríos (2017) manifiesta que las estructuras de mampostería simple, sin acero, son estructuras que trabajan en compresión pura, pero con una capacidad prácticamente nula para tomar fuerzas en tracción, que son las que se generan durante los sismos; por lo que se introdujo el acero de refuerzo, mejorando su trabajo en tracción inducido por las fuerzas sísmicas.

## Clasificación de estructuras de mampostería

### Mampostería confinada

La mampostería confinada es la que se realiza a través de la conformación de un muro que luego se confina con vigas y columnas de concreto reforzado vaciadas en sitio. Cuando hay grandes solicitudes de esfuerzo debido a un sismo de magnitud considerable, el comportamiento de la mampostería confinada, antes del agrietamiento diagonal, no depende de las características del marco confinante, sino más bien es después de este agrietamiento, que la posible reserva de carga y ductilidad de la estructura sí dependan de él, especialmente la resistencia al cortante de las esquinas, explica Florián (2009).

Generalmente, los daños pueden observarse en los muros de mampostería no reforzada contenidos entre los marcos de confinamiento de concreto reforzado. Así también, las vigas y columnas de confinamiento pueden fallar por corte, tensión, compresión o por efectos combinados.

Por otro lado, Pavón (2007) afirma que, si la resistencia al cortante del marco confinante es baja, la grieta diagonal se prolonga muy rápido sin aumento en la capacidad de carga del muro, pero si la esquina es resistente, ocurre un incremento considerable en la capacidad de carga hasta llegar a la falla por aplastamiento local, más no la falla frágil, esto debido a que el marco confinante proporciona cierta capacidad de deformación al muro haciéndolo trabajar de manera más dúctil.

El agrietamiento en los muros, puede originarse ya sea por hundimientos diferenciales en el terreno, o bien si la construcción está ubicada en un suelo expansivo, a la hora de que se sature la arcilla, también se puede provocar este tipo de fallas por el empuje que provoca el suelo en las paredes de la vivienda; otro factor importante que afecta en el agrietamiento es el uso de materiales de baja calidad, y la ausencia de confinamiento adecuado. (Florián, 2009)

### Mampostería reforzada

Es la forma de construcción en la cual las unidades de mampostería están reforzadas internamente con barras de acero. “El refuerzo actúa en conjunto con la mampostería para resistir fuerzas verticales y horizontales que lleguen hasta ella” (Florián, 2009).

Los modos de falla más comunes de la mampostería son por deslizamiento, tensión diagonal y flexocompresión; además, se puede presentar una falla de compresión cuando la cuantía del acero es elevada.

### Mampostería no reforzada

En este caso, se utilizan unidades de mampostería sin ningún tipo de refuerzo interno o externo de confinamiento, por lo que también se le conoce como mampostería simple. La mampostería no reforzada posee un

comportamiento con muy poca ductilidad, “presentan importantes limitaciones para resistir acciones sísmicas debido a que tienen poca capacidad para trabajar bajo esfuerzos flexionantes” (Florián, 2009), además una vez producido el agrietamiento de sus elementos, estos tienden a comportarse de manera frágil, por lo que el colapso de la construcción podría presentarse de forma súbita. En la mayoría de los casos, Bonnet (2015), afirma que este tipo de fallo ha estado relacionado con las deficiencias constructivas, como malas conexiones, diafragmas de piso excesivamente flexibles y morteros de mala calidad, entre otros.

De hecho, los tipos de falla que generalmente se presentan en este sistema de construcción según Florián, (2009):

- Agrietamiento vertical en las esquinas, en unión de muros perpendiculares.
- Agrietamiento inclinado, por los esfuerzos de tensión diagonal en las piezas.
- Concentración de grietas en las aberturas.
- Colapso de muros largos.
- Caída del sistema de techos.

No obstante, ante sismos más leves, las estructuras han presentado daños sin gran consideración. Esto podría indicar que, para zonas con una amenaza sísmica baja y moderada, utilizando una técnica adecuada de reforzamiento, podría garantizarse un buen desempeño de estas estructuras, por lo tanto, reducir el riesgo al que se encuentran expuestas (Bonnet, 2015).

## Comportamiento de elementos estructurales del sistema de paredes

Los sistemas estructurales a base muros de carga tienen un comportamiento eficiente ante los sismos, principalmente fallan a causa de los asentamientos o levantamientos del terreno, así como a causa de sobrecargas producidas por acción dinámica. La falla más frecuente es la debida a fuerzas cortantes o tensión diagonal producidas por fuerzas laterales en el plano o por hundimientos diferenciales del terreno

Para que estas estructuras trabajen eficientemente, deben considerarse los muros de manera ortogonal, o sea en ambas direcciones, lo que permite tomar las fuerzas sísmicas provenientes de cualquier dirección. Cuando estas estructuras son sometidas a las fuerzas de los sismos, vemos que, dependiendo la intensidad del evento, llegan a aparecer grietas diagonales en dos direcciones, formando las típicas “X” (Ríos, 2017).

De las grietas existentes en los muros, hay que distinguir su ubicación y dirección lo cual será indicativo del tipo de acción que provocó la falla. Por ejemplo, un muro cuya grieta es horizontal y se ubica a la mitad o dentro del tercio medio de su altura, es un muro afectado por una sobre carga sísmica que lo obligó a ejercer un esfuerzo de flexión o pandeo, acción para la cual el muro de mampostería no está preparado para resistir y queda en posibilidad de que ante una réplica del temblor pueda colapsar (Becerra, 2017).

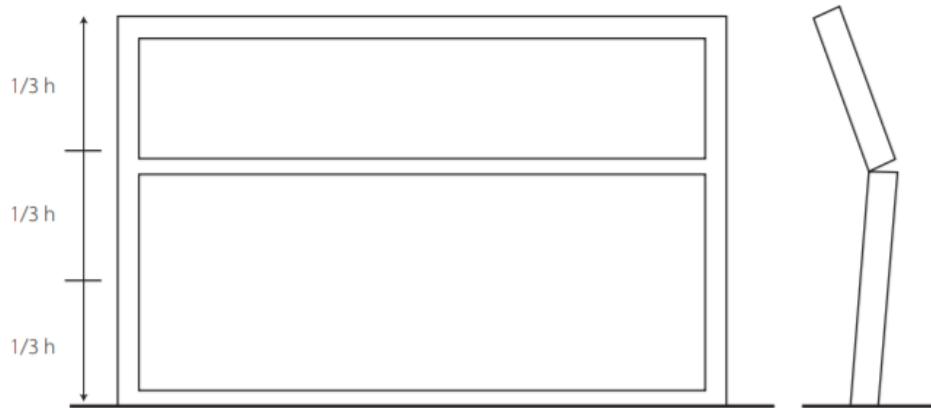


Figura 17. Sistema estructural a base de muros (Becerra, 2017)

La mampostería de bloque de concreto experimenta deformaciones laterales muy bajas y presenta un comportamiento elástico lineal antes de agrietarse. Inmediatamente después de ocurrido el agrietamiento, el comportamiento de la mampostería dependerá de la cantidad y disposición del refuerzo. Suficiente refuerzo, ayuda a soportar niveles de carga altos con deformaciones laterales considerables antes de llegar al colapso.

### I. Falla de corte por deslizamiento

El agrietamiento por deslizamiento se presenta a lo largo de la junta horizontal de mortero como consecuencia de una falla de adherencia por corte en la junta, ocasionada por la poca adhesión entre las unidades y el mortero (Páez, Parra, & Montaña, 2009).

### II. Falla por cortante

#### 2.1. Falla por fricción cortante

Este tipo de falla ocurre para esfuerzos normales de compresión bajos y se produce por la unión débil de las interfaces mortero-unidad, dando lugar a esfuerzos cortantes deslizantes en las juntas horizontales (Bonnet, 2015), por lo tanto, los esfuerzos se desplazan por las juntas horizontales del muro, ocasionando un agrietamiento escalonado en dirección diagonal del muro.

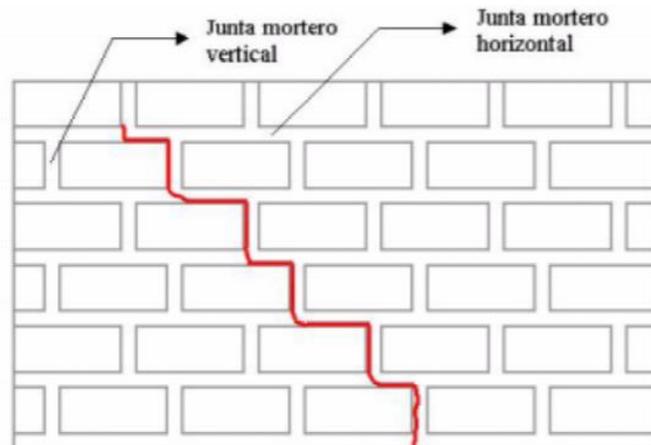
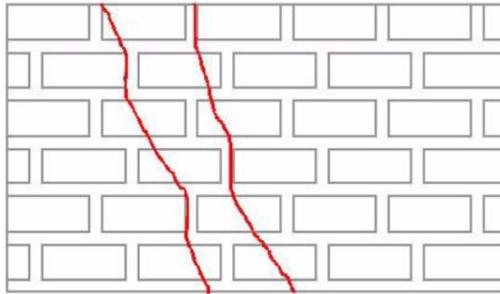


Figura 18. Agrietamiento escalonado diagonalmente producido por un fallo de fricción cortante. (Bonnet, 2015)

## 2.2. Falla por tensión diagonal

Es común también encontrar fisuras que corren diagonalmente a lo largo del muro, es decir que se prolonga a través de la junta y las piezas. En este caso lo que se produce es un esfuerzo de tensión diagonal, y es generalmente ocasionado por un asentamiento de la construcción por falla del terreno.

Bonnet (2015), explica que la resistencia a cortante de las juntas de mortero, se incrementa debido al efecto de los esfuerzos normales de compresión. Por lo tanto, las grietas se producen en las unidades, como resultado de los esfuerzos de tensión inducidos por la combinación de esfuerzos de compresión y cortante. Este tipo de falla se presenta según Hernández (2013), cuando la mampostería alcanza su resistencia a tensión.

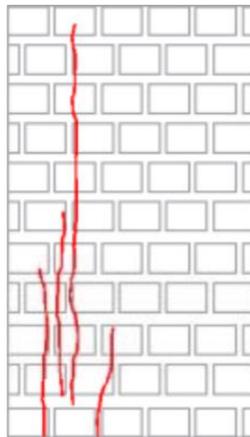


**Figura 19.** Agrietamiento de las unidades de mampostería producido por un fallo de tensión diagonal. (Bonnet, 2015)

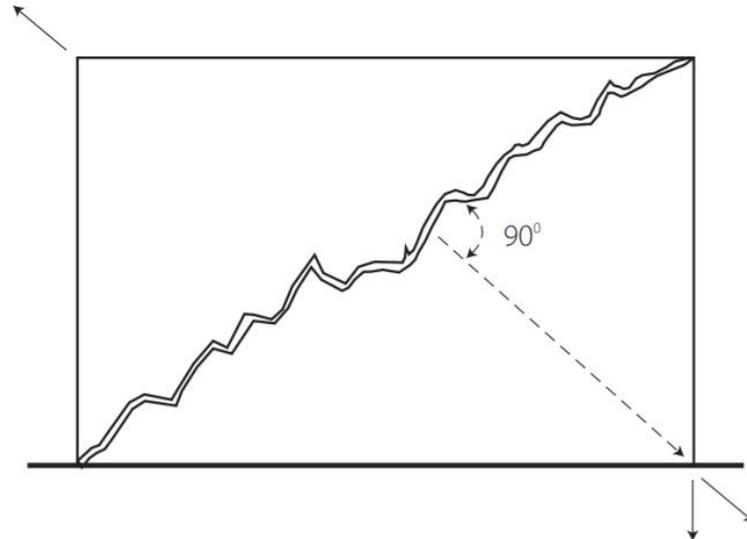
La Figura 19 muestra la distribución de las grietas que siguen la dirección de las juntas verticales y, pasan a través de las unidades con una inclinación que depende de la orientación de los esfuerzos principales en la unidad.

### III. Falla a compresión

Las grietas se forman por las deformaciones verticales y se incrementan por el efecto de las deformaciones del mortero en las juntas. Estas grietas se propagan verticalmente y atraviesan las unidades de mampostería, llegando en algunos casos a comprometer la estabilidad del elemento y a producir el fallo del mismo (Bonnet, 2015)



**Figura 20.** Fallo por agrietamiento vertical excesivo producido por esfuerzos de compresión (Bonnet, 2015)



**Figura 21.** Falla por esfuerzo de tensión diagonal (Becerra, 2017)

#### IV. Falla por tensión

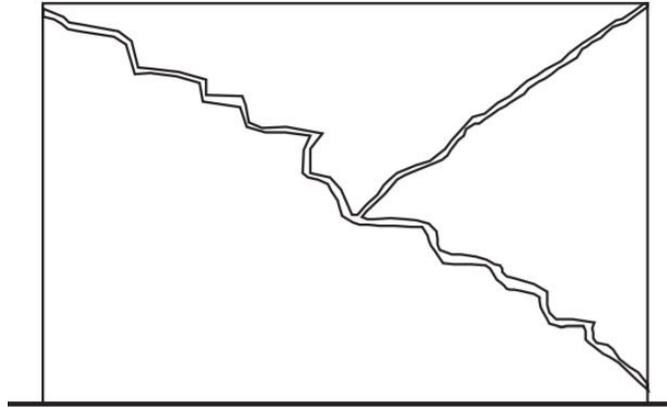
Torres (2009) manifiesta que este tipo de falla está principalmente controlada por la adherencia a la resistencia desarrollada en las interfaces mortero-unidad. Cuando los esfuerzos son paralelos a las juntas horizontales se pueden presentar grietas completamente verticales que atraviesan las unidades, o bien, grietas que no afectan las unidades y solo pasan a través de las juntas de mortero. Por otro lado, cuando los esfuerzos actúan perpendicularmente a las juntas de mortero, la falla ocurre por la separación de las interfaces mortero-unidad.

#### V. Falla por flexocompresión

##### 5.1 Falla por cortante

Este tipo de fallo se presenta principalmente en los paneles de mampostería que poseen la mayor relación longitud-altura. Páez, Parra y Montaña (2009), explican que se caracteriza por grietas diagonales en el muro las cuales pueden formarse a lo largo de las juntas del mortero, como consecuencia de las tensiones de tracción diagonal o esfuerzos de corte que se producen en el mismo.

Pueden aparecer también una combinación de una grieta diagonal en un sentido y en el otro una grieta que sigue la dirección de las juntas de la mampostería. En este caso se puede suponer que el muro fue sometido a un esfuerzo cortante alto, y a diferencia del muro que fue sujeto a la flexión no representa peligro de colapso ante una repetición inmediata de otro sismo, sin embargo, se debe de recomendar su reparación lo más pronto posible (Becerra, 2017).



**Figura 22.** Muro sujeto a esfuerzo cortante (Becerra, 2017)

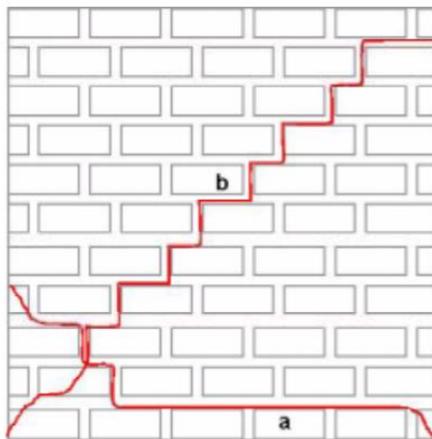
Se trata de un tipo de agrietamiento en doble diagonal en forma de cruz, que puede presentarse en diferentes partes de la estructura. Este tipo de fallo, ha sido identificado como una de las principales causas del colapso de las estructuras de mampostería no reforzada, cuando las grietas se forman en los muros del sistema resistente de cargas laterales, debido a que no existe la suficiente densidad de muros en una dirección determinada del edificio y, por lo tanto, las fuerzas inducidas por el sismo exceden la resistencia a cortante (Brunei, 1994). Cuando el tamaño de estas grietas llega a ser excesivo, la resistencia y la rigidez de los muros se degradan rápidamente, debido a que no existe un refuerzo que controle el tamaño de las grietas y, por lo tanto, la estructura falla de forma frágil. Para grietas pequeñas y poco profundas, el sistema resistente de cargas verticales no se ve comprometido y, por tanto, la estructura continúa siendo estable.

## 5.2 Falla por flexión

Por lo general las grietas que se producen por esta falla suelen aparecer de manera repentina, ya que la resistencia a la tensión de la mampostería es baja, son generalmente horizontales y se forman en la parte superior e inferior de las columnas o pilares de mampostería.

La falla por flexión se presenta si es alcanzada la resistencia a tensión de la mampostería. Este tipo de falla se caracteriza por grietas horizontales en el extremo del muro que está sujeto a tensión, siendo de mayor longitud en la parte inferior y van decreciendo conforme a la altura. Este tipo de falla es poco probable que se presente debido a que la carga axial en el muro contrarresta los momentos actuantes en el muro o por el acero de refuerzo colocado en los extremos. (Hernández, 2013)

Bonnet (2015), determina que, en las estructuras de mampostería no reforzada, la capacidad resistente a flexión está condicionada por la magnitud de la carga vertical actuante sobre el muro (incluyendo la carga tributaria del muro transversal). Así pues, a mayor carga vertical, mayor es la resistencia a flexión de la estructura.



**Figura 23.** Agrietamiento por fallo a flexión de muros de mampostería no reforzada (Bonnet, 2015)

El agrietamiento se presenta en forma vertical en las esquinas y el centro, que puede presentarse en muros esbeltos, y produce una falla de compresión por flexión en el talón comprimido del muro. (Páez, Parra, & Montaña, 2009)

#### **VI. Falla fuera del plano**

“Es bastante común en las estructuras de mampostería no reforzada, incluso para movimientos sísmicos de magnitud moderada. Se produce por la falta de anclaje de los muros a los diafragmas de piso y techo, o por una excesiva flexibilidad de los diafragmas. El fallo fuera del plano es explosivo y pone en peligro la capacidad del sistema resistente de cargas gravitatorias” (Bonnet, 2015).

El mismo autor especifica que una falla en los parapetos, se considera como falla fuera del plano, debido a que este tipo de elementos no estructurales, se comportan como muros en voladizo extendidos más allá de la línea de techo, cuando no están restringidos o bien anclados. Además, por estar localizados en la parte superior de los edificios se ven sometidos a mayores amplificaciones del movimiento sísmico.

#### **VII. Falla en la conexión**

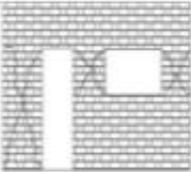
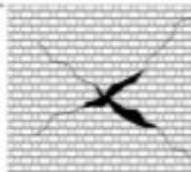
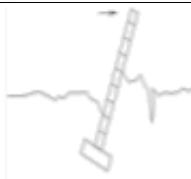
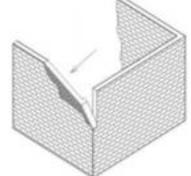
Según Bonnet (2015), comúnmente se presenta en, o cerca de, la parte superior de los muros, donde no hay un anclaje adecuado entre los muros y los techos. Generalmente, las vigas y las viguetas de los techos, se encuentran simplemente apoyadas sobre la parte superior de los muros o simplemente se utiliza un mortero débil para sujetar las vigas al muro. Por lo tanto, ante la ausencia de un anclaje adecuado, los muros exteriores se comportan como vigas en voladizo sobre toda la altura del edificio.

“Las malas conexiones entre los muros, producen grietas verticales en las esquinas y en los empalmes, que ocasionan su separación y, por lo tanto, aumentan su vulnerabilidad (Bonnet, 2015)”.

#### **VIII. Falla en la cimentación**

“Los fallos de fundación deben ser considerados en las zonas donde los suelos son particularmente propensos a la licuefacción. Por otra parte, los desplazamientos y rotaciones de una fundación, incrementan considerablemente la vulnerabilidad de los muros de mampostería no reforzada ante un movimiento sísmico, debido a que basta con unos cuantos milímetros de deformación para que este material que es frágil, se agriete” (Bonnet, 2015). Estos fallos pueden presentarse cuando los muros son muy alargados; cuando el suelo de cimentación es arena suelta, susceptible de densificarse ante la acción de los sismos; o, cuando se cimienta sobre arcillas expansivas, explica el autor.

Tras comprender los diferentes modos de falla, a continuación, se presentan de manera resumida, los daños más típicos en muros de concreto:

<b>CUADRO 5. FALLAS TÍPICAS EN MUROS DE MAMPOSTERÍA</b>		
<b>Tipos de Daños</b>	<b>Descripción</b>	<b>Apariencia típica</b>
MM1	Grietas que forman líneas verticales al centro con diagonales en las zonas de contacto con losas y muros. (Falla por flexión)	
MM2	Grietas a 45 grados formando una X en muros con aberturas de puertas y ventanas.	
MM3	Grietas a 45 grados formando una X. (Falla por cortante).	
MM4	Volteo parcial o total de todo el muro. Formación de grietas horizontales.	
MM5	Falla por falta de anclaje de los muros a los diafragmas horizontales.	

Fuente: García (2012)

# Acero estructural

El acero es uno de los materiales de construcción más utilizados del mundo. Su gran ventaja reside en su relación resistencia/peso, que presenta un valor sensiblemente elevado. Esto significa que los elementos que formarán la estructura en cualquier construcción podrán ser de una sección transversal mucho menor que en el caso del concreto, por lo que ocupa menos espacio (Virgili, 2007).

El acero estructural utilizado en la construcción de edificios tiene dos características principales: alta resistencia mecánica y alta ductilidad. Al ser un material tan dúctil permite construir estructuras estáticamente indeterminadas que satisfacen las condiciones de disipación de energía por deformación plástica y deformaciones inelásticas (las cuales conducen a la formación y rotación de articulaciones plásticas y redistribución de momentos flexionantes) a las que estarían sometidas las edificaciones al momento de un sismo. Esta alta ductilidad en combinación con la alta resistencia, hace que el acero sea capaz de resistir sismos de consideración. Además, según Bustos (2003), si se une la propiedad inherente de ductilidad del material a un diseño dúctil de uniones, estamos en presencia de una estructura altamente eficiente para resistir eventos sísmicos.

Las propiedades de una estructura de acero que definen su respuesta sísmica son: resistencia, rigidez, ductilidad, redundancia, absorción de energía y amortiguamiento. Existen otras propiedades en edificios de acero que son de suma importancia para evitar la falla frágil y por ende garantizar la seguridad sísmica; se trata de la soldabilidad y la tenacidad, en el caso de que las conexiones trabe-columna de un edificio sean soldadas. (Soto, 2017)

El comportamiento que han mostrado las estructuras de acero estructural bajo efecto de sismos intensos ha sido satisfactorio desde el punto de vista de la resistencia. Aún edificios de hasta 12 pisos diseñados sólo para carga vertical permanente y con conexiones flexibles, han mostrado suficiente resistencia; por otra parte, su rigidez lateral frecuentemente ha sido inadecuada y han sufrido daños considerables las ventanas, las paredes y otros elementos no estructurales (De Buen, s.f.).

## Clasificación de estructuras de acero

Uno de los sistemas típicos en las estructuras de edificios de acero son los marcos que pueden definirse como una estructura compuesta de dos o más miembros que se unen mediante conexiones para formar una configuración rígida, estos marcos se pueden clasificar en dos categorías: Marcos Arriostrados y Marcos No Arriostrados.

### Marcos no arriostrados

Los marcos no arriostrados son también llamados marcos resistentes a momento o marcos no contraventados. Consiste en vigas rígidamente conectadas con las columnas, en donde la resistencia a las fuerzas laterales la aporta la acción rígida del marco, por el desarrollo de los momentos a flexión y de las fuerzas cortantes en los elementos y en las conexiones del marco.

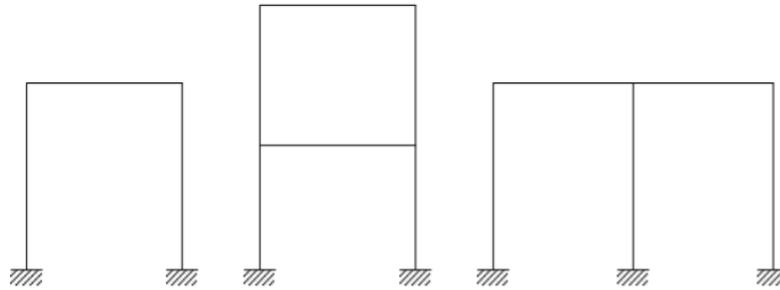


Figura 24. Configuraciones típicas de pórticos resistentes a momento

En virtud de las conexiones rígidas viga-columna, un marco a momento no puede desplazarse lateralmente sin flexión de las vigas y de las columnas. La rigidez a momento y la resistencia de los elementos del marco es por lo tanto la fuente primaria de rigidez lateral y resistencia para el marco completo. Los marcos a momento de acero han sido populares en muchas regiones de alta sismicidad por varias razones. Primero, estos marcos se han visto como sistemas altamente dúctiles. Segundo, son populares debido a su flexibilidad arquitectónica. No hay elementos diagonales que bloquean las aberturas en las paredes (Gascón, 2011).

Los marcos resistentes a momento también pueden ser entendidos como sistemas estructurales tridimensionales en donde los elementos y nodos son capaces de resistir las fuerzas laterales que actúan sobre la estructura. La resistencia a cargas laterales se da por flexión y cortante en vigas y columnas, es decir, por acción del marco.

Se podrían considerar estructuras flexibles por lo que conduce a fuerzas sísmicas de diseño relativamente bajas a partir del espectro de respuesta de diseño. La Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (2011), constituye que el mecanismo de falla de un pórtico involucra la formación de rótulas plásticas en los extremos de los elementos que llegan a los nudos resistentes a momento. Sin embargo, una viga articulada en ambos extremos aumenta su régimen de deformaciones, pero no necesariamente implica la falla del elemento y, menos aún, del sistema estructural. De hecho, la ruta de colapso especificada para pórticos resistentes a momentos indica que las rótulas plásticas deben formarse primero que todo en las vigas.

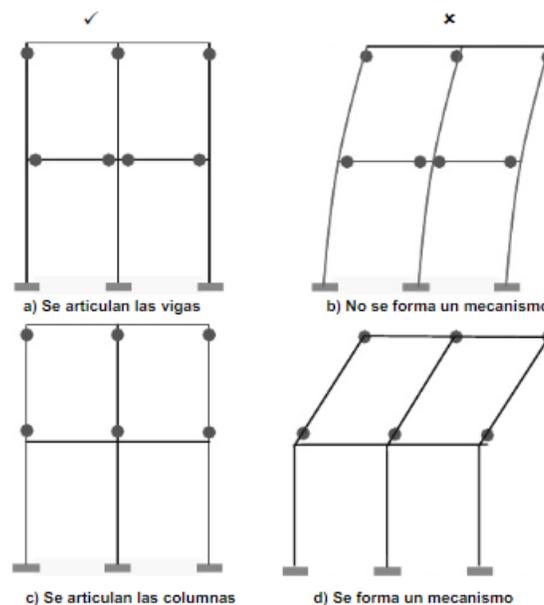
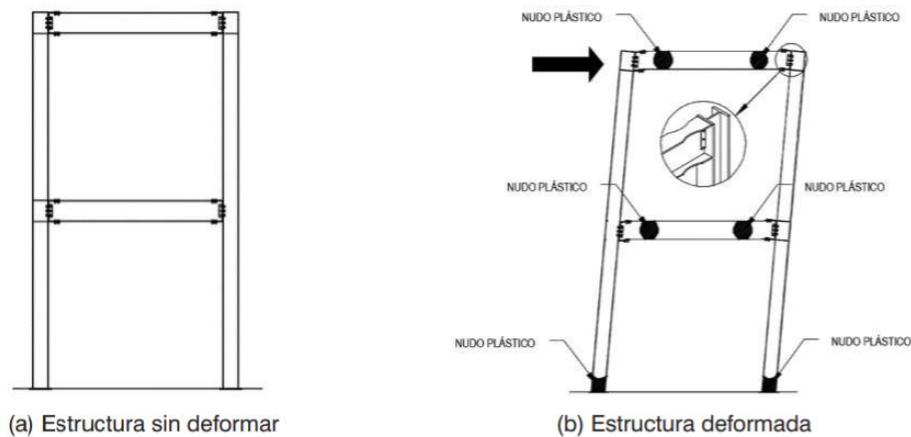


Figura 25. Articulaciones plásticas de un marco (AIS, 2011)

Posee resistencia y rigidez estables durante grandes y repetidas deformaciones inelásticas, las cuales proveen gran disipación de energía. Este comportamiento es importante ya que amortigua la respuesta inelástica y mejora el comportamiento sísmico de la estructura sin requerir resistencia o deformación excesivas en la misma. (Bustos, 2003)

La Figura 13 muestra un pórtico de momento sujeto a cargas sísmicas. Según se puede observar en la figura, la carga lateral forma nudos plásticos en las vigas, mientras que las columnas permanecen elásticas, excepto en la base del pórtico. De igual manera, las conexiones son lo suficientemente resistentes, de modo tal que su capacidad estructural no se ve afectada considerablemente (Pontón, Robalino, Grunahuer, & Yépez, 2016).



**Figura 26.** Comportamiento de un pórtico resistente a momento sometido a cargas sísmicas (Pontón et al, 2016)

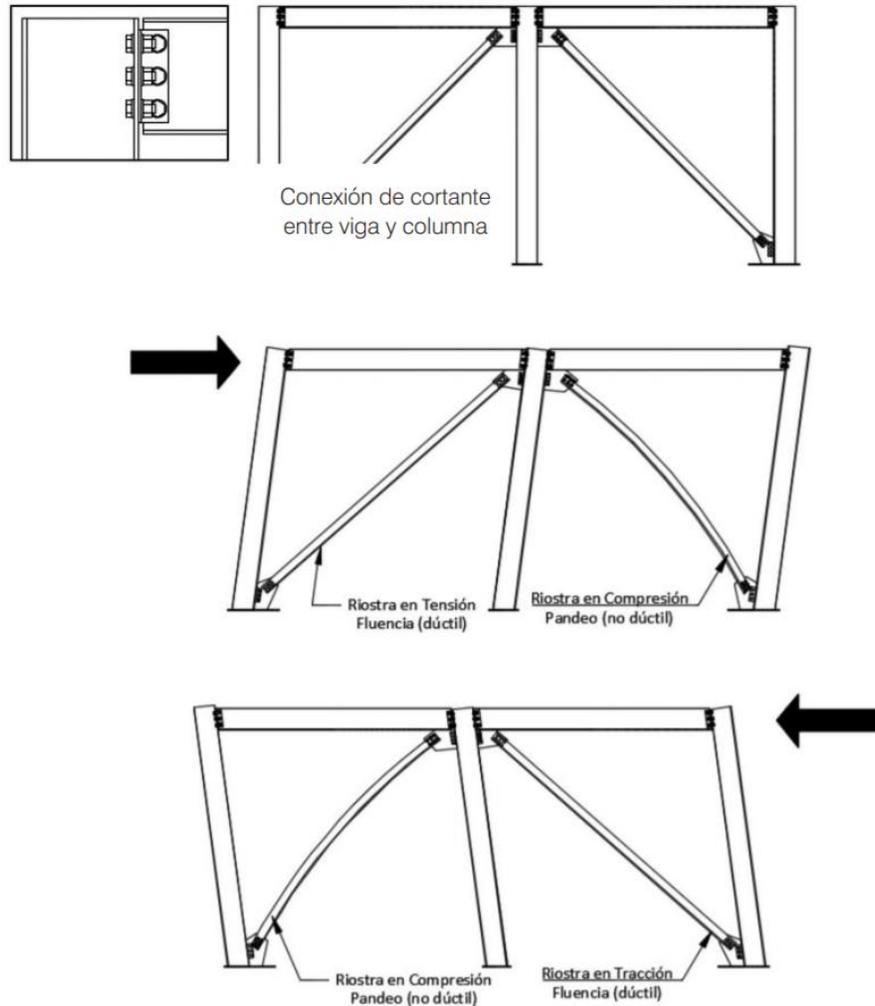
## Marcos arriostrados concéntricamente

Es un sistema que se opone a la fuerza lateral y se caracteriza por una alta rigidez elástica. Esta alta rigidez se logra con la introducción de diagonales que refuerzan a los elementos que se oponen (o resisten) a las fuerzas laterales sobre el marco estructural, mediante el desarrollo de acciones internas axiales y relativamente pequeñas acciones a flexión. (Gascón, 2011)

Dicho de otro modo, los marcos con arriostramientos concéntricos son sistemas en los que elementos diagonales proveen la resistencia necesaria para soportar las cargas sísmicas. Según Pontón et al (2016), se conocen así ya que los elementos se juntan en un punto en común.

Según análisis a lo largo de los años, los sistemas con arriostramientos concéntricos son muy efectivos resistiendo sismos, razón por la cual son ampliamente utilizados en la construcción de estructuras de acero. Estos proveen en forma económica mucha mayor resistencia y rigidez que un pórtico resistente a momento con la misma cantidad de acero, sin embargo, son menos dúctiles.

También puede llamarse marco concéntricamente contraventeado y su funcionamiento se ilustra en la Figura 16. Según se puede observar, las conexiones entre vigas y columnas se las puede diseñar para que funcionen como conexiones de cortante o tipo articulación (Pontón et al, 2016).



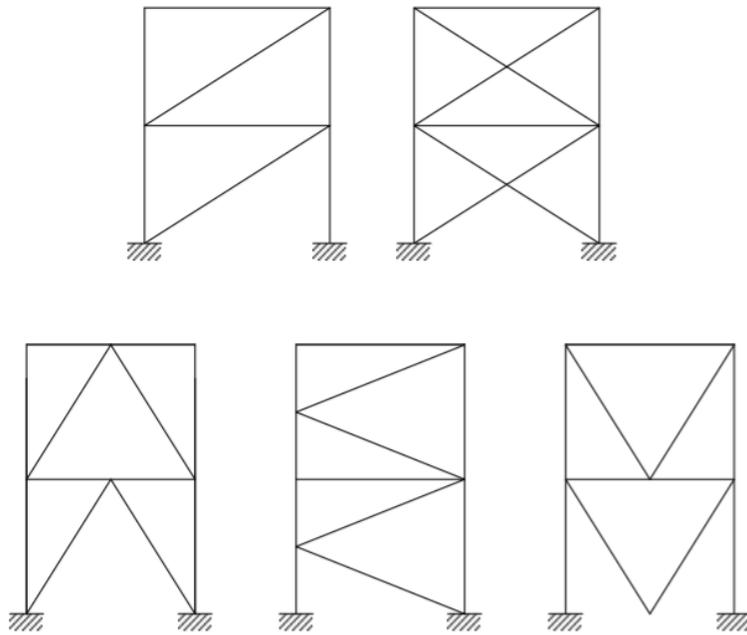
**Figura 27.** Funcionamiento de un pórtico con arriostramientos excéntricos sometidos a un sismo (Pontón et al, 2016)

Dado que el sistema puede ser visto como una armadura, entonces tienen una alta rigidez lateral. Las riostras, que proveen la parte principal de la rigidez, atraen fuerzas muy grandes de compresión y tensión durante un terremoto. Por esta razón y contrario al comportamiento de los pórticos de momento, en este tipo de estructuras es la resistencia de los arriostramientos lo que generalmente controla el diseño.

Pontón et al (2016), explica que cuando el sismo golpea la estructura, la estabilidad de la misma depende de la resistencia del elemento sujeto a tracción. Debido a que generalmente las riostras son esbeltas, el elemento sujeto a compresión, pandea con una carga menor. Sin embargo, al ser la carga sísmica de naturaleza bidireccional, cuando cambia de sentido, la riostra que estaba sujeta a tracción comienza a trabajar a compresión y viceversa. Así, durante un evento sísmico, las riostras están sujetas a una fluctuación de carga que debe ser considerada en el diseño.

Lo anterior hace evidente que el comportamiento depende de la resistencia de los arriostramientos, por lo que éstos deben ser diseñados para disipar efectivamente la carga sísmica de modo que la estructura funcione adecuadamente. En el caso de las vigas y columnas, éstas son diseñadas para que su comportamiento sea esencialmente elástico durante la actividad sísmica.

Existe variedad de configuraciones de arriostramiento, lo cual implica diferencias en el funcionamiento estructural. Se muestran en la siguiente figura algunos ejemplos.



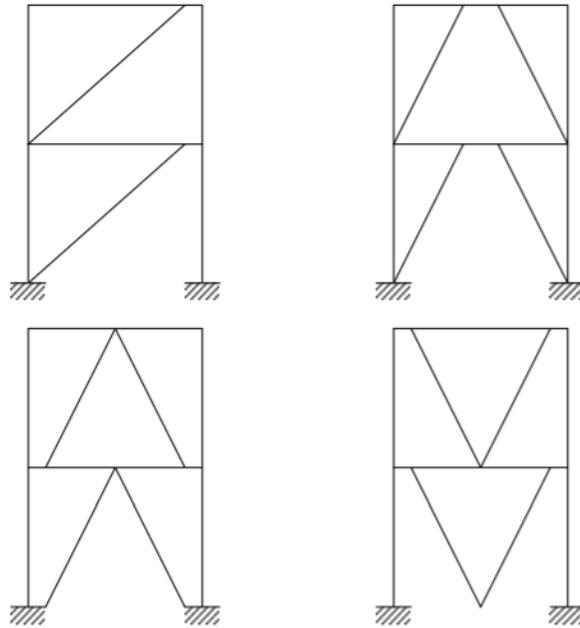
**Figura 28.** Configuraciones típicas de pórticos con arriostramiento concéntrico

### Marcos arriostrados excéntricamente

Los pórticos con arriostramientos excéntricos son sistemas cuyas líneas de eje entre arriostramientos, vigas y columnas no se intersecan. De hecho, la característica principal de un pórtico con arriostramientos excéntricos es la excentricidad que existe entre el eje del arriostramiento y el punto de intersección del resto de elementos del pórtico. La sección de viga que queda delimitada por la excentricidad de la riostra y los otros componentes es el elemento que provee la ductilidad al sistema, que le permite disipar la energía sísmica efectivamente (Pontón et al, 2016).

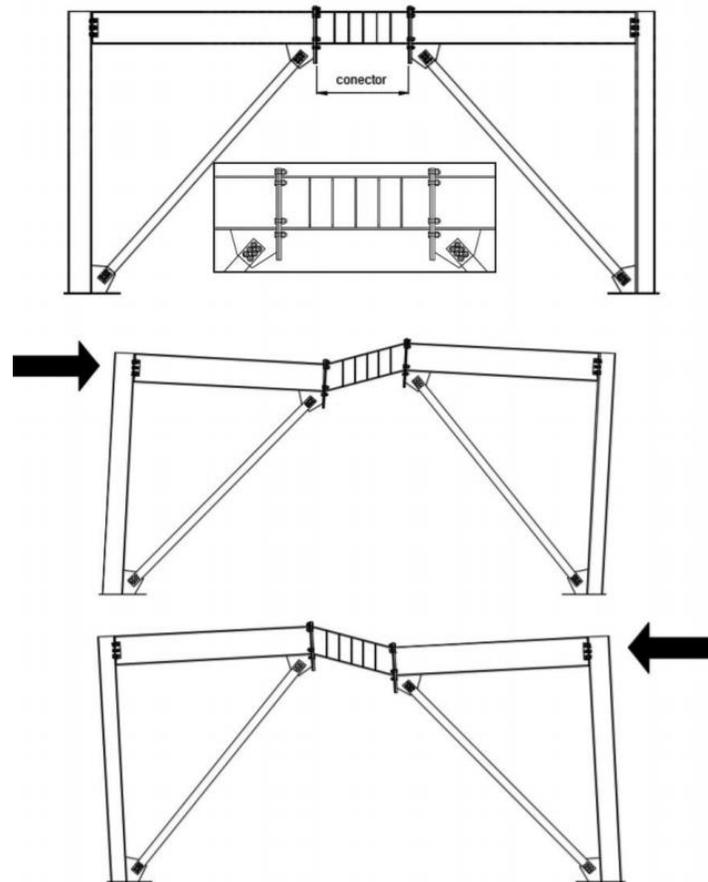
El principal objetivo de este sistema es dar ductilidad en lugar de conectar estos contravientos cuando el marco experimenta cargas dinámicas excesivas superiores a su resistencia elástica. Gascón (2011), asegura que estos marcos tienen la característica particular de poseer una rigidez en el rango elástico conjuntamente con una excelente ductilidad y disipación de energía en el rango de comportamiento inelástico, lo que los hace muy apropiados para ser utilizados como sistemas sismorresistentes en zonas de alta sismicidad.

En los pórticos arriostrados excéntricamente, al menos un extremo de cada diagonal de arriostramiento interseca una viga en un punto alejado de la unión viga-columna, de este modo, se combina la resistencia y rigidez de los pórticos arriostrados concéntricamente con la buena ductilidad de los pórticos resistentes a momento (Bustos, 2003) .



**Figura 29.** Configuraciones típicas de pórticos con arriostramiento excéntrico

El comportamiento de un pórtico con arriostramientos excéntricos se muestra en la Figura 30. Pontón et al (2016), explican este comportamiento de la siguiente manera, el segmento de viga entre los extremos de las riostras es el conector que provee la ductilidad al sistema. Cuando ocurre un sismo, el pórtico se mueve hacia la derecha, formando dos triángulos, cuyos elementos permanecen dentro del rango elástico; menos el conector, pues éste experimenta deformaciones plásticas elevadas. El conector disipa energía sísmica por cortante, por flexión o por una combinación de los dos, lo cual depende de la longitud del mismo, específicamente de la excentricidad de la riostra. En la mayoría de los casos, se aplica una excentricidad relativamente pequeña en el diseño para que funcione como un miembro cuya ductilidad provenga por deformaciones a cortante.



**Figura 30.** Comportamiento de un pórtico con arriostramientos excéntricos ante un evento sísmico (Pontón et al, 2016)

El mismo autor afirma que en este sistema, la carga lateral es resistida por una combinación de acción de pórtico y acción de armadura. Este tipo de sistema es una unión entre los pórticos resistentes a momento y los pórticos con riostras concéntricas, bajo la ventaja de los pórticos con arriostramientos excéntricos pues proveen un alto grado de ductilidad y también, una alta rigidez lateral. (Pontón et al, 2016).

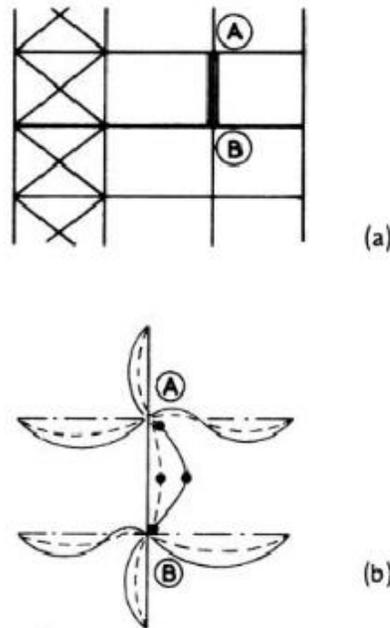
## Comportamiento de elementos estructurales del sistema marcos

### Columnas

Las columnas de los marcos rígidos están sometidas a compresión axial y flexión biaxial combinadas. La falla de una columna a flexo-compresión puede deberse a una de las causas siguientes o incluso a una combinación de ellas (Dowrick, 1978):

1. Formación de una articulación plástica bajo compresión axial y flexión.
2. Inestabilidad por interacción de la carga axial y flexión.
3. Pandeo lateral por flexo-torsión.
4. Pandeo por compresión axial por flexión alrededor del eje de menor momento de inercia.
5. Pandeo local.

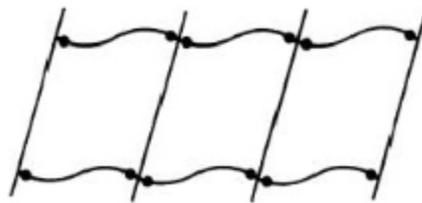
Generalmente las columnas que forman el sistema resistente a cargas en un edificio fallan por una combinación de las dos primeras causas. Mientras que las columnas de marcos contraventeados o marcos con paredes de corte con rigidez adecuada, fallan por formación de tres articulaciones plásticas o por el desarrollo de articulaciones en la columna y en las vigas vecinas, que producen un efecto similar.



**Figura 31.** Falla de una columna en un marco contraventado (de Buen, s.f.)

Si las columnas de un entrepiso de un marco sin contraventeo tienen resistencias diferentes, algunas pueden fallar como se muestra en la Figura 31b, cuando la resistencia lateral del entrepiso aún está presente.

En el caso de marcos que no cuentan con contraventeo (Figura 32), la estabilidad de toda la estructura está en función de las vigas, si éstas son muy flexibles, las columnas se comportan como cuerpos rígidos (excepto en la base, que es donde tiene lugar la formación de rotulas plásticas) y los desplazamientos laterales se deben a flexión de las vigas, explica de Buen (s.f.).



**Figura 32.** Comportamiento de columnas en marcos no contraventados (de Buen, s.f.)

Cuando las vigas son muy rígidas los desplazamientos laterales son resistidos por flexión de las columnas y la condición de falla se alcanza cuando las articulaciones plásticas aparecen en los dos extremos de cada una de ellas. La estabilidad lateral está en función de las propiedades de todas las columnas de cada entrepiso.

El comportamiento de las columnas a flexocompresión mono axial bajo cargas cíclicas reflejadas en pruebas a especímenes de perfiles H, demuestran que la respuesta de la columna disminuye al crecer la carga axial; al restringir los desplazamientos laterales, la falla inicia por pandeo local del patín, la cual se incrementa al

crecer el número de ciclos de carga, y se propaga hacia el alma. Al final el colapso es producido por la combinación del pandeo local del alma y del patín. La capacidad de rotación decrece también cuando aumentan las relaciones ancho-espesor de patines y alma, o la fuerza axial (Najarro, 2008).

Además de lo anterior, es importante conocer los tipos de fallas que pueden presentarse en columnas, estos se definen en el Cuadro 6, y se ilustran en la Figura 33. Los daños en las columnas resultan en una degradación de la capacidad de la estructura a soportar las cargas gravitacionales y laterales.

<b>CUADRO 6. FALLAS TÍPICAS EN COLUMNAS DE ACERO</b>	
<b>Tipos de Daños</b>	<b>Descripción</b>
C1	Grieta incipiente en el patín
C2	Desgarre de patín
C3	Grieta total o parcial en el patín fuera de la zona afectada por el calor de soldadura
C4	Grieta total o parcial en el patín en la zona afectada por el calor de soldadura
C5	Desgarramiento laminar del patín
C6	Pandeo del patín
C7	Falla en el empalme de columna

Fuente: FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000

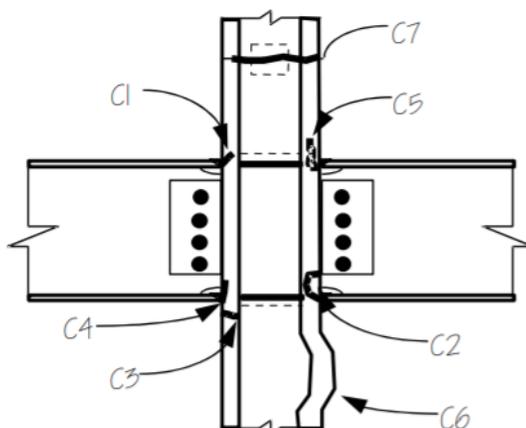


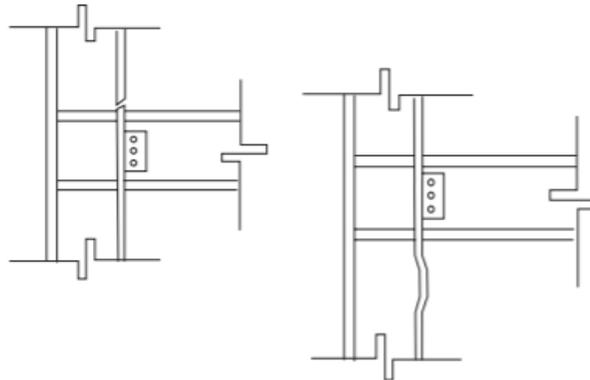
Figura 33. Fallas típicas en columnas (FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000)

El daño tipo C1 no provoca gran pérdida de capacidad inmediata; sin embargo, estas pequeñas fracturas pueden progresar fácilmente a fracturas más graves si se ven sometidas a carga de tracción adicional por réplicas o futuros sismos. El daño de tipo C2 es una pérdida de la unión de la viga-columna para las demandas de tensión y una reducción significativa en el área de columna disponible para resistencia de demandas axiales y de flexión. El daño tipo C3 y C4 se debe a una pérdida de la capacidad de tracción de la columna.

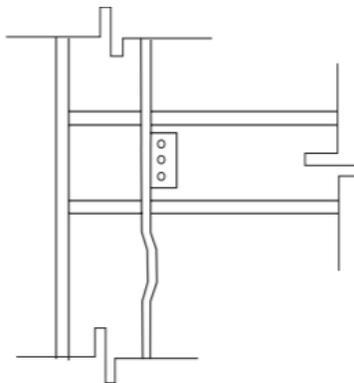
Cuando ocurre la fractura en los patines fuera de la zona de soldadura, indica que hay una pérdida completa de la capacidad a tensión del patín. La mayoría de daños que se presentan en las vigas ocurre en el patín inferior, debido a las losas de concreto que se apoyan en los patines superiores, las que reducen considerablemente la posibilidad de pandeo local de éstos; también tiende a colocar el eje neutro cerca del patín superior, provocando una mayor deformación por tensión en los patines inferiores. (FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000)

Una falla posible en las columnas sucede principalmente en el patín. Se puede presentar su ruptura en un punto cercano a la unión con la viga como resultado de la pérdida de capacidad resistente del material a la tracción y que en secciones compactas aparece gradualmente y reincrementa a medida que crece el número de

ciclos inelásticos que se producen durante un sismo. También, puede acontecer el pandeo y desprendimiento de una sección del patín manifestado como una continuación de la fisura a lo largo de él (Becerra, 2017).



**Figura 34.** Falla en el patín (Becerra, 2017)



**Figura 35.** Pandeo en el patín (Becerra, 2017)

## Vigas

El comportamiento de las vigas depende de las condiciones de apoyo, carga y relación ancho-alto. El colapso de una viga de acero puede presentarse por las siguientes razones:

- Exceso de flexión en el plano de cargas y formación eventual de un mecanismo con articulaciones plásticas
- Por cortante
- Por pandeo lateral o local
- Por fatiga
- En forma frágil

Según Buen (s.f.), una viga soportada lateralmente en su tercio medio, cargada igualmente en los extremos en la cual los apoyos y los puntos de aplicación de las cargas están soportados lateral y torsionalmente, los desplazamientos laterales del patín en compresión ocurren cuando el momento flexionante alcanza el valor plástico, y aumentan gradualmente. Las secciones transversales de las vigas pierden su forma original y se alcanza la resistencia última cuando se pandea la mitad crítica del patín en compresión, esto suele suceder cuando las relaciones ancho-espesor son bajas.

La capacidad de rotación y la resistencia pueden reducirse por los efectos del pandeo lateral o local. En donde:

- Pandeo local: ocurre cuando alguna parte o partes de la sección transversal de un elemento es tan delgada que se pandea localmente antes que exista pandeo lateral del elemento.
  - Pandeo local por compresión en sección: fluencia local del alma, aplastamiento del alma, pandeo local de placa base
  - Pandeo local por tensión en sección: flexión local del patín, fluencia local del alma.
- Pandeo lateral: es la deformación total del elemento debido a la combinación de pandeos locales o la acción simultánea de carga axial y flexión.

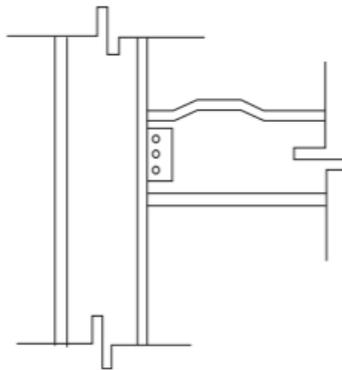
Las vigas muy cortas fluyen por completo antes de pandearse, y pueden resistir momentos iguales al momento plástico o aún mayores, debido al endurecimiento por deformación, pero según Buen (2002) la resistencia de vigas de longitud intermedia se reduce por la plastificación parcial que ocurre antes de que se inicie el pandeo. El pandeo elástico determina la capacidad de carga de las vigas largas.

Najarro (2008) explica que en vigas I o H flexionadas alrededor del eje de mayor momento de inercia, el pandeo lateral y local es inevitable, pero si la relación ancho espesor de sus patines y almas son suficientemente pequeñas y si es proporcionado un soporte lateral adecuado, el pandeo puede retardarse lo suficiente para obtener un comportamiento satisfactorio bajo cargas estáticas o dinámicas (producidas por un sismo).

En muchas vigas H probadas a flexión alrededor del eje de mayor momento de inercia, la deflexión lateral comienza tan pronto como se alcanza el momento plástico, pero cuando las distancias entre las secciones soportadas lateralmente son iguales o menores que una cierta longitud crítica, la iniciación del pandeo lateral no corresponde a la falla, establece Buen (s.f.). Asimismo, la descarga comienza cuando el patín en compresión se pandea localmente bajo deformaciones laterales considerables; la falla se debe siempre a una combinación de ambos tipos de pandeo.

Bajo cargas estáticas, el patín en compresión se pandea localmente cuando la longitud del tramo que ha fluido plásticamente es igual a la de una onda de pandeo local. Bajo carga cíclica los patines de vigas adyacentes a columnas se encuentran alternadamente en tensión y compresión. El patín en compresión se pandea localmente, pero las ondas de pandeo aparecen y desaparecen en cada ciclo, al cambiar la compresión en tensión. Si el pandeo lateral no es crítico, la falla se inicia al formarse una grieta en la zona de deformación inelástica máxima (Dowrick, 1978).

Dependiente del incremento del número de ciclos inelásticos que se producen en una viga durante la ocurrencia de un sismo puede el material que conforma el elemento estructural perder su capacidad resistente y producirse el pandeo de los patines (Becerra, 2017).



**Figura 36.** Pandeo en el patín (Becerra, 2017)

Si la capacidad resistente del material a la tensión se pierde por completo, puede ocurrir la fractura de los patines. Dicha falla conduce a una disminución significativa de la capacidad resistente del sistema estructural, tanto en la capacidad de resistir cargas laterales como en la rigidez de la conexión entre los elementos del sistema.

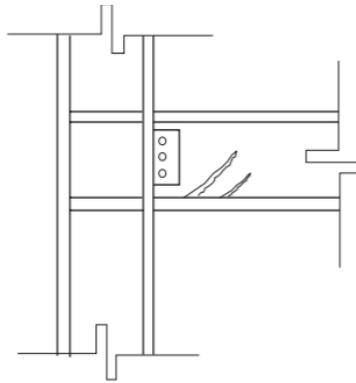


Figura 37. Fractura en el alma de la viga (Becerra, 2017)

Finalmente, el daño en vigas puede consistir en fluencia, pandeo o fractura de los patines de las vigas en o cerca de la conexión viga-columna. En el Cuadro 7 y la Figura 38 se presentan los tipos de daños en vigas.

CUADRO 7. FALLAS TÍPICAS EN VIGAS DE ACERO	
Tipos de Daño	Descripción
G1	Pandeo en patín (superior o inferior)
G2	Fluencia en patín (superior o inferior)
G3	Fractura en patín en la zona afectada por calor de soldadura (superior o inferior)
G4	Fractura en patín fuera de la zona afectada por calor de soldadura (superior o inferior)
G5	Fractura en patín, superior o inferior (no mostrado)
G6	Fluencia o pandeo del alma
G7	Fractura del alma
G8	Pandeo lateral por torsión de la sección

Fuente: FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000

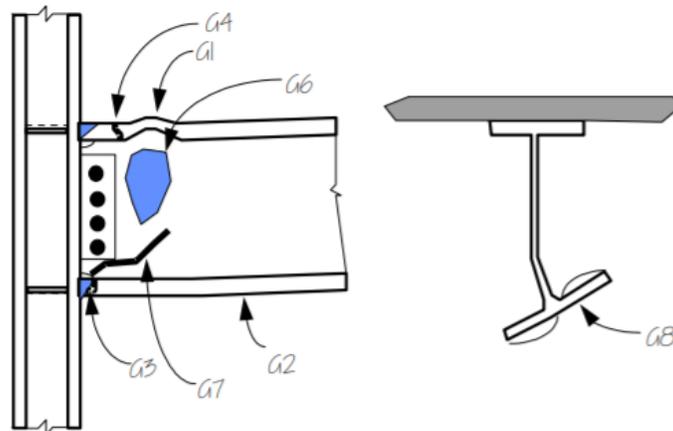


Figura 38. Fallas típicas en vigas (FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000)

## Uniones o conexiones

Las conexiones son los elementos que aseguran la continuidad entre vigas y columnas de un marco de acero estructural, estas pueden ser soldaduras, pernos o tornillos, o remaches.

Las conexiones entre vigas y columnas deben tener una resistencia y rigidez suficiente para minimizar rotaciones o cambios de ángulos originales entre los miembros conectados. Según de Buen (2000), la conexión tendrá un buen comportamiento si posee suficiente capacidad de rotación mientras actúa sobre ella la carga de compresión, para permitir la formación de articulaciones plásticas en la región central de las vigas, o si tiene suficiente resistencia para que se formen las articulaciones plásticas en los extremos de las vigas, y giren hasta que aparezcan las de la parte central del claro. Para conocer el comportamiento de una conexión se deben verificar los siguientes aspectos según Dowrick (1978):

1. Resistencia de la columna, sin reforzar, en las regiones adyacentes a los patines de la viga.
2. Incremento de la resistencia de la columna producido por atiesadores horizontales colocados entre los patines.
3. Posibilidad de la falla de la columna por una combinación de esfuerzos de compresión y de cortante.
4. Influencia de las vigas conectadas por alma.
5. Rotación requerida y capacidad de rotación de la conexión.

Las conexiones son muy confiables ya que absorben una gran cantidad de energía en cada ciclo para un desplazamiento determinado; diseñadas y construidas adecuadamente son capaces de resistir carga cíclica severa. Su capacidad intrínseca de absorción de energía es alta, y pueden resistir en condiciones adecuadas de seguridad un número de ciclos de carga permanente mayor que el que se puede esperar durante la vida de las estructuras reales.

La falla de las conexiones viga-columna puede deberse a aplastamiento o a pandeo del alma de la columna, a distorsión de sus patines o a pandeo o flujo plástico por cortante.

### I. Conexiones soldadas

La soldadura es un proceso en el que se unen partes metálicas mediante el calentamiento de su superficie a un estado plástico, permitiendo que las partes fluyan y se unan con o sin la adición de otro metal fundido. Según Soto (2017), las causas de los daños más importantes a las conexiones soldadas viga-columna en edificios de acero por temblores moderados se atribuyen a los siguientes puntos:

1. Claro descuido en la ejecución de las soldaduras de penetración completa de conexiones viga-columna, principalmente del patín inferior de las vigas; este hecho trae como consecuencia soldaduras de baja calidad y con varias deficiencias.
2. Inspección de campo deficiente en el proceso de las soldaduras de penetración completa de uniones viga-columna.
3. Baja tenacidad en metal de aportación de soldaduras de penetración completa en juntas soldadas.

Los tipos de fallas que puede presentar una conexión soldada se definen en el Cuadro 8 y Figura 39.

<b>CUADRO 8. FALLAS TÍPICAS EN CONEXIONES SOLDADAS</b>	
<b>Tipos de Daño</b>	<b>Descripción</b>
W1	Fractura parcial en la soldadura
W2	Fractura completa a través de la soldadura
W3	Fractura en la intersección de soldadura y patín de columna
W4	Fractura en la intersección de soldadura y patín de viga

Fuente: FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000

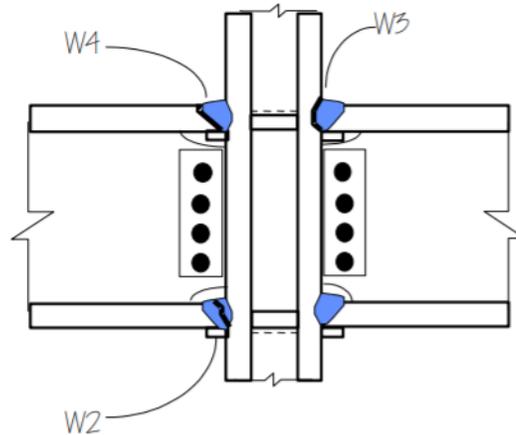


Figura 39. Fallas típicas en soldaduras (FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000)

En el FEMA-351 se explica que en el primer y segundo caso (W1 y W2), las fracturas se prolongan a través del metal utilizado en la soldadura y no son consideradas graves. Los otros dos casos (W3 y W4) casos también son tipificados como no graves, ocurren en la zona de unión los patines de las vigas (material de aportación) y las columnas (material base). Las fallas típicas descritas corresponden a sistemas de marcos resistentes a momentos. En el caso de marcos arriostrados, se presentan fallas en la soldadura de conexión de las riostras a la viga y/o columna; para marcos en celosía la falla que más se presenta es por pandeo en los elementos de las diagonales.

Las principales fallas en soldaduras ocurren en la unión de columnas con los patines inferiores de las vigas, debido principalmente a que en el lugar de la obra los soldadores pueden realizar sin dificultad una junta de penetración completa en el patín superior; pero en el caso del patín inferior la realización de la soldadura se complica, ya que el alma de la viga obstaculiza la colocación continua de la soldadura.

## II. Conexiones atornilladas

Específicamente, los modos de falla que controlan el diseño de conexiones apernadas son los siguientes según Verdugo (s.f.):

- a) **Falla por cortante en el plano:** La falla por cortante ocurre por la insuficiencia en la capacidad de los tornillos o remaches para soportar el esfuerzo cortante, es decir ocurre su deformación o ruptura (Becerra, 2017).
- b) **Falla por tensión en el perno:** La resistencia depende directamente del número de pernos, del número de planos de cizalle, del material del perno y su sección transversal.
- c) **Falla por aplastamiento del material conectado:** La insuficiencia de la sección de las placas puede originar la falla por aplastamiento o bien por tensión provocando la ruptura de la pieza. También influye en este tipo de falla la reducción de la sección ocasionada por el diámetro y la distancia entre los tornillos o remaches (Becerra, 2017). En estos casos la capacidad de los tornillos es mucho mayor que la de las placas y son éstas las que llegan a la ruptura produciéndose la falla por aplastamiento.
- d) **Falla por deslizamiento crítico:** La resistencia depende básicamente de la presión de contacto entre las piezas y de la rugosidad de las caras en contacto. La falla se presenta como un deslizamiento relativo entre las partes conectadas.
- e) **Falla por arrancamiento del bloque de corte:** Esta falla se manifiesta como el desgarramiento de una porción del elemento conectado. Esto ocurre si la distancia entre el tornillo y el límite exterior de la placa es insuficiente (Becerra, 2017).
- f) **Falla por rotura en el área neta efectiva:** se presenta sólo en miembros sujetos a tensión. La tensión de rotura se alcanza debido a la disminución de la sección transversal por los agujeros y por la

concentración de esfuerzos asociados a la geometría de la conexión, es decir, la trayectoria de transmisión de los esfuerzos entre los elementos conectados.

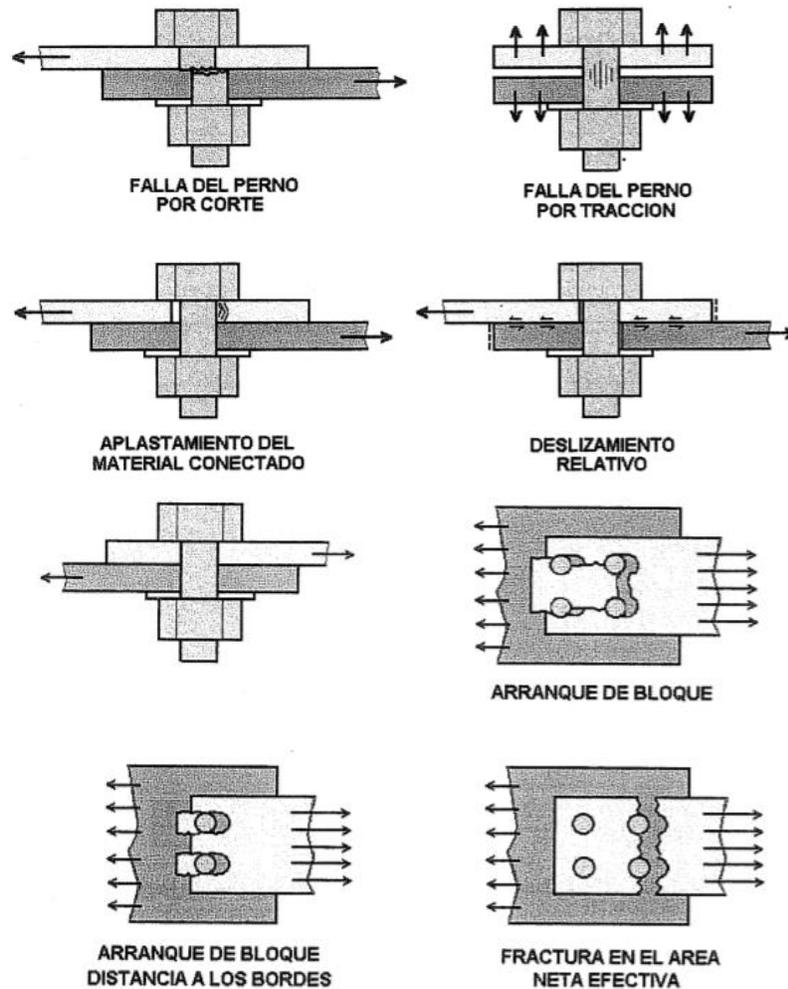


Figura 40. Fallas típicas en conexiones apornadas (Verdugo, s.f.)

En cuanto a las conexiones atornilladas o empernadas, los daños se pueden detectar con mayor facilidad, ya que la forma en que éstos se presentan es muy reconocible, esto se describe en el Cuadro 9 y se ilustra en la Figura 41.

CUADRO 9. FALLAS TÍPICAS EN CONEXIONES REMACHADAS O EMPERNADAS	
Tipo de Daño	Descripción
S1	Grieta parcial en la soldadura a la columna
S2	Fractura de soldadura suplementaria
S3	Fractura a través de pernos o distorsión severa
S4	Fluencia o pandeo de placa
S5	Perno suelto, dañado o perdido
S6	Fractura total de soldadura a columna

Fuente: FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000

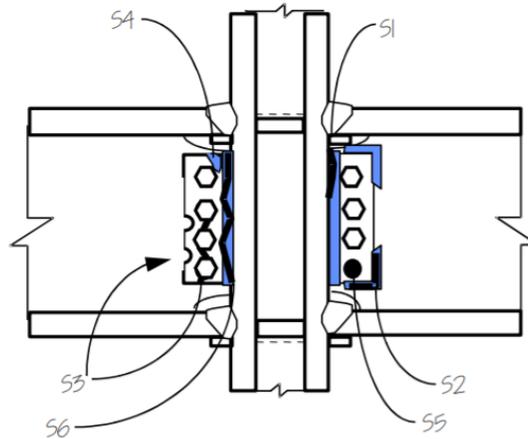


Figura 41. Fallas típicas en conexiones remachadas (FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000)

### III. Panel de unión

El panel de unión es la zona en la que se unen las vigas y las columnas de los marcos resistentes a momentos. Los tipos de daños comunes en el nudo de la estructura y elementos adyacentes se definen en el Cuadro 10 y Figura 42.

CUADRO 10. FALLAS TÍPICAS EN LA ZONA DEL PANEL DE UNIÓN	
Tipo de Daño	Descripción
P1	Fractura, pandeo o fluencia de atiesador
P2	Fractura en soldadura de atiesador
P3	Fluencia o deformación dúctil de alma
P4	Fractura de soldadura de la placa
P5	Fractura parcial en placa
P6	Fractura parcial en alma
P7	Fractura total o casi total en alma
P8	Pandeo del alma
P9	Columna con daño severo

Fuente: FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000

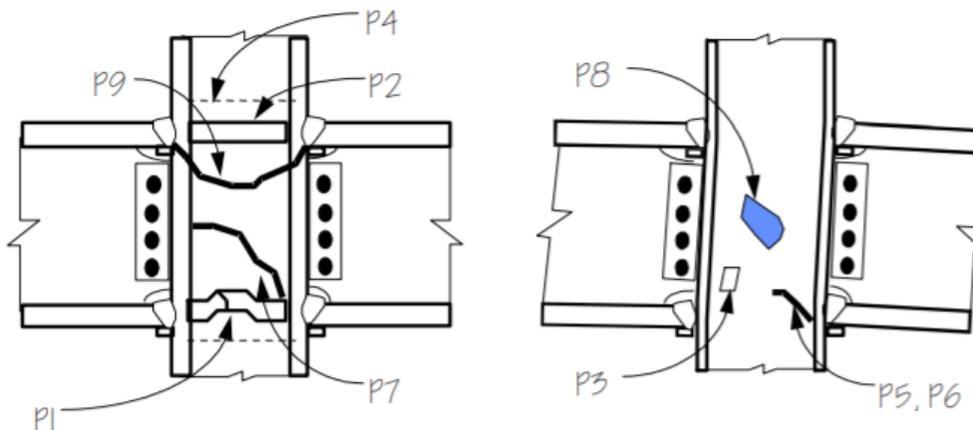
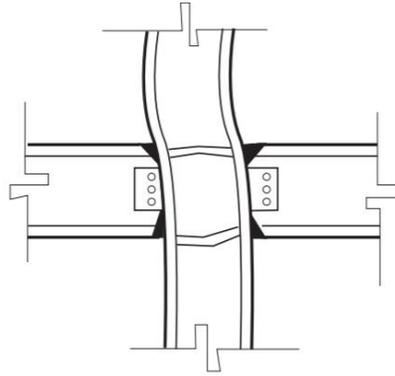


Figura 42. Fallas típicas en la zona del panel de unión (FEMA-351, SAC Joint Venture, 2000)

Las grietas en la soldadura de los atiesadores, y cualquier daño ocurrido en éstos no representa graves consecuencias para la estructura, siempre y cuando la fractura o grieta no se extienda y penetre el material de la columna, si la grieta penetra en el panel, ésta tiende a extenderse al estar sometida a cargas adicionales provocando una separación completa de la parte superior de la columna con la inferior.

Sin embargo, según Becerra (2017), una de las fallas de graves es el pandeo de los atiesadores, ya que estos se colocan para reforzar la unión de viga columna y además su deformación implica casi siempre una deformación en la columna, con el consecuente debilitamiento de la unión.



**Figura 43.** Pandeo de los dos componentes de la columna (Becerra, 2017)

## Comportamiento estructural del sistema dual

Los sistemas duales podrían referirse a marcos de acero que resisten momento, combinados con marcos de acero con arriostramientos concéntricos o con muros de concreto, pueden combinar la resistencia y rigidez de un marco arriostrado y de un muro de cortante con el buen funcionamiento inelástico de los marcos de acero resistentes a momento.

A los sistemas duales con frecuencia se les asigna una fuerza sísmica de diseño intermedios entre los requeridos por cualquiera de esos sistemas cuando operan solos. Las provisiones de diseño incluyen límites y recomendaciones con relación a la rigidez relativa y a la distribución de la resistencia de las dos componentes. Los sistemas duales han conducido a un amplio intervalo de combinaciones estructurales para el diseño sísmico. Sin embargo, los pórticos de acero con placas de piso de hormigón trabajando en acción compuesta no se usan comúnmente para el desarrollo de resistencia sísmica, aunque los pisos de acción compuesta por lo general se usan en el diseño para cargas gravitacionales (Bustos, 2003).

# Sistemas de entrepiso

Najarro (2008), explica que los entrepisos son los elementos estructurales que soportan, directamente, las cargas muertas y las cargas vivas a las que estará sometida la edificación durante su vida útil, además de transmitir las al sistema de fundación a través de las vigas y columnas o las paredes estructurales, dependiendo del tipo de sistema estructural.

## Clasificación de entrepisos

Dependiendo de la manera en la que transmiten las cargas las losas se pueden clasificar como:

### Losa en una dirección

Se apoya únicamente en dos lados opuestos, su acción estructural es fundamentalmente en una dirección, ya que transmite las cargas en la dirección perpendicular a la de las vigas de apoyo según Giovambattista & Carril, (2005). Si la relación entre el lado mayor y el lado menor de un panel de losa es mayor o igual que dos, la transferencia de carga se produce fundamentalmente por flexión en la dirección menor, y el panel trabaja en una sola dirección.

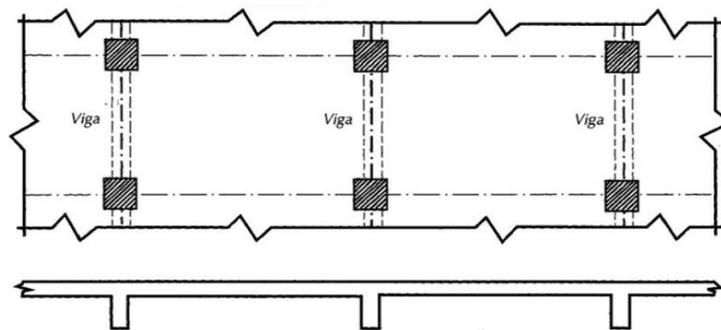


Figura 44. Losa en una dirección (Glovambattista & Carril, 2005)

A su vez, dependiendo de su proceso constructivo pueden ser:

#### a) Losa maciza

“Son elementos estructurales de concreto armado de sección transversal rectangular llena, de poco espesor y abarcan una superficie considerable del piso” (Romero, 1999). Se apoyan sobre vigas en los ejes de columnas a lo largo de cada tablero de la losa. El acero principal se coloca perpendicularmente a la dirección de los apoyos.

#### b) Losa nervada (aligerada)

Este tipo de entrepiso consta de una serie de pequeñas vigas en forma de T de concreto reforzado con poco espaciamiento entre sí, que se apoyan en vigas principales de concreto coladas monolíticamente.

## Losa en dos direcciones

Se apoya en los cuatro lados o que su acción estructural es fundamentalmente en las dos direcciones, ya que transmite las cargas en la dirección perpendicular a la de las vigas de apoyo en cada uno de los lados (Glovambattista & Carril, (2005). La relación de los lados de un panel de losa se aproxima a la unidad, una parte significativa de la carga es transferida por flexión en ambas direcciones ortogonales, y el panel se debe tratar como un sistema en dos direcciones.

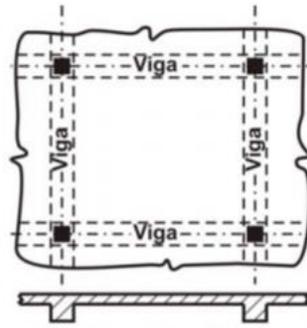


Figura 45. Losa en dos direcciones (Glovambattista & Carril, 2005)

Dependiendo de su proceso constructivo pueden ser:

### a) Losa maciza

Esta es similar a la descrita para el caso de las losas en una dirección, con la variante que su relación lado largo-lado corto es menor de dos y es por ello que carga en dos direcciones. Los refuerzos de acero principales se colocan en los dos sentidos ortogonales.

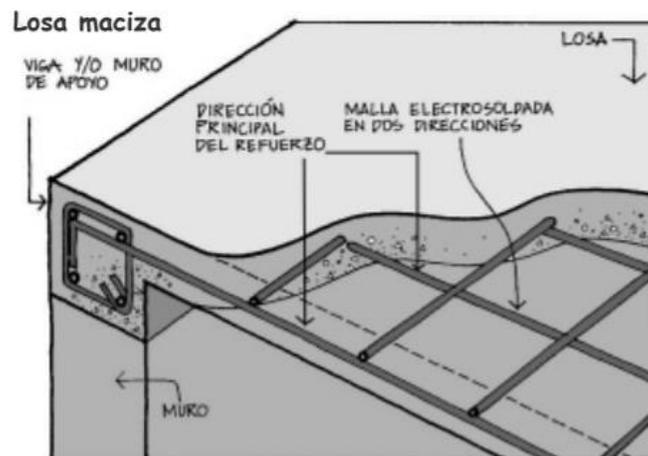


Figura 46. Losa maciza (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2001)

### b) Losa nervada (reticular)

Consisten en filas de viguetas perpendiculares entre sí con cabezales macizos sobre las columnas, los cuales son necesarios para proveer resistencia al corte.

**c) Losas planas**

Este tipo de losa se apoya directamente sobre las columnas sin utilizar vigas primarias o secundarias, según Parmigiani (2005), puede incorporar o no una región con un sobre espesor en las cercanías de las columnas y utiliza columnas con forma acampanada en la parte superior, para reducir los esfuerzos generados por cortante y flexión negativa alrededor de las columnas. “Tienen un sólo peralte y no tienen trabes de borde, en el contacto con la columna tiene un macizo de concreto armado llamado capitel, cuyo peralte es el mismo de toda la losa” (Becerra, 2017).

**Comportamiento de los sistemas de entrepiso**

Cuando las fuerzas producidas por un sismo sobrepasan la capacidad de resistencia del sistema de entrepiso pueden ocasionar daños permanentes en la losa, los cuales se evidencian por la aparición de grietas, la caída del recubrimiento e incluso la visualización del acero de refuerzo.

**I. Falla por flexión.**

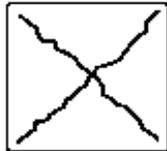
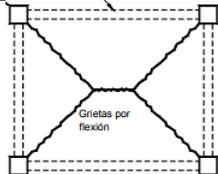
Najarro (2008), explica que la flexión produce grietas en las losas que están apoyadas en su perímetro a través de vigas (sistema de marcos o dual) o por paredes estructurales (sistema de paredes o dual), que se originan y se alargan hacia las esquinas.

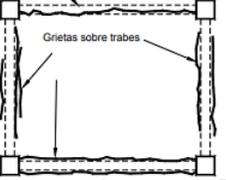
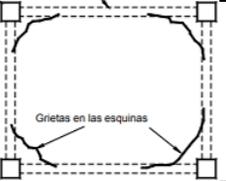
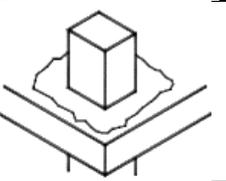
**II. Falla por cortante.**

“La falla por cortante es poco probable, ya que esta se presenta en las losas planas (densas), las cuales se apoyan directamente sobre las columnas y carecen de vigas de apoyo” (Najarro, 2008).

Ahora bien, un tipo de grieta común a la losa maciza de concreto es la que se presenta de forma longitudinal, paralela y cercana a la viga de apoyo. Esta falla se puede atribuir a un esfuerzo de tensión. Dependiendo de la dimensión del ancho y profundidad de la grieta, así como de la deformación de la losa se estimará la gravedad del daño (Becerra, 2017).

Tras comprender los diferentes modos de falla, a continuación, se presentan de manera resumida, los daños típicos en columnas:

<b>CUADRO 11. FALLAS TÍPICAS EN LOSAS DE ENTREPISO O TECHO</b>		
<b>Tipos de Daños</b>	<b>Descripción</b>	<b>Apariencia típica</b>
L1	Grietas longitudinales al centro, en la cara inferior de la losa. (Falla por flexión en losas en una dirección).	
L2	Grietas en la cara inferior a 45° formando una X. (Falla por flexión en losa en dos direcciones).	
L3	Grietas a 45° unidas por una grieta longitudinal, en la cara inferior. (Falla por flexión en losa rectangular apoyada en los cuatro bordes).	

L4	Fisuras en la parte superior cerca del apoyo y paralelas a este. (Falla por momento negativo en losas continuas).	 <p>Grietas sobre traveses</p>
L5	Grietas en la esquina de la losa que siguen el contorno del tablero.	 <p>Grietas en las esquinas</p>
L6	Grietas alrededor de las columnas insuficiencia de la resistencia al cortante generado en la unión entre la losa y la columna y se manifiestan especialmente en sistemas de losas planas.	

Fuente: García (2012) y Aragón (2011)

# **Apéndice F**

*“Evaluación del primer nivel  
del Edificio CIVCO”*

# FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO

Fecha: 25 / 06 / 2018 Hora: 9:00 am N° Formulario: 001**1. IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**Nombre del responsable: Katalina SanabriaProfesión: EstudianteN° Carné: 2013013991Institución a la que pertenece: Tecnológico de Costa RicaOtros evaluadores: —**2. IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**Nombre del edificio: Centro de Investigaciones en Vivienda y ConstrucciónProvincia: CartagoCantón: CartagoDistrito: 1° y 9°Dirección exacta: 1 Km Sur de la Basílica de los Angeles. Edificio CIVCO.N° Plano Catastrado: N.A.Coordenadas geográficas por GPS: 9° 51' 16,2" N, 83° 54' 26,9" OPersona contactada/propietario: Gemma OrtizTeléfono: 25502923Función: Coordinadora**3. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

Importancia:

A  
B  
C  
 D  
E

Uso principal:

- Residencial  Industrial  
 Hotelero  Oficinas  
 Salud  Bodegas  
 Educativo  Estacionamiento  
 Comercial  Otros: \_\_\_\_\_

Año de construcción:

- Antes de 1974  
 1974 a 1985  
 1986 a 2001  
 2002 a 2009  
 A partir de 2010

Ocupación:

- Habitada  Deshabitada  Desalojada por daños

¿Ha sido rehabilitado?

- a) Total b) Parcial  Ninguno

Capacidad de personas: 60 aprox.Año de rehabilitación: —

Características:

N° de niveles: 2 Frente (m): 42,00  
 N° de sótanos: 1 Fondo (m): 15,30  
 Altura entresijos (m): 2,30 Área (m<sup>2</sup>): 642,60

Tipo de propiedad

- Pública  Privada

Sistema estructural:

- Concreto:  Marcos  Muros estructurales  
 Acero:  Marcos  Marcos no arriostrados

Sistema de entresijo:

- Concreto:  Losa monolítica  
 Losa prefabricada  
 Losa nervada en dos direcciones  
 Viguetas pretensadas

Mampostería:

- Confinada  Reforzada  No Reforzada  
 Marcos de concreto con paredes de mampostería  
 Marcos de acero con paredes de mampostería  
 Otros: \_\_\_\_\_

Acero:

- Metal deck  
 Viguetas

Otro: \_\_\_\_\_

**4. TERRENO Y CIMENTACIÓN**

<b>Topografía</b>	<b>Sitio de cimentación</b>	<b>Cimentación Superficial (0,5 - 4 m)</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Planicie	<input type="checkbox"/> S1	<input checked="" type="checkbox"/> Placa aislada	<input type="checkbox"/> Placa corrida
<input type="checkbox"/> Llanura	<input type="checkbox"/> S2	<input type="checkbox"/> Losas	
<input type="checkbox"/> Río/lago	<input checked="" type="checkbox"/> S3	<b>Cimentación Profunda</b>	
<input type="checkbox"/> Fondo de valle	<input type="checkbox"/> S4	<input type="checkbox"/> Pilotes	<input type="checkbox"/> Otro: _____
<input type="checkbox"/> Costa			

**5. ESTADO DE LA EDIFICACIÓN**

<b>Estado general de la edificación</b>		<b>Inclinación del edificio</b>	
<b>Colapso</b>	<input checked="" type="checkbox"/> No hay	<input type="checkbox"/> Si	<input type="checkbox"/> No hay
	<input type="checkbox"/> Total		<input checked="" type="checkbox"/> No se pudo determinar
	<input type="checkbox"/> Parcial	_____ %	
	<input type="checkbox"/> Techo	<b>Falla o asentamiento de la cimentación</b>	
	<input type="checkbox"/> Piso	<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No hay
	<input type="checkbox"/> Sección del edificio (_____ %)	_____ cm	<input type="checkbox"/> No se pudo determinar
	<input type="checkbox"/> Choque con edificio vecino	<b>Peligro de objetos que puedan caer</b>	
		<input type="checkbox"/> Si	<input checked="" type="checkbox"/> No hay
<b>Peligro de colapso de edificios adyacentes</b>		<b>Otros peligros evidentes:</b> <u>cimentación expuesta</u>	
	<input type="checkbox"/> Evidente	<u>costado posterior</u>	
	<input checked="" type="checkbox"/> No hay		

**Determinación del riesgo por inestabilidad global**

Bajo     Medio     Alto     Muy Alto

**Problemas Geotécnicos**

<input type="checkbox"/> Presencia de grietas en el suelo	<input type="checkbox"/> Erosión
<input type="checkbox"/> Falta en talud cercano	<input type="checkbox"/> Licuefacción
<input type="checkbox"/> Deslizamiento cercano	<input type="checkbox"/> Asentamiento diferencial
<input type="checkbox"/> Movimiento masivo del suelo	<input type="checkbox"/> Otros: <u>NO</u>

**Determinación del riesgo por problemas geotécnicos**

Bajo     Medio     Alto     Muy Alto

**6. CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD**

**Tipo de inspección**

Solo exterior     Exterior e interior completa

Según la presente evaluación, la condición del edificio es:

<input checked="" type="radio"/> <b>HABITABLE</b> Ambos riesgos fueron determinados bajos.	<input type="radio"/> <b>USO RESTRINGIDO</b> Se tiene al menos un riesgo medio o alto.	<input type="radio"/> <b>NO HABITABLE</b> Se tiene al menos un riesgo muy alto.
---	---	--

7. CONDICIONES PRE-EXISTENTES				
Calidad de la construcción:	<input checked="" type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Altas concentraciones de masa
Posición en la cuadra:	<input type="checkbox"/> Esquina	<input type="checkbox"/> Intermedio	<input checked="" type="checkbox"/> Aislado	<input type="checkbox"/> Piso débil
Configuración en planta:	<input checked="" type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Columnas débiles
Configuración en altura:	<input checked="" type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Redundancia
Configuración estructural:	<input checked="" type="checkbox"/> Buena	<input type="checkbox"/> Regular	<input type="checkbox"/> Mala	<input type="checkbox"/> Torsión
				<input type="checkbox"/> Desplazamiento entre pisos

8. DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES						
	Columnas	Vigas	Muros	Uniones		
Grietas inclinadas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Entrepiso crítico: <u>1</u>	
Grietas horizontales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirección con	
Desprendimiento de concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mayor daño: <input type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y	
Fractura de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Fractura de refuerzo transversal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Pandeo de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Corrosión del acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>		
Indique el porcentaje de daño de los elementos principales afectados, según su grado de daño:						
Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Columnas	28,5%	2,1%				Grietas < 0,1mm
Muros						
Vigas		32,6%				Grietas visibles 0,2 - 1mm
Uniones						
Entrepisos						
Determinación del riesgo estructural						
<input type="radio"/> Bajo <input checked="" type="radio"/> Medio <input type="radio"/> Alto <input type="radio"/> Muy Alto						

9. DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES						
Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Muros de fachadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Grietas 0,1mm a 2,0mm
Paredes livianas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cielos rasos y luminarias	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cubierta de techo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vidrios	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Escaleras	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Grietas menores a 1mm
Tanques elevados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	No aplica
Instalaciones eléctricas, de gas e hidráulicas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pajantes desprendidos
Otros						
Determinación del riesgo no estructural						
<input checked="" type="radio"/> Bajo <input type="radio"/> Medio <input type="radio"/> Alto <input type="radio"/> Muy Alto						

**10. CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD**

Tipo de inspección

- Solo exterior       Exterior e interior completa

Según la presente evaluación, la condición del edificio es:

<input type="radio"/> <b>HABITABLE</b> Ambos riesgos fueron determinados bajos.	<input checked="" type="radio"/> <b>USO RESTRINGIDO</b> Se tiene al menos un riesgo medio o alto.	<input type="radio"/> <b>NO HABITABLE</b> Se tiene al menos un riesgo muy alto.
--	--	--

**11. RECOMENDACIONES**

Es necesaria una evaluación especializada por aspectos:

- Estructurales       Geotécnicos       Servicios Públicos

- \* En caso de roturas de tuberías de agua potable o de alcantarillado reportar al AyA.
- \* En caso de caída de líneas eléctricas reportar al ICE o a la CNFL.

Medidas de seguridad:

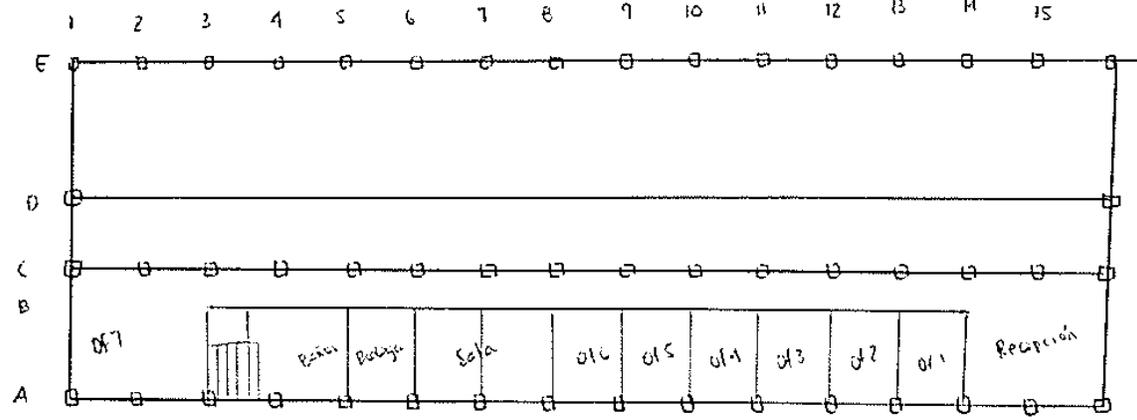
- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Evacuación parcial                      | <input type="checkbox"/> Apuntalamiento                                 |
| <input type="checkbox"/> Evacuación total                        | <input type="checkbox"/> Demoler o remover elementos en peligro de caer |
| <input type="checkbox"/> Evacuación de edificios vecinos         | <input type="checkbox"/> Desconectar energía, agua o gas                |
| <input type="checkbox"/> Restricción del paso de peatones        | <input type="checkbox"/> Reforzamiento estructural de emergencia        |
| <input type="checkbox"/> Acordonamiento de sectores del edificio | <input type="checkbox"/> Manejo de sustancias peligrosas                |

Otras: \_\_\_\_\_

**12. COMENTARIOS GENERALES**

No se encontraron daños visibles en muros y uniones. Se percibieron mayor cantidad de grietas en vigas y columnas.

**13. ESQUEMA**



Esquema en planta 1º Nivel

**14. ENTREGA DEL FORMULARIO**

Persona que lo recibe:

Fecha:  Firma:

**EQUIPO REQUERIDO PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO**

Fecha: 15 / 06 / 2018 Hora: 9:00 am

Nombre del edificio: Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción  
 Nombre del responsable de la inspección: Katalina Sanabria

VERIFICACIÓN DE EQUIPO		
<b>Documentos personales</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Identificación personal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carné asociado al CFIA.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Protección Personal</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Casco protector.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Botas de punta de acero preferiblemente.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mascarilla para nariz y boca.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lentes de seguridad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chaleco de seguridad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Material y equipo</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Formulario de inspección.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manual de evaluación post-sismo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nombre y número telefónico del contacto en el edificio a evaluar, coordinadores del equipo de evaluación y entidades responsables de la prevención de desastres.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mapa de la zona en la que se ubica el edificio a evaluar.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sistema de posicionamiento global portátil (G.P.S.).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etiquetas de habitabilidad de las edificaciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta amarilla para restringir el paso en áreas inseguras de las edificaciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Libreta para anotar y lapicero.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabla de apoyo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta métrica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Linterna y baterías extras.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cámara fotográfica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radio de comunicación.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Brújula.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietómetro (comparador de grietas).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nivel de mano o plomada.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinzel y martillo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Guantes.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# **Apéndice G**

*“Evaluación del segundo nivel  
del Edificio CIVCO”*

# FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO

 fecha: 25 / 06 / 2010 Hora: 1:00 pm N° Formulario: 002

1. IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR	
Nombre del responsable:	<u>Katalina Sarabia</u>
Profesión:	<u>Estudiante</u> N° Carné: <u>2013013991</u>
Institución a la que pertenece:	<u>Tecnológico de Costa Rica</u>
Otros evaluadores:	<u>—</u>
2. IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	
Nombre del edificio:	<u>Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción</u>
Provincia:	<u>Cartago</u> Cantón: <u>Cartago</u> Distrito: <u>1° y 9°</u>
Dirección exacta:	<u>1 Km Sur de la Basílica de los Angeles. Edificio CIVICO</u>
	N° Plano Catastrado: <u> </u>
Coordenadas geográficas por GPS:	<u>9° 51' 16,2" N ; 83° 54' 26,9"</u>
Persona contactada/propietario:	<u>Giannina Ortiz</u>
Teléfono:	<u>25 50 29 23</u> Función: <u>Coordinadora</u>
3. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	
<b>Importancia:</b> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/>	<b>Uso principal:</b> <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Hotelero <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Salud <input type="checkbox"/> Bodegas <input checked="" type="checkbox"/> Educativo <input type="checkbox"/> Estacionamiento <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Otros: <u> </u>
	<b>Año de construcción:</b> <input type="checkbox"/> Antes de 1974 <input type="checkbox"/> 1974 a 1985 <input checked="" type="checkbox"/> 1986 a 2001 <input type="checkbox"/> 2002 a 2009 <input type="checkbox"/> A partir de 2010
<b>Ocupación:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Habitada <input type="checkbox"/> Deshabitada <input type="checkbox"/> Desalojada por daños	<b>¿Ha sido rehabilitado?</b> a) Total b) Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
<b>Capacidad de personas:</b> <u>60 aprox</u>	<b>Año de rehabilitación:</b> <u>—</u>
<b>Características:</b> N° de niveles: <u>2</u> Frente (m): <u>42,00</u> N° de sótanos: <u>1</u> Fondo (m): <u>15,30</u> Altura entrepisos (m): <u>2,30</u> Área (m <sup>2</sup> ): <u>642,60</u>	<b>Tipo de propiedad</b> <input checked="" type="checkbox"/> Pública <input type="checkbox"/> Privada
<b>Sistema estructural:</b> Concreto: <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Muros estructurales Acero: <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Marcos no arriostrados Mampostería: <input type="checkbox"/> Confinada <input type="checkbox"/> Reforzada <input type="checkbox"/> No Reforzada <input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto con paredes de mampostería <input type="checkbox"/> Marcos de acero con paredes de mampostería <input type="checkbox"/> Otros: <u> </u>	<b>Sistema de entepiso:</b> Concreto: <input checked="" type="checkbox"/> Losa monolítica <input type="checkbox"/> Losa prefabricada <input type="checkbox"/> Losa nervada en dos direcciones <input type="checkbox"/> Viguetas pretensadas Acero: <input type="checkbox"/> Metal deck <input type="checkbox"/> Viguetas Otro: <u> </u>

**4. TERRENO Y CIMENTACIÓN**

<b>Topografía</b>	<b>Sitio de cimentación</b>	<b>Cimentación Superficial (0,5 - 4 m)</b>
<input checked="" type="checkbox"/> Planicie	<input type="checkbox"/> S1	<input checked="" type="checkbox"/> Placa aislada
<input type="checkbox"/> Llanura	<input type="checkbox"/> S2	<input type="checkbox"/> Placa corrida
<input type="checkbox"/> Río/lago	<input checked="" type="checkbox"/> S3	<input type="checkbox"/> Losas
<input type="checkbox"/> Fondo de valle	<input type="checkbox"/> S4	<b>Cimentación Profunda</b>
<input type="checkbox"/> Costa		<input type="checkbox"/> Pilotes
		<input type="checkbox"/> Otro: _____

**5. ESTADO DE LA EDIFICACIÓN**

<b>Estado general de la edificación</b>	<b>Inclinación del edificio</b>
<b>Colapso</b>	<input type="checkbox"/> Si
<input checked="" type="checkbox"/> No hay	<input type="checkbox"/> No hay
<input type="checkbox"/> Total	<input checked="" type="checkbox"/> No se pudo determinar
<input type="checkbox"/> Parcial	_____ %
<input type="checkbox"/> Techo	<b>Falla o asentamiento de la cimentación</b>
<input type="checkbox"/> Piso	<input type="checkbox"/> Si
<input type="checkbox"/> Sección del edificio (_____ %)	<input checked="" type="checkbox"/> No hay
<input type="checkbox"/> Choque con edificio vecino	<input type="checkbox"/> No se pudo determinar
	_____ cm
<b>Peligro de colapso de edificios adyacentes</b>	<b>Peligro de objetos que puedan caer</b>
<input type="checkbox"/> Evidente	<input type="checkbox"/> Si
<input checked="" type="checkbox"/> No hay	<input checked="" type="checkbox"/> No hay
<b>Determinación del riesgo por inestabilidad global</b>	Otros peligros evidentes: <u>cimentación expuesta</u>
<input checked="" type="radio"/> Bajo	<u>costado posterior</u>
<input type="radio"/> Medio	
<input type="radio"/> Alto	
<input type="radio"/> Muy Alto	

<b>Problemas Geotécnicos</b>
<input type="checkbox"/> Presencia de grietas en el suelo
<input type="checkbox"/> Falla en talud cercano
<input type="checkbox"/> Deslizamiento cercano
<input type="checkbox"/> Movimiento masivo del suelo
<input type="checkbox"/> Erosión
<input type="checkbox"/> Licuefacción
<input type="checkbox"/> Asentamiento diferencial
<input type="checkbox"/> Otros: _____
<b>Determinación del riesgo por problemas geotécnicos</b>
<input checked="" type="radio"/> Bajo
<input type="radio"/> Medio
<input type="radio"/> Alto
<input type="radio"/> Muy Alto

**6. CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD**

**Tipo de inspección**

Solo exterior       Exterior e interior completa

Según la presente evaluación, la condición del edificio es:

<input checked="" type="radio"/> <b>HABITABLE</b> Ambos riesgos fueron determinados bajos.	<input type="radio"/> <b>USO RESTRINGIDO</b> Se tiene al menos un riesgo medio o alto.	<input type="radio"/> <b>NO HABITABLE</b> Se tiene al menos un riesgo muy alto.
---	---	--

**7. CONDICIONES PRE-EXISTENTES**

Calidad de la construcción:  Buena  Regular  Mala  Altas concentraciones de masa

Posición en la cuadra:  Esquina  Intermedio  Aislado  Piso débil

Configuración en planta:  Buena  Regular  Mala  Columnas débiles

Configuración en altura:  Buena  Regular  Mala  Redundancia

Configuración estructural:  Buena  Regular  Mala  Torsión

Desplazamiento entre pisos

**8. DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

	Columnas	Vigas	Muros	Uniones	
Grietas inclinadas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Entrepiso crítico: <u>2</u>
Grietas horizontales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirección con
Desprendimiento de concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mayor daño: <input checked="" type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y
Fractura de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fractura de refuerzo transversal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Pandeo de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Corrosión del acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Indique el porcentaje de daño de los elementos principales afectados, según su grado de daño:

Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Columnas	28,5%					Grietas < 0,1mm
Muros						
Vigas		32,5%				Grietas inclinadas 0,2 - 1,0mm
Uniones						No se observan daños
Entrepisos						

Determinación del riesgo estructural

Bajo  Medio  Alto  Muy Alto

**9. DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**

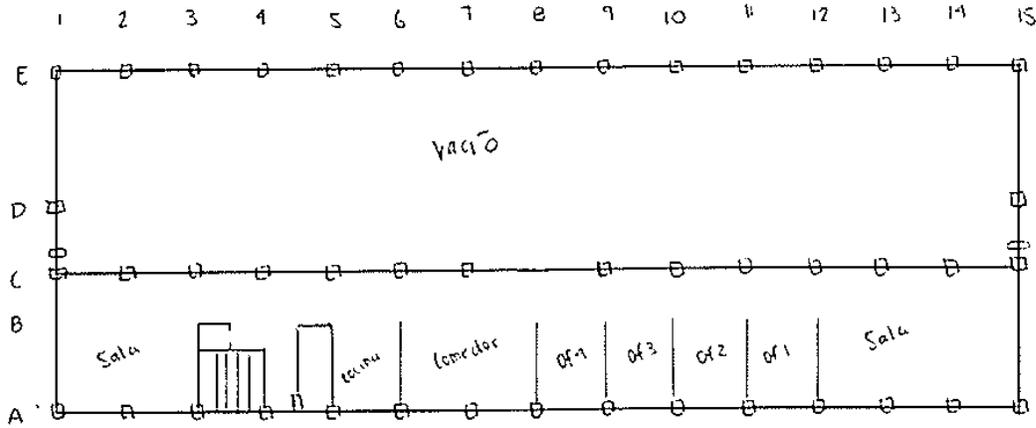
Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Muros de fachadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Grietas 0,1mm a 2,00mm
Paredes livianas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cielos rasos y luminarias	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cubierta de techo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vidrios	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Escaleras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tanques elevados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	No aplica
Instalaciones eléctricas, de gas e hidráulicas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Pajantes desprendidos
Otros						

Determinación del riesgo no estructural

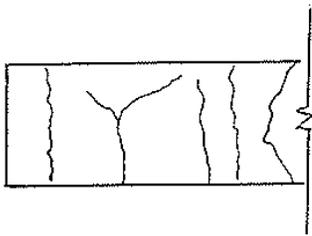
Bajo  Medio  Alto  Muy Alto



**13. ESQUEMA**



Esquema planta 2º Nivel



Patrón de agrietamiento en vigas

**14. ENTREGA DEL FORMULARIO**

Persona que lo recibe:

Fecha:

Firma:

**EQUIPO REQUERIDO PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO**

Fecha: 15 / 06 / 2018 Hora: 9:00 am

Nombre del edificio: Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción  
 Nombre del responsable de la inspección: Katalina Sanabria

VERIFICACIÓN DE EQUIPO		
<b>Documentos personales</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Identificación personal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carné asociado al CFIA.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Protección Personal</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Casco protector.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Botas de punta de acero preferiblemente.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mascarilla para nariz y boca.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lentes de seguridad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chaleco de seguridad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Material y equipo</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Formulario de inspección.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manual de evaluación post-sismo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nombre y número telefónico del contacto en el edificio a evaluar, coordinadores del equipo de evaluación y entidades responsables de la prevención de desastres.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mapa de la zona en la que se ubica el edificio a evaluar.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sistema de posicionamiento global portátil (G.P.S.).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etiquetas de habitabilidad de las edificaciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta amarilla para restringir el paso en áreas inseguras de las edificaciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Libreta para anotar y lapicero.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabla de apoyo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta métrica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Linterna y baterías extras.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cámara fotográfica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radio de comunicación.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Brújula.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietómetro (comparador de grietas).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nivel de mano o plomada.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinzel y martillo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Guantes.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# **Apéndice H**

*“Evaluación del sótano  
del Edificio CIVCO”*

# FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO

Fecha: 28 / 06 / 2018 Hora: 8:00 am N° Formulario: 003

1. IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR	
Nombre del responsable:	<u>Katalina Sanabria</u>
Profesión:	<u>Estudiante</u> N° Carné: <u>2013013991</u>
Institución a la que pertenece:	<u>Tecnológico de Costa Rica</u>
Otros evaluadores:	<u>—</u>

2. IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN	
Nombre del edificio:	<u>Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción</u>
Provincia:	<u>Cartago</u> Cantón: <u>Cartago</u> Distrito: <u>1° y 9°</u>
Dirección exacta:	<u>1 km sur de la Basílica de los Angeles. Edificio CIVCO</u>
Coordenadas geográficas por GPS:	<u>9° 51' 16,2" N ; 83° 54' 26,9" O</u>
Persona contactada/propietario:	<u>Giannina Ortiz</u>
Teléfono:	<u>25 50 24 23</u> Función: <u>Coordinadora</u>

3. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN	
<b>Importancia:</b> A <input type="checkbox"/> B <input type="checkbox"/> C <input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/> D <input type="checkbox"/> E <input type="checkbox"/>	<b>Uso principal:</b> <input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial <input type="checkbox"/> Hotelero <input type="checkbox"/> Oficinas <input type="checkbox"/> Salud <input type="checkbox"/> Bodegas <input checked="" type="checkbox"/> Educativo <input type="checkbox"/> Estacionamiento <input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Otros: <u>—</u>
<b>Año de construcción:</b> <input type="checkbox"/> Antes de 1974 <input type="checkbox"/> 1974 a 1985 <input checked="" type="checkbox"/> 1986 a 2001 <input type="checkbox"/> 2002 a 2009 <input type="checkbox"/> A partir de 2010	<b>¿Ha sido rehabilitado?</b> a) Total b) Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno
<b>Ocupación:</b> <input checked="" type="checkbox"/> Habitada <input type="checkbox"/> Deshabitada <input type="checkbox"/> Desalojada por daños	<b>Año de rehabilitación:</b> <u>—</u>
<b>Capacidad de personas:</b> <u>60 aprox</u>	<b>Tipo de propiedad</b> <input checked="" type="checkbox"/> Pública <input type="checkbox"/> Privada
<b>Características:</b> N° de niveles: <u>2</u> Frente (m): <u>42,00</u> N° de sótanos: <u>1</u> Fondo (m): <u>15,30</u> Altura entrepisos (m): <u>2,30</u> Área (m2): <u>692,60</u>	<b>Sistema de entepiso:</b> Concreto: <input checked="" type="checkbox"/> Losa monolítica <input type="checkbox"/> Losa prefabricada <input type="checkbox"/> Losa nervada en dos direcciones <input type="checkbox"/> Viguetas pretensadas Acero: <input type="checkbox"/> Metal deck <input type="checkbox"/> Viguetas Otro: <u>—</u>
<b>Sistema estructural:</b> Concreto: <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Muros estructurales Acero: <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Marcos no arriostrados Mampostería: <input type="checkbox"/> Confinada <input type="checkbox"/> Reforzada <input type="checkbox"/> No Reforzada <input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto con paredes de mampostería <input type="checkbox"/> Marcos de acero con paredes de mampostería <input type="checkbox"/> Otros: <u>—</u>	

**4. TERRENO Y CIMENTACIÓN**

<b>Topografía</b>	<b>Sitio de cimentación</b>	<b>Cimentación Superficial (0,5 - 4 m)</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Planicie	<input type="checkbox"/> S1	<input checked="" type="checkbox"/> Placa aislada	<input type="checkbox"/> Placa corrida
<input type="checkbox"/> Llanura	<input type="checkbox"/> S2	<input type="checkbox"/> Losas	
<input type="checkbox"/> Río/lago	<input checked="" type="checkbox"/> S3	<b>Cimentación Profunda</b>	
<input type="checkbox"/> Fondo de valle	<input type="checkbox"/> S4	<input type="checkbox"/> Pilotes	<input type="checkbox"/> Otro: _____
<input type="checkbox"/> Costa			

**5. ESTADO DE LA EDIFICACIÓN**

<b>Estado general de la edificación</b>		<b>Inclinación del edificio</b>	
<b>Colapso</b>	<input checked="" type="checkbox"/> No hay	<input type="checkbox"/> Sí	<input type="checkbox"/> No hay
	<input type="checkbox"/> Total		<input checked="" type="checkbox"/> No se pudo determinar
	<input type="checkbox"/> Parcial	_____ %	
	<input type="checkbox"/> Techo	<b>Falla o asentamiento de la cimentación</b>	
	<input type="checkbox"/> Piso	<input type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> No hay
	<input type="checkbox"/> Sección del edificio (_____%)	_____ cm	<input type="checkbox"/> No se pudo determinar
	<input type="checkbox"/> Choque con edificio vecino	<b>Peligro de objetos que puedan caer</b>	
		<input type="checkbox"/> Sí	<input checked="" type="checkbox"/> No hay
<b>Peligro de colapso de edificios adyacentes</b>		Otros peligros evidentes: <u>cimentación expuesta en costa do posterior</u>	
	<input type="checkbox"/> Evidente		
	<input checked="" type="checkbox"/> No hay		

**Determinación del riesgo por inestabilidad global**

Bajo     Medio     Alto     Muy Alto

**Problemas Geotécnicos**

<input type="checkbox"/> Presencia de grietas en el suelo	<input type="checkbox"/> Erosión
<input type="checkbox"/> Falla en talud cercano	<input type="checkbox"/> Licuefacción
<input type="checkbox"/> Deslizamiento cercano	<input type="checkbox"/> Asentamiento diferencial
<input type="checkbox"/> Movimiento masivo del suelo	<input type="checkbox"/> Otros: <u>Ninguno</u>

**Determinación del riesgo por problemas geotécnicos**

Bajo     Medio     Alto     Muy Alto

**6. CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD**

**Tipo de inspección**

Solo exterior     Exterior e interior completa

Según la presente evaluación, la condición del edificio es:

**HABITABLE**  
Ambos riesgos fueron determinados bajos.

**USO RESTRINGIDO**  
Se tiene al menos un riesgo medio o alto.

**NO HABITABLE**  
Se tiene al menos un riesgo muy alto.

**7. CONDICIONES PRE-EXISTENTES**

Calidad de la construcción:  Buena     Regular     Mala     Altas concentraciones de masa

Posición en la cuadra:  Esquina     Intermedio     Aislado     Piso débil

Configuración en planta:  Buena     Regular     Mala     Columnas débiles

Configuración en altura:  Buena     Regular     Mala     Redundancia

Configuración estructural:  Buena     Regular     Mala     Torsión

Desplazamiento entre pisos

**8. DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

	Columnas	Vigas	Muros	Uniones	
Grietas inclinadas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Entrepiso crítico: <u>Sótano</u>
Grietas horizontales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirección con
Desprendimiento de concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mayor daño: <input checked="" type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y
Fractura de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fractura de refuerzo transversal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Pandeo de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Corrosión del acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Indique el porcentaje de daño de los elementos principales afectados, según su grado de daño:

Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Columnas	43,3%					
Muros						
Vigas		23,3%				
Uniones						
Entrepisos						

Determinación del riesgo estructural

Bajo     Medio     Alto     Muy Alto

**9. DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**

Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Muros de fachadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Paredes livianas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cielos rasos y luminarias	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cubierta de techo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vidrios	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Escaleras	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tanques elevados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Instalaciones eléctricas, de gas e hidráulicas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	No aplica
Otros						

Determinación del riesgo no estructural

Bajo     Medio     Alto     Muy Alto

**10. CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD**

Tipo de inspección

- Solo exterior       Exterior e interior completa

Según la presente evaluación, la condición del edificio es:

**HABITABLE**  
Ambos riesgos fueron determinados bajos.

**USO RESTRINGIDO**  
Se tiene al menos un riesgo medio o alto.

**NO HABITABLE**  
Se tiene al menos un riesgo muy alto.

**11. RECOMENDACIONES**

Es necesaria una evaluación especializada por aspectos:

- Estructurales       Geotécnicos       Servicios Públicos

- \* En caso de roturas de tuberías de agua potable o de alcantarillado reportar al AyA.
- \* En caso de calda de líneas eléctricas reportar al ICE o a la CNFL.

Medidas de seguridad:

- |  |   |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Evacuación parcial                      | <input type="checkbox"/> Apuntalamiento                                 |
| <input type="checkbox"/> Evacuación total                        | <input type="checkbox"/> Demoler o remover elementos en peligro de caer |
| <input type="checkbox"/> Evacuación de edificios vecinos         | <input type="checkbox"/> Desconectar energía, agua o gas                |
| <input type="checkbox"/> Restricción del paso de peatones        | <input type="checkbox"/> Reforzamiento estructural de emergencia        |
| <input type="checkbox"/> Acondonamiento de sectores del edificio | <input type="checkbox"/> Manejo de sustancias peligrosas                |

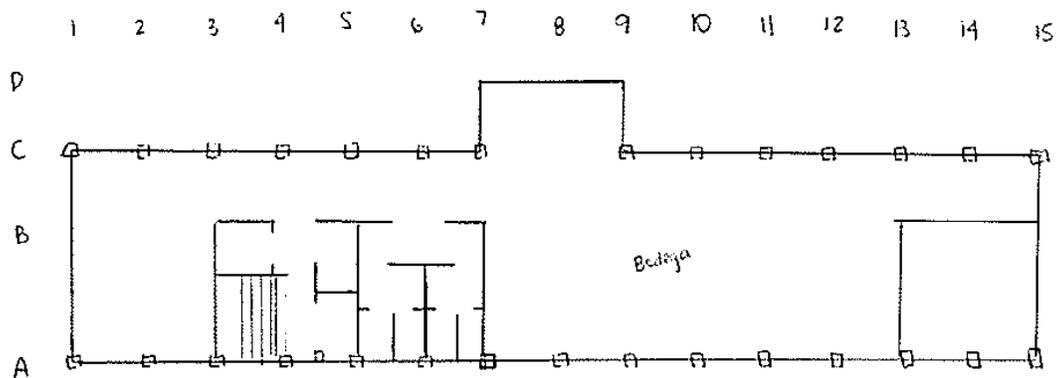
Otras: Apuntalar y reforzar las vigas. Tratamiento anticorrosivo en sectores afectados

**12. COMENTARIOS GENERALES**

Presencia de corrosión en muros, considerar nivel freático o fenómeno de exudación.

Aguetamiento en los muros > 0,1mm. Grietas proyectadas en el contrapiso

13. ESQUEMA



Esquema planta de sótano

14. ENTREGA DEL FORMULARIO

Persona que lo recibe: \_\_\_\_\_

Fecha: \_\_\_\_\_

Firma: \_\_\_\_\_

**EQUIPO REQUERIDO PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO**

Fecha: 28 / 06 / 2018 Hora: 8:00am

Nombre del edificio: Centro de Investigaciones en Vivienda y Construcción  
 Nombre del responsable de la inspección: Katalina Sanabria

VERIFICACIÓN DE EQUIPO		
<b>Documentos personales</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Identificación personal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carné asociado al CFIA.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
<b>Protección Personal</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Casco protector.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Botas de punta de acero preferiblemente.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mascarilla para nariz y boca.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lentes de seguridad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chaleco de seguridad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
<b>Material y equipo</b>	<b>SÍ</b>	<b>NO</b>
Formulario de inspección.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manual de evaluación post-sismo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nombre y número telefónico del contacto en el edificio a evaluar; coordinadores del equipo de evaluación y entidades responsables de la prevención de desastres.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mapa de la zona en la que se ubica el edificio a evaluar.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sistema de posicionamiento global portátil (G.P.S.).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Etiquetas de habitabilidad de las edificaciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta amarilla para restringir el paso en áreas inseguras de las edificaciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Libreta para anotar y lapicero.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabla de apoyo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta métrica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Linterna y baterías extras.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cámara fotográfica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radio de comunicación.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Brújula.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietómetro (comparador de grietas).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nivel de mano o plomada.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinzel y martillo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Guantes.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# **Apéndice I**

*“Evaluación del Edificio A”*

# FORMULARIO DE EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO

Fecha: 23 / 04 / 1991 Hora: 8:00 am N° Formulario: 004

## 1. IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR

Nombre del responsable: Katalina sanabria  
 Profesión: Estudiante N° Carné: 2013013991  
 Institución a la que pertenece: Tecnológico de Costa Rica  
 Otros evaluadores: —

## 2. IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN

Nombre del edificio: Confidencial  
 Provincia: San José Cantón: San José Distrito: El Carmen  
 Dirección exacta: Barrio la California  
 N° Plano Catastrado: —  
 Coordenadas geográficas por GPS: N 9° 56' 2,4" O 84° 41' 7,6"  
 Persona contactada/propietario: Leda Mora  
 Teléfono: 22 23 59 23 Función: Asistente

## 3. DESCRIPCIÓN DE LA EDIFICACIÓN

<p><b>Importancia:</b></p> <p>A <input type="checkbox"/></p> <p>B <input type="checkbox"/></p> <p>C <input type="checkbox"/></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> D</p> <p>E <input type="checkbox"/></p>	<p><b>Uso principal:</b></p> <p><input type="checkbox"/> Residencial <input type="checkbox"/> Industrial</p> <p><input type="checkbox"/> Hotelero <input checked="" type="checkbox"/> Oficinas</p> <p><input type="checkbox"/> Salud <input type="checkbox"/> Bodegas</p> <p><input type="checkbox"/> Educativo <input type="checkbox"/> Estacionamiento</p> <p><input type="checkbox"/> Comercial <input type="checkbox"/> Otros: _____</p>	<p><b>Año de construcción:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Antes de 1974</p> <p><input type="checkbox"/> 1974 a 1985</p> <p><input type="checkbox"/> 1986 a 2001</p> <p><input type="checkbox"/> 2002 a 2009</p> <p><input type="checkbox"/> A partir de 2010</p>
<p><b>Ocupación:</b></p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Habitada <input type="checkbox"/> Deshabitada <input type="checkbox"/> Desalojada por daños</p>		<p><b>¿Ha sido rehabilitado?</b></p> <p>a) Total b) Parcial <input checked="" type="checkbox"/> Ninguno</p>
<p><b>Características:</b></p> <p>N° de niveles: <u>6</u> Frente (m): <u>24,00</u></p> <p>N° de sótanos: <u>—</u> Fondo (m): <u>11,60</u></p> <p>Altura entrepisos (m): <u>2,90</u> Área (m<sup>2</sup>): <u>278,40</u></p>		<p><b>Tipo de propiedad</b></p> <p><input type="checkbox"/> Pública <input checked="" type="checkbox"/> Privada</p>
<p><b>Sistema estructural:</b></p> <p>Concreto: <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Muros estructurales</p> <p>Acero: <input type="checkbox"/> Marcos <input type="checkbox"/> Marcos no arriostrados</p> <p>Mampostería: <input type="checkbox"/> Confinada <input type="checkbox"/> Reforzada <input type="checkbox"/> No Reforzada</p> <p><input checked="" type="checkbox"/> Marcos de concreto con paredes de mampostería</p> <p><input type="checkbox"/> Marcos de acero con paredes de mampostería</p> <p><input type="checkbox"/> Otros: _____</p>		<p><b>Sistema de entrepiso:</b></p> <p>Concreto: <input type="checkbox"/> Losa monolítica</p> <p><input type="checkbox"/> Losa prefabricada</p> <p><input type="checkbox"/> Losa nervada en dos direcciones</p> <p><input type="checkbox"/> Viguetas pretensadas</p> <p>Acero: <input type="checkbox"/> Metal deck</p> <p><input type="checkbox"/> Viguetas</p> <p>Otro: <u>viguetas prefabricadas</u></p>

**4. TERRENO Y CIMENTACIÓN**

<b>Topografía</b>	<b>Sitio de cimentación</b>	<b>Cimentación Superficial (0,5 - 4 m)</b>	
<input checked="" type="checkbox"/> Planicie	<input type="checkbox"/> S1	<input checked="" type="checkbox"/> Placa aislada	<input type="checkbox"/> Placa corrida
<input type="checkbox"/> Llanura	<input type="checkbox"/> S2	<input type="checkbox"/> Losas	
<input type="checkbox"/> Río/lago	<input checked="" type="checkbox"/> S3	<b>Cimentación Profunda</b>	
<input type="checkbox"/> Fondo de valle	<input type="checkbox"/> S4	<input type="checkbox"/> Pilotes	<input type="checkbox"/> Otro: _____
<input type="checkbox"/> Costa			

**5. ESTADO DE LA EDIFICACIÓN**

**Estado general de la edificación**

**Colapso**  No hay  
 Total  
 Parcial

Techo  
 Piso  
 Sección del edificio (\_\_\_\_%)  
 Choque con edificio vecino

**Peligro de colapso de edificios adyacentes**  
 Evidente  No hay

**Determinación del riesgo por inestabilidad global**  
 Bajo  Medio  Alto  Muy Alto

**Inclinación del edificio**  
 Sí  No hay  No se pudo determinar  
 \_\_\_\_\_%

**Falla o asentamiento de la cimentación**  
 Sí  No hay  No se pudo determinar  
 \_\_\_\_\_cm

**Peligro de objetos que puedan caer**  
 Sí  No hay

Otros peligros evidentes: \_\_\_\_\_

**Problemas Geotécnicos**

Presencia de grietas en el suelo  
 Falla en talud cercano  
 Deslizamiento cercano  
 Movimiento masivo del suelo

Erosión  
 Licuefacción  
 Asentamiento diferencial  
 Otros: Ninguno

**Determinación del riesgo por problemas geotécnicos**  
 Bajo  Medio  Alto  Muy Alto

**6. CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD**

**Tipo de inspección**  
 Solo exterior  Exterior e interior completa

Según la presente evaluación, la condición del edificio es:

<input checked="" type="radio"/> <b>HABITABLE</b> Ambos riesgos fueron determinados bajos.	<input type="radio"/> <b>USO RESTRINGIDO</b> Se tiene al menos un riesgo medio o alto.	<input type="radio"/> <b>NO HABITABLE</b> Se tiene al menos un riesgo muy alto.
---	---	--

**7. CONDICIONES PRE-EXISTENTES**

Calidad de la construcción:  Buena  Regular  Mala  Altas concentraciones de masa

Posición en la cuadra:  Esquina  Intermedio  Aislado  Piso débil

Configuración en planta:  Buena  Regular  Mala  Columnas débiles

Configuración en altura:  Buena  Regular  Mala  Redundancia

Configuración estructural:  Buena  Regular  Mala  Torsión  Desplazamiento entre pisos

**8. DAÑOS EN ELEMENTOS ESTRUCTURALES**

	Columnas	Vigas	Muros	Uniones	
Grietas inclinadas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Entrepiso crítico: <u>2</u>
Grietas horizontales	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	Dirección con
Desprendimiento de concreto	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	mayor daño: <input checked="" type="checkbox"/> X <input type="checkbox"/> Y
Fractura de refuerzo longitudinal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Fractura de refuerzo transversal	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Pandeo de refuerzo longitudinal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Corrosión del acero	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	

Indique el porcentaje de daño de los elementos principales afectados, según su grado de daño:

Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Columnas	43%	9,5%	9,5%	38%		
Muros						Daño excesivo
Vigas			6,0%			
Uniones						
Entrepisos						

Determinación del riesgo estructural

Bajo  Medio  Alto  Muy Alto

**9. DAÑOS EN ELEMENTOS NO ESTRUCTURALES**

Elemento	Muy Leve	Leve	Moderado	Fuerte	Severo	Comentario
Muros de fachadas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Paredes livianas	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cielos rasos y luminarias	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Cubierta de techo	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Vidrios	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Escaleras	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Tanques elevados	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Instalaciones eléctricas, de gas e hidráulicas	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	
Otros						

Determinación del riesgo no estructural

Bajo  Medio  Alto  Muy Alto

**10. CLASIFICACIÓN DE HABITABILIDAD**

Tipo de inspección

- Solo exterior       Exterior e interior completa

Según la presente evaluación, la condición del edificio es:

<input type="radio"/> <b>HABITABLE</b> Ambos riesgos fueron determinados bajos.	<input checked="" type="radio"/> <b>USO RESTRINGIDO</b> Se tiene al menos un riesgo medio o alto.	<input type="radio"/> <b>NO HABITABLE</b> Se tiene al menos un riesgo muy alto.
--	--	--

**11. RECOMENDACIONES**

Es necesaria una evaluación especializada por aspectos:

- Estructurales       Geotécnicos       Servicios Públicos

- \* En caso de roturas de tuberías de agua potable o de alcantarillado reportar al AyA.
- \* En caso de caída de líneas eléctricas reportar al ICE o a la CNFL.

Medidas de seguridad:

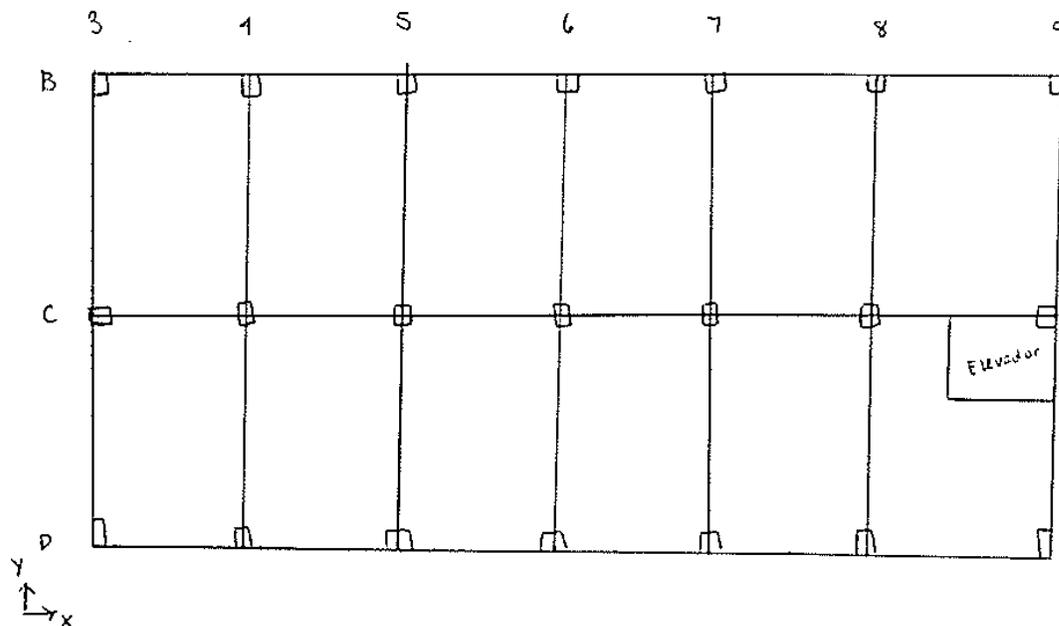
- |  |  |
|--|--|
| <input checked="" type="checkbox"/> Evacuación parcial           | <input type="checkbox"/> Apuntalamiento  |
| <input type="checkbox"/> Evacuación total                        | <input checked="" type="checkbox"/> Demoler o remover elementos en peligro de caer |
| <input type="checkbox"/> Evacuación de edificios vecinos         | <input type="checkbox"/> Desconectar energía, agua o gas                           |
| <input type="checkbox"/> Restricción del paso de peatones        | <input checked="" type="checkbox"/> Reforzamiento estructural de emergencia        |
| <input type="checkbox"/> Acordonamiento de sectores del edificio | <input type="checkbox"/> Manejo de sustancias peligrosas                           |

Otras: Evacuar el edificio mientras se realizan las reparaciones pertinentes

**12. COMENTARIOS GENERALES**

las paredes sufrieron daño excesivo, agrietamiento longitudinal  
 Columnas en los ejes B y D muy dañadas

**13. ESQUEMA**



**14. ENTREGA DEL FORMULARIO**

Persona que lo recibe:

Fecha:

Firma:

**EQUIPO REQUERIDO PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES DESPUÉS DE UN SISMO**

Fecha: 23 / 04 / 1991 Hora: 9:00 am.

Nombre del edificio: \_\_\_\_\_  
 Nombre del responsable de la inspección: Katellina Sanabria

VERIFICACIÓN DE EQUIPO		
Documentos personales	SÍ	NO
Identificación personal	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Carné asociado al CFIA.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Protección Personal	SÍ	NO
Casco protector.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Botas de punta de acero preferiblemente.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Mascarilla para nariz y boca.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Lentes de seguridad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Chaleco de seguridad.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Material y equipo	SÍ	NO
Formulario de inspección.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Manual de evaluación post-sismo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nombre y número telefónico del contacto en el edificio a evaluar, coordinadores del equipo de evaluación y entidades responsables de la prevención de desastres.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Mapa de la zona en la que se ubica el edificio a evaluar.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Sistema de posicionamiento global portátil (G.P.S.).	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Etiquetas de habitabilidad de las edificaciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta amarilla para restringir el paso en áreas inseguras de las edificaciones.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Libreta para anotar y lapicero.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Tabla de apoyo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinta métrica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Linterna y baterías extras.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cámara fotográfica.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Radio de comunicación.	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
Brújula.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Grietómetro (comparador de grietas).	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Nivel de mano o plomada.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Cinzel y martillo.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
Guantes.	<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

# Anexos

**Anexo A.** “Tabla de intensidad de Mercalli modificada” (RSN, 2015)

**Anexo B.** Readecuación de la escala MM (Schmidt, 2006)

**Anexo C.** Clasificación de vulnerabilidad de las estructuras para Costa Rica, tomando en cuenta los sistemas constructivos que predominan. (Schmidt, 2006)

**Anexo D.** Guía de Colombia: “Formulario único para inspección de edificaciones después de un sismo”

**Anexo E.** Guía de Chile: “Ficha de evaluación de daños para inspección rápida de edificios públicos”

**Anexo F.** Guía de México: “Formulario de captura de datos para evaluación estructural”

**Anexo G.** Guía de Estados Unidos: “ATC-20 Detailed Evaluation Safety Assessment Form”

**Anexo H.** Vistas y distribución del Edificio CIVCO

**Anexo I.** Vistas y distribución del Edificio A

**Anexo J.** Estudio de Suelos (Castro & de la Torre, 2017)

# **Anexo A**

***“Tabla de intensidad de Mercalli modificada”  
(RSN, 2015)***

Grado

**Tabla de Intensidad Mercalli Modificada (IMM)**

Descripción

<b>I. Imperceptible por humanos</b>	Imperceptible para las personas. Sólo puede ser detectado por los sismógrafos
<b>II. Muy leve</b>	Sentido sólo por algunas personas en reposo, particularmente aquellas que se encuentran ubicadas en los pisos superiores de los edificios u otra situación favorable.
<b>III. Leve</b>	Perceptible por algunas personas dentro de los edificios, especialmente en pisos altos. Objetos colgados oscilan de un lado a otro. Muchos no lo reconocen como sismo. Sensación semejante al paso de un camión pequeño.
<b>IV. Moderado</b>	Sentido por la mayoría de personas dentro de los edificios y por pocas personas en el exterior durante el día. Durante la noche, algunas personas pueden despertarse. Platos, puertas y ventanas vibran. Las paredes y armazones de madera crujen. Los automóviles detenidos se balancean. Sensación semejante al paso de un camión grande.
<b>V. Un poco Fuerte</b>	Sacudida sentida casi por todas las personas, quienes duermen se despiertan. Los líquidos se agitan y algunos se derraman. Los objetos pequeños e inestables son desplazados o volcados, unos pocos pueden llegar a romperse. Las puertas se balancean, se abren o se cierran. Los cuadros de las paredes se mueven. Se afectan los péndulos de los relojes mecánicos.
<b>VI. Fuerte</b>	Sacudida sentida por todas las personas; muchas se asustan y salen al exterior. La gente camina inestablemente. Algunas piezas de vajilla o vidrios de ventanas se rompen. Adornos, libros, etc., caen de las estanterías. Los cuadros se caen de las paredes. Los muebles se mueven o vuelcan. Pocos casos de agrietamiento en paredes de block, caída de repellos débiles y agrietamiento en paredes de adobe y bahareque. Se observa la sacudida en los árboles, postes y otros objetos altos. Las campanas pequeñas suenan en iglesias, escuelas y colegios.
<b>VII. Muy fuerte</b>	Difícil mantenerse de pie. Muebles dañados. Daños insignificantes en estructuras de buen diseño y construcción. Daños leves a moderados en estructuras ordinarias bien construidas. Daños considerables en estructuras pobremente construidas. Perceptible por personas en vehículos en movimiento. Caída de cielos rasos, ladrillos sueltos, piedras, tejas, cornisas y otros elementos arquitectónicos no asegurados. Se producen olas en estanques y el agua se ve enturbiada por el lodo. Pequeños corrimientos y hundimientos en arena o montones de grava. Las campanas grandes
<b>VIII. Destructivo</b>	Conducción de autos afectada. Daños ligeros en estructuras de diseño especialmente bueno; considerable en estructuras ordinarias con colapso parcial; grande en estructuras pobremente construidas. Los muebles pesados se vuelcan. La estructura de las casas se mueve sobre los cimientos si no están sujetas; trozos de pared sueltos o arrancados. Ramas de árboles rotas. Arena y lodo son proyectados en pequeñas cantidades. Cambios en el caudal o temperatura de fuentes y pozos. Grietas en suelo húmedo y pendientes fuertes.
<b>IX. Ruinoso</b>	Pánico generalizado. Los edificios bien contruidos sufren un daño considerable. Daño general en los cimientos. Las estructuras de armazón que no están bien cimentadas se desplazan. Armazones arruinados. Daños serios en embalses. Tuberías subterráneas rotas. Amplias grietas en el suelo. En áreas de aluvión hay eyección de arena y barro, aparecen fuentes y volcanes de arena.
<b>X. Desastroso</b>	Algunas estructuras de madera bien construidas quedan destruidas. La mayoría de las construcciones y estructuras de armazón destruidas con sus cimientos. Puentes destruidos. Daños serios en presas, diques y terraplenes. Agrietamiento considerable en el terreno; ocurren grandes deslizamientos de taludes. El agua salta de las orillas de los canales, ríos, lagos, etc. Arena y barro desplazados horizontalmente en playas y tierras llanas. Las vías
<b>XI. Muy desastroso</b>	Muchos edificios colapsan. Algunos puentes destruidos. Las vías de los trenes se doblan de forma considerable. Tuberías subterráneas completamente fuera de servicio.
<b>XII. Catastrófico</b>	Casi todo se destruye. Los objetos son arrojados al aire. Las ondas quedan "fossilizadas" en el terreno en forma pliegues. Perturbaciones de las cotas de nivel (ríos, lagos y mares). Se puede observar el desplazamiento de grandes masas de rocas.

# **Anexo B**

*Readecuación de la escala MM (Schmidt, 2006)*

## **Intensidades de la escala Mercalli Modificada adaptadas a Costa Rica**

### **Grado V**

- a) Daño de grado 1 en pocos edificios de tipo F y/o E.
- b) Sentido dentro del edificio por la mayoría y fuera por pocos. Pocos se asustan y corren fuera. Muchas personas dormidas se despiertan. Animales pueden alterarse un poco. Es posible determinar la dirección de las ondas.
- c) Objetos colgantes oscilan considerablemente. Vajilla, vasos, puertas y ventanas traquean fuertemente. Objetos livianos pueden desplazarse o volcarse. Puertas y ventanas se pueden abrir o cerrar. Se quiebran ventanas en pocos casos. Líquidos en recipientes bien llenos y abiertos pueden derramarse. En pocos casos se pueden detener los relojes de péndulo.
- d) En ciertos casos se modifica el caudal de los manantiales.

### **Grado VI**

- a) Daño de grado 1 se mantiene para estructuras de tipo F o E, pocos de tipo F o E sufren daño de grado 2, pocos de tipo D sufren de daño de grado 1.
- b) Sentido dentro de edificaciones por la mayoría y fuera por muchos. Pocos pierden el balance. Muchos se asustan y corren fuera. Animales huyen de sus establos.
- c) Objetos pequeños de estabilidad media se caen. Los libros se caen de sus estantes. Los muebles pesados se pueden mover. En pocas ocasiones se quiebran platos o vasos. Campanas pequeñas de torres o campanarios pueden sonar. Se quiebran ventanas en muchos casos.

### **Grado VII**

- a) Muchos edificios de tipo F sufren daño de grado 3; pocos de grado 4. Muchos edificios de tipo E sufren daño de grado 2; pocos de grado 3. Pocos edificios de tipo D sostienen daño de grado 2. Pocos edificios de tipo C sufren daño de grado 1.
- b) Sentido por todos (dentro y fuera). La mayoría se asusta y corren afuera. Se tiene dificultad para mantener el balance. Es sentido por conductores de vehículos en marcha.
- c) Campanas grandes pueden sonar. Muebles livianos se mueven, y muebles pesados pueden volcarse. Gran cantidad de objetos caen de las repisas. La mayoría de las ventanas se quiebran.
- d) Ondas grandes en embalses y depósitos de agua; y el agua se enturbia por remoción del fango. En algunos casos, se producen deslizamientos en las carreteras que transcurren sobre laderas con pendientes altas. Cambia el nivel de agua de los pozos y el caudal de los manantiales. En algunos casos, vuelven a fluir manantiales que estaban secos y se secan otros que fluían.

### **Grado VIII**

- a) Muchos edificios de tipo F sufren daño de grado 4; pocos de grado 5. Muchos edificios de tipo E sufren daño de grado 3; pocos de grado 4. Muchos edificios de tipo D sufren daño de grado 2; pocos de grado 3. Pocos edificios de tipo C sufren daño de grado 2. Estatuas, monumentos o postes se mueven o giran. Pueden caerse chimeneas de fábricas y tanques elevados.
- b) Dificultad para conducir vehículos. Dificultad para mantenerse en pie incluso en el exterior. Pueden verse ondas (durante el sismo) en terreno muy suave.
- c) Muebles se vuelcan. Pueden caerse objetos como televisores, máquinas de escribir, etc. Lápidas pueden moverse, torcerse o volcarse. Pocos postes se ladean o caen.
- d) Pequeños deslizamientos en las laderas de los barrancos y terraplenes con pendientes pronunciadas. Grietas en el suelo de varios centímetros de ancho en terrenos húmedos. Se enturbia el agua de los lagos. Aparecen nuevos manantiales. Vuelven a tener agua pozos secos y se pueden secar pozos existentes. En muchos casos cambia el caudal y el nivel de agua en los manantiales y pozos.

### **Grado IX**

- a) Muchos edificios de tipo F sostienen daño de grado 5. Muchos edificios de tipo E sufren daño de grado 4; pocos de grado 5. Muchos edificios de tipo D sufren daño de grado 3; pocos de grado 4. Muchos edificios de

tipo C sufren daño de grado 2; pocos de grado 3. Pocos edificios de tipo C sostienen daño de grado 2. Muchos monumentos, y postes se caen o tuercen. Daños considerables en depósitos de líquidos. Ruptura parcial de tuberías subterráneas. En pocos casos se deforman los rieles de ferrocarriles ligeramente, y carreteras quedan fuera de servicio.

b) Pánico general. La gente puede caer forzosamente. Se ven ondas en terreno suave (durante el sismo).

c) Daños considerables en mobiliario. Muchos postes ladeados o caídos.

d) Se observa con frecuencia que se producen extrusiones de agua, arena y fango en los terrenos saturados (evidencias de licuefacción). Se abren grietas en el terreno de hasta 10 centímetros de ancho y de más de 10 centímetros en las laderas y en las márgenes de los ríos. Aparecen, además, numerosas grietas pequeñas en el suelo. Desprendimientos de rocas y aludes. Muchos deslizamientos de tierras. Grandes olas en lagos y embalses. Se renuevan pozos secos y se secan otros existentes.

### **Grado X**

a) La mayoría de los edificios de tipo F y E sufren daño de grado 5. Muchos edificios de tipo D sufren daño de grado 4; pocos de grado 5. Muchos edificios de tipo C sufren daño de grado 3; pocos de grado 4. Muchos edificios de tipo B sufren daño de grado 2; pocos de grado 3. Pocos edificios de tipo A sufren daño de grado 2. Daños severos en represas y puentes. Rieles de ferrocarril deformados severamente. Grandes ondulaciones en el pavimento.

b) Deslizamientos de tierra, desbordamiento de ríos, lagos y embalses. Gran cantidad de evidencias de licuefacción. Grietas en el suelo de algunos decímetros de ancho que pueden llegar a un metro. Se producen anchas grietas paralelas a los cursos de los ríos. Deslizamientos de tierras sueltas en las laderas con fuertes pendientes. Desplazamientos de arenas y fangos en las zonas litorales. Cambio del nivel de agua en los pozos. Se forman nuevos lagos.

### **Grado XI**

a) La mayoría de los edificios de tipo E sostienen daño de grado 5. La mayoría de los edificios de tipo D sufren daño de grado 4; muchos de grado 5. Muchos edificios de tipo C sufren daño de grado 4; pocos de grado 5. Muchos edificios de tipo B sufren daño de grado 3; pocos de grado 4. Muchos edificios de tipo A sufren daño de grado 2; pocos de grado 3. Rieles de ferrocarriles deformados longitudinalmente. Ruptura de tuberías enterradas que quedan fuera de servicio. Daños muy severos y colapso en puentes y represas

b) El terreno queda considerablemente deformado tanto por desplazamientos de terrenos y caídas de rocas. Se puede observar ruptura superficial de las fallas. Gran cantidad de evidencias de licuefacción.

### **Grado XII**

(El sismo alcanza el máximo de efectos concebible)

a) Todos los edificios de tipo de tipo F, E y prácticamente todos los de tipo D son destruidos. La mayoría de los de tipo C, B y A son destruidos.

b) La topografía cambia. Grandes grietas en el terreno con importantes desplazamientos horizontales y verticales. Caída de rocas y hundimientos en los escarpes de los valles, producidas en vastas extensiones. Se cierran valles y se transforman en lagos. Aparecen cascadas y se desvían los ríos.

# **Anexo C**

***Clasificación de vulnerabilidad de las estructuras para Costa Rica, tomando en cuenta los sistemas constructivos que predominan. (Schmidt, 2006)***

Clasificaciones adaptadas para Costa Rica							
Descripción de la estructura		Tipo					
		F	E	D	C	B	A
Desecho	Estructuras en desecho	⊕					
Adobe	Estructuras en adobe	⊕					
Mampostería	Roca Masiva (Canto Rodado)			⊕			
	Mampostería sin refuerzo	⊕					
	Mampostería confinada o con refuerzo integral				⊕		
Concreto Reforzado	Estructuras a base de marcos en RC				⊕		
	Estructuras a base de muros en RC				⊕		
Madera	Estructuras en madera			⊕			
	Pilotes de madera sin arriostrar	⊕					
	Pilotes de madera arriostrados			⊕			
Acero	Estructuras en acero					⊕	
Prefabricado	Estructuras a base de marcos prefabricados				⊕		
	Prefabricado total (vivienda)				⊕		
		⊕	vulnerabilidad base casos excepcionales		—		rango probable

Fuente: Schmidt (2016)

# **Anexo D**

*Guía de Colombia*

*“Formulario único para inspección de edificaciones después de un sismo”*



ALCALDIA MAYOR  
DE BOGOTÁ D.C.

Fondo de Prevención y  
ATENCIÓN DE EMERGENCIAS

FORMULARIO ÚNICO PARA INSPECCIÓN DE EDIFICACIONES  
DESPUES DE UN SISMO



LOCALIDAD   NOMBRE DEL BARRIO

<input type="text"/>									
BARRIO			MANZANA	PREDIO	CONSTRUCCION				

IDENTIFICACION CATASTRAL

Formulario Número

Inspección de la edificación

Exterior e interior  No se pudo entrar

Clasificación de habitabilidad

Verde  Amarillo  Naranja  Rojo

**IDENTIFICACION DE LA EDIFICACION**

**Dirección:** Carrera  Calle  Transv  Diag

Avda  Otro:  Número

**Nombre de la Edificación:**

**Uso predominante:**

1. Residencial	2. Comercial	3. Educacional	De la edificación	<input type="checkbox"/>
4. Salud	5. Hotelero	6. Oficinas		
7. Industrial	8. Institucional	9. Bodegas	De la Planta Baja	<input type="checkbox"/>
10. Estacionamientos	11. Otros			

**Número de pisos:** Niveles sobre el terreno  Sótanos  Total

**Dimensiones aproximadas del edificio:** Frente (m)  Fondo (m)

**DESCRIPCIÓN DE LA ESTRUCTURA**

**Sistema Estructural**

Concreto

Reforzado:	11 Pórtico de concreto	12 Muros estructurales	13 Sistemas duales	14 Prefabricados
Mampostería:	21 Mampostería confinada	22 Mampostería reforzada	23 Mampostería no reforzada	
Acero:	31 Pórticos arriostrados	32 Pórticos no arriostrados		
Madera:	41 Pórticos y paneles en madera	42 Pórticos en madera y paneles en otros materiales		
Bahareque o tapia:	51 Muros en bahareque	52 Muros en tapia		
	50 Mixta	60 Otros		

Sistema Estructural

**Tipo de Entrepiso**

Concreto Reforzado:	11 Placa maciza	12 Placa aligerada	13 Reticular celulada
Acero:	21 Lámina colaborante (steel deck)	22 Vigas	23 Cerchas
Madera:	31 Vigas	32 Mixta	
	40 Otros		

Tipo de entpiso:

**Año de construcción**

1. Antes de 1930	2. 1930 a 1984
3. 1985 a 1997	4. A partir de 1998

**ESTADO DE LA EDIFICACION**

**Estado General de la Edificación**

Revisar la edificación en forma global para las condiciones señaladas a continuación y hacer las aclaraciones necesarias en la sección de comentarios:

1. Existe colapso:

1. No 2. Parcial 3. Total

2. Desviación o inclinación de la edificación o de algún entpiso

1. Si 2. No 3. No se pudo determinar

3. Falla o asentamiento de la cimentación:

1. Si 2. No 3. No se pudo determinar

**Daños en Elementos Arquitectónicos**

Indique el grado de daño de los elementos

4. Muros de fachadas o antepechos

1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo

5. Muros divisorios o particiones

1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo

6. Cielo rasos y luminarias

1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo

7. Cubierta

1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo

8. Escaleras

1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo

9. Instalaciones: Acueducto  Alcantarillado  Energía  Gas

1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo

10. Tanques elevados

1. Ninguno 2. Leve 3. Moderado 4. Fuerte 5. Severo

**Problemas Geotécnicos**

11. Falla en talud o movimientos en masa

1. No 2. Puntual 3. General

12. Asentamiento, subsidencia o licuación

1. No 2. Puntual 3. General

**Daños en Elementos Estructurales en el piso de mayor afectación**

Indique el nivel de entpiso con el mayor daño

Indique el porcentaje de los elementos afectados según su grado de daño

	1. Ninguno	2. Leve	3. Moderado	4. Fuerte	5. Severo
13. Columnas o muros portantes	<input type="checkbox"/>				
14. Vigas	<input type="checkbox"/>				
15. Nudos o puntos de conexión	<input type="checkbox"/>				
16. Entrepisos	<input type="checkbox"/>				

**Porcentaje de Daños Global de la Edificación**

Estimar el porcentaje del área afectada con relación al área total construida de la edificación :

Rango	%	Clasificación Global del daño
0%	<input type="checkbox"/>	Ninguno
0 - 10%	<input type="checkbox"/>	Leve
10 - 30%	<input type="checkbox"/>	Moderado
30 - 60%	<input type="checkbox"/>	Fuerte
60 - 100%	<input type="checkbox"/>	Severo
100%	<input type="checkbox"/>	Colapso total

**Clasificación global del daño y habitabilidad de la edificación**

Clasificación Global del daño	Clasificación de habitabilidad (color)
1. Ninguno .....	Habitable (verde)
2. Leve .....	Habitable (verde)
3. Moderado .....	Uso restringido (amarillo)
4. Fuerte .....	No habitable (naranja)
5. Severo .....	Peligro de colapso (rojo)

Indique la clasificación del daño según la presente evaluación

Existe una clasificación previa?  Cúl?

1. Si 2. No



# **Anexo E**

*Guía de Chile*

*“Ficha de evaluación de daños para inspección  
rápida de edificios públicos”*

# FICHA DE EVALUACION DE DAÑOS PARA INSPECCION RAPIDA DE EDIFICIOS PUBLICOS

Versión 2 | Abril 2014

SUBDPTO. INGENIERÍA Y CONSTRUCCIÓN  
DIVISIÓN EDIFICACIÓN PÚBLICA.  
DIRECCION DE ARQUITECTURA | MOP

## 1. ALCANCE

La ficha de inspección rápida es un documento adaptado y actualizado de la versión japonesa, con el fin de evaluar un inmueble para la seguridad de las personas tanto al interior como en las inmediaciones, orientado fuertemente a su desempeño frente a réplicas desde el punto de vista de la seguridad de uso del mismo. Debe ser usada por profesionales del área de la Construcción.

## 2. IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR

Nº Serie: \_\_\_\_\_ Fecha de Inspección: \_\_\_\_\_ Hora de Inspección: \_\_\_\_\_

Nombre del Evaluador: \_\_\_\_\_ Firma: \_\_\_\_\_

Institución a la que pertenece: \_\_\_\_\_ Profesión: \_\_\_\_\_

## 3. IDENTIFICACIÓN DEL INMUEBLE

Región: \_\_\_\_\_ Provincia: \_\_\_\_\_ Comuna: \_\_\_\_\_ Localidad: \_\_\_\_\_

Nombre del Edificio: \_\_\_\_\_ Dirección (O coord. UTM) \_\_\_\_\_

Sector: \_\_\_\_\_ Uso o Tipo de Edificio: \_\_\_\_\_

*Ho: Hospital; MI: Ministerio; CA: Cárcel; CC: Centro Cultural; ES: Estadio; Gi: Gimnasio; IG: Iglesia; MU: Municipio; IN: Intendencia; GO: Gobernación; SE: Seremi; FI: Fiscalía; DE: Defensoría; PO: Posta; CO: Consultorio; ESC: Escuela; LI: Liceo; JI: Jardín Infantil; SC: Sala Cuna; RE: Reten; TE: Tenencia; COM: Comisaría; PRE: Prefectura; EP: Edificio Público; O: Otros (Indicar Tipo)*

Nº de pisos \_\_\_\_\_ Nº de subterráneos \_\_\_\_\_ Superficie \_\_\_\_\_ x \_\_\_\_\_ = \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

## 4. SISTEMA ESTRUCTURAL. Marque con X o un ticket en el círculo correspondiente

<input type="radio"/> Hormigón Armado	<input type="radio"/> Albañilería		<input type="radio"/> Acero		<input type="radio"/> Madera
Estructura	Estructura	Tipo de Bloques	Estructura	Uniones	Estructura
<input type="radio"/> Marcos	<input type="radio"/> Simple	<input type="radio"/> Fiscal	<input type="radio"/> Marcos Arriostrados	<input type="radio"/> Soldadas	<input type="radio"/> Marcos de Madera
<input type="radio"/> Muros	<input type="radio"/> Confinada	<input type="radio"/> Cerámico	<input type="radio"/> Marcos Rígidos	<input type="radio"/> Apernadas	<input type="radio"/> Muros de Madera
<input type="radio"/> Mixtos	<input type="radio"/> Armada	<input type="radio"/> Hormigón		<input type="radio"/> Mixto	<input type="radio"/> Quincha
	<input type="radio"/> Contrafuerte	<input type="radio"/> Adobe			
		<input type="radio"/> Piedra			
		<input type="radio"/> Otro			

## 5. INSPECCIÓN GENERAL. Método de Inspección del inmueble.

Inspección sólo exterior  Inspección exterior y visual interior, indicar pisos \_\_\_\_\_

### INSPECCIÓN 1. Inspección General de todo el Inmueble.

*Aquí se juzga el daño a primera vista normalmente del exterior. Si el inmueble es obviamente inseguro por el daño observado, marque la alternativa apropiada, sáltese las inspecciones 2 y 3, clasifique la edificación como INSEGURA en el resumen final.*

CATEGORÍA	A	B	C
a) Colapso Total o Parcial	<input type="radio"/> No	-----	<input type="radio"/> Si
b) Daño producto de Edificaciones Adyacentes o Falla del Suelo Colindante	<input type="radio"/> No	<input type="radio"/> Incierto	<input type="radio"/> Si
c) Asentamiento del Edificio debido a Falla del Suelo	<input type="radio"/> < 0,2 m	<input type="radio"/> Entre 0,2 y 1,0 m	<input type="radio"/> > 1,0 m
d) Inclinación del Edificio completo o una parte debido a Asentamiento Diferencial	<input type="radio"/> < 1/60 rad	<input type="radio"/> Entre 1/60 y 1/30 rad (aparentemente inclinado)	<input type="radio"/> > 1/30 rad (fácil de notar)

## 6. INSPECCIÓN ESPECÍFICA.

### INSPECCIÓN 2. Peligro de Daño a Edificaciones adyacentes, Terreno colindante y Segmentos estructurales.

- A. Inspeccionar el piso más seriamente dañado, hacer un dibujo de la planta, contar las columnas y muros dañados y llenar la tabla que sigue.
- B. Si no se encuentra daño serio en los muros o en las columnas, pero si en algunas vigas y/o uniones vigas-columnas, arriba o debajo de la columna (o muro), tomar en cuenta el daño como de la columna (o muro).

#### Memoria de Cálculo de Daño Estructural. Contabilice el daño por rango y tipo de elemento estructural.

ELEMENTOS	RANGO DE DAÑO					Total Elementos Revisados
	Ninguno (I)	Leve (II)	Moderado (III)	Fuerte (IV)	Severo (V)	
Columnas						
Muros						
Vigas						
Uniones o Nudos						
Uniones Soldadas						
Uniones Apernadas						
Losas						
Entrepiso de Madera						
Techumbre						
<b>TOTAL RANGO</b>						

#### Daño Estructural

CATEGORÍA	A	B	C
<b>Daño a las Columnas</b>			
e1) Porcentaje de Daño IV o V	<input type="radio"/> < 1/100 (1%)	<input type="radio"/> 1/100-1/10 (1% - 10%)	<input type="radio"/> > 1/10 (10%)
e2) Razón del Daño III	<input type="radio"/> < 1/8 (12.5%)	<input type="radio"/> 1/8 - 1/4 (12.5% - 25%)	<input type="radio"/> > 1/4 (25%)
<b>Daño de Muros Estructurales</b>			
e3) Porcentaje de Daño IV o V	<input type="radio"/> < 1/100 (1%)	<input type="radio"/> 1/100-1/10 (1% - 10%)	<input type="radio"/> > 1/10 (10%)
e4) Razón del Daño III	<input type="radio"/> < 1/8 (12.5%)	<input type="radio"/> 1/8 - 1/4 (12.5% - 25%)	<input type="radio"/> > 1/4 (25%)
<b>Seguridad Estructural</b>	<input type="radio"/> INSPECCIONADO (Sólo A)	<input type="radio"/> INGRESO LIMITADO (B ≥ 1 y C = 0)	<input type="radio"/> INSEGURO (B ≥ 2 o C ≥ 1)

### INSPECCIÓN 3. Peligros de elementos que puedan caer y/o volcarse

#### Daños No Estructurales.

CATEGORÍA	A	B	C
f) Marco y vidrio de ventana	<input type="radio"/> Sin o poco daño	<input type="radio"/> Deformación visible y/o grietas	<input type="radio"/> Peligro de caída
g) Terminaciones Exteriores	<input type="radio"/> Sin daños	<input type="radio"/> Grietas leves	<input type="radio"/> Grietas significativas
h) Terminaciones Interiores	<input type="radio"/> Sin daños	<input type="radio"/> Grietas leves	<input type="radio"/> Grietas significativas
i) Cielos Falsos	<input type="radio"/> Sin daños	<input type="radio"/> Se observa daño	<input type="radio"/> Peligro de Caída
j) Ductos de Ventilación	<input type="radio"/> Sin daños	<input type="radio"/> Se observa daño	<input type="radio"/> Peligro de Caída
k) Escaleras	<input type="radio"/> Sin o poco daño	<input type="radio"/> Gran cantidad de grietas pero las barras de refuerzo están ancladas	<input type="radio"/> Inclinación / separación de los elementos con que se conecta, barras de anclaje separadas del elemento
l) Muros no estructurales con marco	<input type="radio"/> Sin o poco daño	<input type="radio"/> Se observan grietas sin deformación fuera del plano	<input type="radio"/> Grietas extensas interconectadas, o deformación fuera del plano

m) Muros no estructurales sin marco	<input type="radio"/> Sin daños	<input type="radio"/> Grietas leves	<input type="radio"/> Grietas de corte
n) Estanques, Antenas, Balcones, Letreros, Maquinaria, etc.	<input type="radio"/> Sin inclinación	<input type="radio"/> Un poco inclinado	<input type="radio"/> Peligro de caída
o) Cubierta de Techo	<input type="radio"/> Sin daño	<input type="radio"/> Algún daño observado pero no hay peligro de caída de objetos	<input type="radio"/> Inclinación, deformación o separación perceptible del piso superior
p) Lampistería	<input type="radio"/> Sin daño	<input type="radio"/> Algún daño observado pero no hay peligro de caída de objetos	<input type="radio"/> Peligro de caída
q1) Bienes Muebles 1 _____	<input type="radio"/> Sin inclinación	<input type="radio"/> Un poco inclinado	<input type="radio"/> Peligro de caída
q2) Bienes Muebles 2 _____	<input type="radio"/> Sin inclinación	<input type="radio"/> Un poco inclinado	<input type="radio"/> Peligro de caída
q3) Bienes Muebles 3 _____	<input type="radio"/> Sin inclinación	<input type="radio"/> Un poco inclinado	<input type="radio"/> Peligro de caída
r) Otro(s) Peligros(s)	<input type="radio"/> Sin daños	<input type="radio"/> Se observa daño	<input type="radio"/> Peligro para la vida
<b>Seguridad No Estructural</b>	<input type="radio"/> INSPECCIONADO (Sólo A)	<input type="radio"/> INGRESO LIMITADO (B ≥ 1 y C = 0)	<input type="radio"/> INSEGURO (B ≥ 2 o C ≥ 1)

**Bienes Muebles (Patrimonio) considera:** Ar. Archivos, Al: Altar, P: Púlpito, AT: Arco Toral, C: Confesionario, I: Imágenes, B: Butacas o Asientos, In: Incensario, R: Retablos, IM. Instrumentos Musicales, OA. Obra de Arte (cuadros, esculturas, entre otros), V: Vitriñas, O: Otros (Indicar Tipo). Máximo tres tipos a declarar en caso de ser menos muebles las otras filas no se consideran.

Suma Total	A =	B =	C =
------------	-----	-----	-----

## 7. RESUMEN

**EVALUACIÓN FINAL DEL EDIFICIO.** Juicio de Seguridad del Inmueble

<input type="radio"/> INSPECCIONADO (Sólo A)	<input type="radio"/> INGRESO LIMITADO (B ≥ 1 y C = 0)	<input type="radio"/> INSEGURO (B ≥ 2 o C ≥ 1)
--	--	--

## 8. RECOMENDACIONES INICIALES

ACCION RECOMENDADA	DETALLAR CON COORDENADAS LUGAR(ES) ESPECIFICO(S)	ESTIMACIÓN VISUAL DEL AREA DE INTERVENCIÓN
<input type="radio"/> Apuntalar		
<input type="radio"/> Alzaprimar		
<input type="radio"/> Remover Objetos Peligrosos		
<input type="radio"/> Acordonar		
<input type="radio"/> Protección de Fachada de Lluvia o Intemperie		
<input type="radio"/> Otras		

## 9. CROQUIS PLANTA CON ELEMENTOS ESTRUCTURALES RESISTENTES.

# **Anexo F**

*Guía de México*

*“Formulario de captura de datos para  
evaluación estructural”*

# FORMATO DE CAPTURA DE DATOS PARA EVALUACIÓN ESTRUCTURAL

Febrero-2011

Fecha:  Hora:  Duración visita:  Clave:

Nombre del evaluador:

Ingeniero o arquitecto  Estudiante Ing/Arq.

## INFORMACIÓN GENERAL DEL INMUEBLE

Nombre del inmueble:

Nombre del edificio/cuerpo/área:

(usar un formato por cada edificio/cuerpo/área)

Coordenadas: ( \_\_\_\_\_ N, \_\_\_\_\_ O, \_\_\_\_\_ msnm)

Calle y número:

Colonia/Barrio:

Código postal:

Localidad (pueblo/ciudad):

Delegación/Municipio:

Estado:

Referencias:

(entre calles "A" y "B", un sitio notable, etc.)

Persona contactada/propietario:

Cargo o función:

Teléfono: +( )

Fax:

Correo electrónico:

## USO

(Anotar % de área para cada uso, debe sumar 100%)

<b>1- Habitacional</b> <input type="checkbox"/> Vivienda <input type="checkbox"/> Multifamiliar <input type="checkbox"/> Hotel <input type="checkbox"/> Dormitorio	<b>3- Educativo</b> <input type="checkbox"/> Preescolar <input type="checkbox"/> Primaria <input type="checkbox"/> Secundaria <input type="checkbox"/> Superior <input type="checkbox"/> Biblioteca <input type="checkbox"/> Museo	<b>5- Reunión</b> <input type="checkbox"/> Centro social <input type="checkbox"/> Templo religioso <input type="checkbox"/> Gimnasio <input type="checkbox"/> Salón baile/juego <input type="checkbox"/> Cine/Teatro/Auditorio <input type="checkbox"/> Estadio	<b>7- Comunicaciones y transportes</b> <input type="checkbox"/> Terminal de pasajeros <input type="checkbox"/> Terminal de carga <input type="checkbox"/> Estacionamiento <input type="checkbox"/> Aeropuerto/Puerto <input type="checkbox"/> Correo / Telégrafo / Teléfono <input type="checkbox"/> Radio / Televisión <input type="checkbox"/> Antena transmisora Otro <input type="checkbox"/>	<b>Estructura GRUPO:</b> <input type="radio"/> A <input type="radio"/> B1 <input type="radio"/> B2 <input type="radio"/> C

Ocupación:  Habitada/en uso  Abandonada/desocupada  Desalojada por daños

Número de ocupantes o capacidad de personas: \_\_\_\_\_

## TERRENO Y CIMENTACIÓN

<b>Topografía</b> <input type="checkbox"/> Planicie <input type="checkbox"/> Ladera de cerro <input type="checkbox"/> Rivera río/lago <input type="checkbox"/> Fondo de valle <input type="checkbox"/> Depósitos lacustres <input type="checkbox"/> Costa	<b>Tipo suelo</b> <input type="checkbox"/> Arcilla muy blanda <input type="checkbox"/> Limos o arcillas <input type="checkbox"/> Granular suelto <input type="checkbox"/> Granular compacto <input type="checkbox"/> Roca	<b>SUELO</b> <input type="radio"/> Blando <input type="radio"/> Transición <input type="radio"/> Firme	<b>Cim. Superficial</b> <input type="checkbox"/> Zapatas aisladas <input type="checkbox"/> Zapatas corridas <input type="checkbox"/> Cimiento de piedra <input type="checkbox"/> Losa <input type="checkbox"/> Cajón	<b>Cimentación Profunda</b> <input type="checkbox"/> Pilotes / pilas <input type="checkbox"/> Otro
---	--	---	---	--

Nivel freático: \_\_\_\_\_ m Pendiente del terreno: \_\_\_\_\_ % Distancia a río / lago / mar: \_\_\_\_\_ m

## CARACTERÍSTICAS DE LA ESTRUCTURA

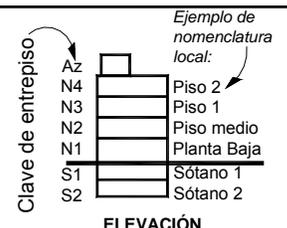
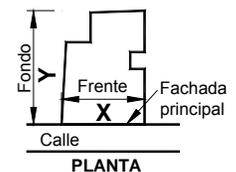
No. de niveles, n = \_\_\_\_\_ Año de construcción: \_\_\_\_\_  
 No. de sótanos: \_\_\_\_\_ Año rehabilitación: \_\_\_\_\_

Apéndices en azotea (escaleras / elevador / cuarto azotea)  
 Mezanine (losa intermedia que no cubre toda la planta)  
 Piso a media altura (de los entrepisos tipo)  
 Escalera externa  
 Semisótano (primer sótano a medio nivel de calle)

**Instalaciones**  
 Elevador  Eléctrica  
 Agua potable  Alcantarillado  
 Gas  Otra: \_\_\_\_\_

Área del terreno: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>  
 Recarga acuíferos: \_\_\_\_\_ %  
 Área de la planta tipo: \_\_\_\_\_ m<sup>2</sup>

**Dimensiones Generales:**  
 X = Frente: \_\_\_\_\_ m  
 Y = Fondo: \_\_\_\_\_ m  
 Altura Planta baja: \_\_\_\_\_ m  
 Altura entrepisos: \_\_\_\_\_ m  
 No. cajones estacionamiento: \_\_\_\_\_  
 No. elevadores: \_\_\_\_\_  
 No. escaleras independientes: \_\_\_\_\_



<<logotipos de instituciones participantes>>

## VULNERABILIDAD

Posición en manzana:  Esquina  Medio  Aislado

### Irregularidad en planta

- Asimétrico (efectos de torsión)  
 Aberturas en planta > 20 % (*área o longitud*)  
 Longitud entrantes/salientes > 20 %  
 En "L" u otra geometría irregular

### Irregularidad en elevación

- Planta baja flexible  
 Marcos o muros no llegan a la cimentación  
 Columnas cortas  
 Reducción de la planta en pisos superiores  
 Apoyos a diferente nivel (laderas)  
 Sistemas de entepiso inclinados  
 Grandes masas en pisos superiores  
 Arreglo irregular de ventanas en fachada

### Otras fuentes de vulnerabilidad

- Conexión excéntrica trabe-columna  
 Péndulo invertido/una sola hilera de columnas  
 Un elemento resiste más del 35% del sismo  
 Columna débil-viga fuerte

### Edificio vecino crítico

- No. de pisos: \_\_\_\_\_  
 Separación: \_\_\_\_\_ cm  
 Uso no.: \_\_\_\_\_ : \_\_\_\_\_  
 Marcos  Sin daño  
 Muros  Daño medio  
 Otro  Daño severo  
 Pisos a diferente altura

## SISTEMA ESTRUCTURAL

### Material en muros

- Concreto reforzado  
 Concreto prefabricado  
 Tabicón de concreto (macizo)  
 Bloque de concreto (20x40 cm)  
 Ladrillo de barro macizo  
 Tabique de arcilla hueco  
 Paneles con capa de mortero  
 Madera  
 Piedra  
 Adobe  
 Bahareque (*ramas/lodo*)  
 Material precario (*débil: lámina/cartón/desecho*)  
 Otro: \_\_\_\_\_

### Refuerzo en la mampostería

- Sin refuerzo  
 Mampostería confinada  
 Mampostería mal confinada (*sin refuerzo en puertas/ventanas*)  
 Con refuerzo interior  
 Otro: \_\_\_\_\_

### Sección de elementos predominantes

Forma	Rectangular	Circular	Tubo circular	Secc H / I	Cajón	Secc L	Armadura	Material	Sección
Columnas	<input type="checkbox"/>	Concreto	<input type="checkbox"/>						
Trabes Principales	<input type="checkbox"/>	Acero	<input type="checkbox"/>						
Trabes Secundarias	<input type="checkbox"/>	Prefabricado	<input type="checkbox"/>						
Diagonales	<input type="checkbox"/>	Madera	<input type="checkbox"/>						

Diagramas de secciones:

Ejemplo:  $b \times h$     $\varnothing = D$     $d$   $br$   $tf$     $h$   $b$   $tf$     $b$   $t$     $2L$   $bxt$

### ESTRUCTURA PRINCIPAL VERTICAL

	Planta Baja		Niveles Tipo		Sótano	Apéndice	Cubos (escaleras / elevador)
	X	Y	X	Y			
Marcos	Acero	<input type="checkbox"/>					
	Concreto	<input type="checkbox"/>					
	Conc. prefabricado	<input type="checkbox"/>					
	Cols. y losa plana	<input type="checkbox"/>					
	Madera	<input type="checkbox"/>					
Contrav.	Acero	<input type="checkbox"/>					
	Concreto	<input type="checkbox"/>					
	Cubre varios pisos	<input type="checkbox"/>					
Muros	Cables	<input type="checkbox"/>					
	De carga mampostería	<input type="checkbox"/>					
	Diagrama mampost. con vigas de acoplamiento:	<input type="checkbox"/>					

### Marcos en el entepiso representativo

Número de marcos paralelos: a X: \_\_\_\_\_ a Y: \_\_\_\_\_  
 Claro promedio: X = \_\_\_\_\_ m Y = \_\_\_\_\_ m  
 Número total de columnas: \_\_\_\_\_ (*en todo el entepiso*)  
 No. crujías con contraviento: en X: \_\_\_\_\_ en Y: \_\_\_\_\_  
 No. crujías con muro diafragma: en X: \_\_\_\_\_ en Y: \_\_\_\_\_

### Muros en el entepiso representativo

Suma de longitudes de muros y espesor (t):  
 De concreto:  $\sum Lx =$  \_\_\_\_\_ m,  $\sum Ly =$  \_\_\_\_\_ m,  $t =$  \_\_\_\_\_ cm  
 De mampostería:  $\sum Lx =$  \_\_\_\_\_ m,  $\sum Ly =$  \_\_\_\_\_ m,  $t =$  \_\_\_\_\_ cm

### SISTEMA DE PISO / TECHO

#### Sistema de piso

- Losa apoyada en trabes  
 Losa plana (*sin trabes*)  
 Vigas y piso de madera  
 Vigas y enladrillado (*bóveda catalana*)  
 Vigas, largueros y cubierta  
 Armaduras y cubierta  
 Armaduras 3D  
 Arcos de mampostería

Distancia a ejes de:  
 Trabes secundarias: \_\_\_\_\_ cm  
 Vigas, viguetas o nervaduras: \_\_\_\_\_ cm  
 Largueros: \_\_\_\_\_ cm

#### Cubierta de techo

- Igual a sistema de piso  
 Lámina metálica  
 Lámina de asbesto/plástico  
 Cartón o desecho  
 Paneles  
 Madera  
 Paja  
 Teja

Tipo de anclaje y separación: \_\_\_\_\_

#### Losa de concreto

- Maciza  
 Aligerada (*reticular*)  
 Prefabricada de concreto  
 Vigueta y bovedilla  
 Lámina acanalada con capa de concreto (*Losa-acero*)
- Espesor total: \_\_\_\_\_ cm  
 Capa compresión: \_\_\_\_\_ cm

#### Armaduras

- De acero  De madera  
 Peralte variable  
 Claro: \_\_\_\_\_ m, Peralte: \_\_\_\_\_ m  
 Separación armaduras: \_\_\_\_\_ m  
 Sección cuerdas: \_\_\_\_\_  
 Secc. diagonales: \_\_\_\_\_

#### Forma de la cubierta

- Techo plano horizontal  
 Inclinado pendiente: \_\_\_\_\_ %  
 Bóveda cilíndrica  $\varnothing =$  \_\_\_\_\_ m  
 Cúpula  $\varnothing =$  \_\_\_\_\_ m

Planos:  Arquitectónico  Estructural  Memoria de cálculo  Autoconstrucción (*sin cálculo*) Especificar: \_\_\_\_\_

## REHABILITACIÓN

### Tipo

- Arquitectónicas  
 Reparación estruct.  
 Refuerzo  
 Reestructuración

### Técnicas empleadas

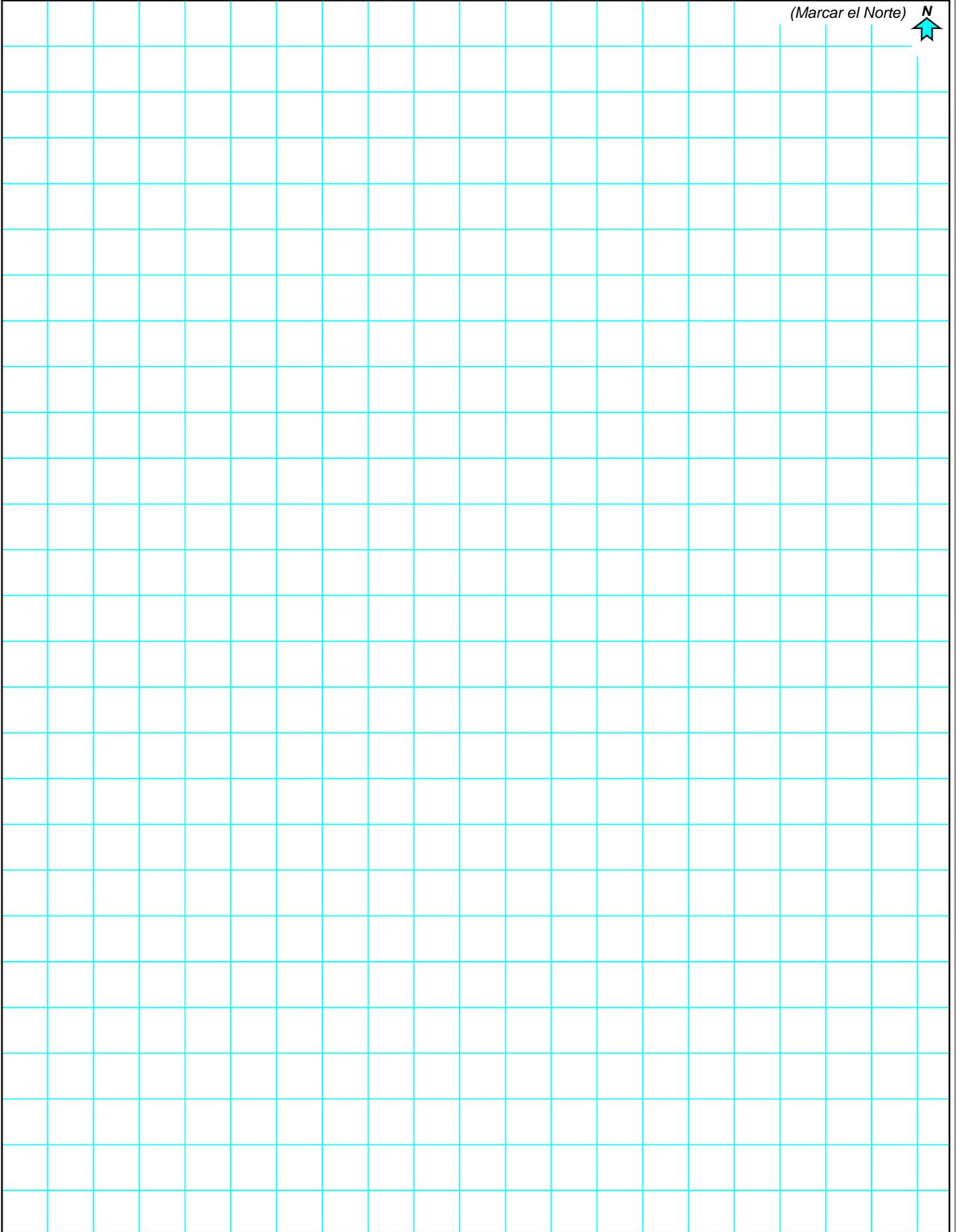
- Recimentación  
 Encamisado concreto  
 Encamisado acero  
 Muros: malla y mortero  
 Contraventeo  
 Adición de muros concreto  
 Adición muros mampostería  
 Contrafuertes externos  
 Fibra carbono / sintéticos  
 Otro

Descripción breve:



# CROQUIS DEL INMUEBLE

(Marcar el Norte)  N



# **Anexo G**

***Guía de Estados Unidos  
“ATC-20 Detailed Evaluation  
Safety Assesment Form”***

# ATC-20 Detailed Evaluation Safety Assessment Form

## Inspection

Inspector ID: \_\_\_\_\_

Affiliation: \_\_\_\_\_

Inspection date and time: \_\_\_\_\_  AM  PM

## Final Posting from page 2

- Inspected  
 Restricted Use  
 Unsafe

## Building Description

Building name: \_\_\_\_\_

Address: \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_

Building contact/phone: \_\_\_\_\_

Number of stories above ground: \_\_\_\_\_ below ground: \_\_\_\_\_

Approx. "Footprint area" (square feet): \_\_\_\_\_

Number of residential units: \_\_\_\_\_

Number of residential units not habitable: \_\_\_\_\_

## Type of Construction

- Wood frame  
 Steel frame  
 Tilt-up concrete  
 Concrete frame  
 Concrete shear wall  
 Unreinforced masonry  
 Reinforced masonry  
 Other: \_\_\_\_\_

## Primary Occupancy

- Dwelling  
 Other residential  
 Public assembly  
 Emergency services  
 Commercial  
 Offices  
 Industrial  
 Other: \_\_\_\_\_  
 Government  
 Historic  
 School

## Evaluation

Investigate the building for the conditions below and check the appropriate column. There is room on the second page for a sketch.

	Minor/None	Moderate	Severe	Comments
<b>Overall hazards:</b>				
Collapse or partial collapse	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Building or story leaning	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
<b>Structural hazards:</b>				
Foundations	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Roofs, floors (vertical loads)	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Columns, pilasters, corbels	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Diaphragms, horizontal bracing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Walls, vertical bracing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Precast connections	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
<b>Nonstructural hazards:</b>				
Parapets, ornamentation	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Cladding, glazing	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ceilings, light fixtures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Interior walls, partitions	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Elevators	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Stairs, exits	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Electric, gas	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
<b>Geotechnical hazards:</b>				
Slope failure, debris	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Ground movement, fissures	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____
Other _____	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	_____

**General Comments:** \_\_\_\_\_  
 \_\_\_\_\_



# **Anexo H**

*Vistas y distribución  
del Edificio CIVCO*





# **Anexo I**

*Vistas y distribución  
del Edificio A*



- CIELOS**
- 20 Cielos / Filtros para luz azul
  - 21 Cielos / Filtros para luz azul
  - 22 Cielos / Filtros para luz azul
  - 23 Cielos / Filtros para luz azul
  - 24 Cielos / Filtros para luz azul
  - 25 Cielos / Filtros para luz azul

- PISOS**
- 26 Piso / Acabado de piso
  - 27 Piso / Acabado de piso
  - 28 Piso / Acabado de piso
  - 29 Piso / Acabado de piso
  - 30 Piso / Acabado de piso
  - 31 Piso / Acabado de piso

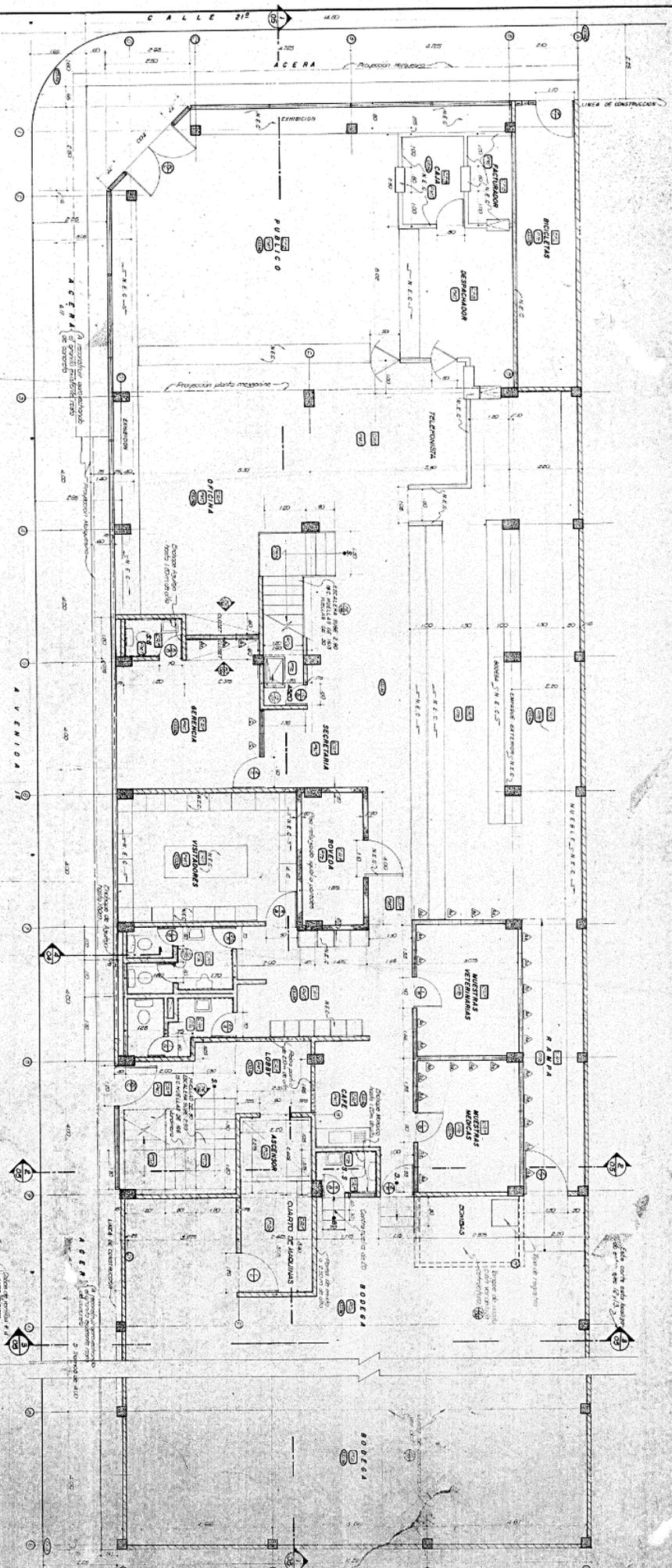
- PAREDES**
- 32 Paredes / Paredes de concreto
  - 33 Paredes / Paredes de concreto
  - 34 Paredes / Paredes de concreto
  - 35 Paredes / Paredes de concreto
  - 36 Paredes / Paredes de concreto
  - 37 Paredes / Paredes de concreto

- NOTA:**
- 1. Verificar que el sistema de ventilación sea adecuado para el tipo de ambiente.
  - 2. Verificar que el sistema de iluminación sea adecuado para el tipo de ambiente.
  - 3. Verificar que el sistema de climatización sea adecuado para el tipo de ambiente.
  - 4. Verificar que el sistema de sonido sea adecuado para el tipo de ambiente.
  - 5. Verificar que el sistema de seguridad sea adecuado para el tipo de ambiente.

- 38 Piso / Acabado de piso
- 39 Piso / Acabado de piso
- 40 Piso / Acabado de piso
- 41 Piso / Acabado de piso
- 42 Piso / Acabado de piso
- 43 Piso / Acabado de piso

**DISTRIBUCION PLANTA BAWA**

DET. PARCO BOYEDA



**CONSULTORIA**

**INTERNATIONAL AGENCIES**

**PLANTA BAWA**

NO. 22-02

02 CE

# **Anexo J**

***Estudio de Suelos del proyecto  
“Remodelación y ampliación de edificio  
de ciencias del lenguaje del  
Instituto Tecnológico de costa rica”***

San José, 27 de Noviembre del 2017.-

Señores  
**INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA**

Atn.: **Sra. Nancy Lilliana Navarro Campos**  
**ITCR**



**PROYECTO:** “REMODELACION Y AMPLIACION DE EDIFICIO DE CIENCIAS DEL LENGUAJE DEL INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA”, UBICADO EN CABALLO BLANCO, ORIENTAL, DULCE NOMBRE, CARTAGO.

Estimados Señores:

Se presenta el informe del estudio geotécnico, con formato del SETENA para formulario D-1, realizado en un terreno ubicado en Caballo Blanco, entre los distritos Oriental y Dulce Nombre, del cantón y provincia de Cartago, donde se proyecta la remodelación y ampliación del Edificio de Ciencias del Lenguaje del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

Nos solicitaron determinar los lineamientos requeridos desde el punto de vista de la mecánica de suelos, para realizar el diseño estructural de las obras por construir.

Nuestros servicios profesionales han sido efectuados de acuerdo con principios y prácticas de Ingeniería aceptados actualmente.

Asimismo, las recomendaciones de este estudio se encuentran gobernadas por las propiedades físico-mecánicas de los estratos encontrados en los sondeos exploratorios, así como por las condiciones proyectadas del manto freático, y por las características del proyecto.

Quedamos a su disposición para cualquier ampliación, aclaración, o reunión, que estimen conveniente.

Muy atentamente,

**INGENIERO**  
**C. EUGENIO ARAYA M.**  
**C-15375**  
**CI-030-14-SETENA**

**INGENIERO**  
**CARLOS E. MURILLO C.**  
**IC-27372**  
**CI-153-15-SETENA**

## 1.- DOCUMENTO DE RESPONSABILIDAD PROFESIONAL

Por medio de la presente yo C. Eugenio Araya M., portador de la cédula de identificación N° 1 - 0969 - 0986, consultor inscrito en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental y con número de registro CI-030-14-SETENA.

Declaro bajo fe de juramento y advertido de las consecuencias que con lleva, el falso testimonio, que la información técnica y científica refrendada en este informe es cierta y verídica y la misma cumple con los lineamientos técnicos y científicos que la buena práctica y la ética establecen y los mismos fueron aplicados en el trabajo que se realizó para este proyecto en el área específica de estudio refrendada, siendo la responsabilidad única de su elaboración del abajo firmante.

Firmo en San José, el día 27 de Noviembre de 2017.

**Ing. C. Eugenio Araya M.**  
**CI-030-14-SETENA**

Por medio de la presente yo Carlos E. Murillo C., portador de la cédula de identificación N° 1 - 1187 - 0716, consultor inscrito en la Secretaría Técnica Nacional Ambiental y con número de registro CI-153-15-SETENA.

Declaro bajo fe de juramento y advertido de las consecuencias que con lleva, el falso testimonio, que la información técnica y científica refrendada en este informe es cierta y verídica y la misma cumple con los lineamientos técnicos y científicos que la buena práctica y la ética establecen y los mismos fueron aplicados en el trabajo que se realizó para este proyecto en el área específica de estudio refrendada, siendo la responsabilidad única de su elaboración del abajo firmante.

Firmo en San José, el día 27 de Noviembre de 2017.

**Ing. Carlos E. Murillo C.**  
**CI-153-15-SETENA**

### 3.- RESUMEN DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES TÉCNICAS:

Como conclusión general y de acuerdo a los resultados obtenidos de las tres perforaciones realizadas, se puede considerar que este terreno es apto para la construcción del proyecto en mención, pero se deberán seguir las recomendaciones brindadas en este informe, el cual se complementa como un proyecto geotécnicamente viable como conclusión del apartado 8 "Discusión sobre los grados de incertidumbre y alcance del estudio".

Con respecto a la estratigrafía, se concluye que existe un relleno de suelo orgánico con escombros y arcilla expansiva (capa A). Debajo de éste y a partir del nivel superficial en P-1 y P-2 aparece un suelo orgánico natural de sitio (capa B) de baja calidad. Debajo de éstos continúa un perfil estratigráfico de suelos cohesivos naturales de sitio, constituido por arcillas expansivas y limos plásticos arenosos (capas C y D). (ver sección 6.1).

Para las fundaciones de las obras de ampliación por construir, se recomienda transmitir los esfuerzos a los estratos naturales y firmes de sitio que aparecen a partir de 1,80 m; 2,25 m y 2,25 m de profundidad en los sectores de P-1 a P-3 respectivamente, de los niveles actuales del terreno, pudiendo de esta forma usar 20 ton/m<sup>2</sup> de capacidad de soporte admisible (60 ton/m<sup>2</sup> a la falla) para cimientos corridos y/o aislados. Para elevar el nivel de desplante se puede efectuar por medio de un adecuado material granular de lastre o grava (ver sección 7.2.1).

En su condición actual dicho terreno se muestra estable, de ahí que se recomienda acomodar lo más posible las obras por construir a la topografía existente y aquellos cortes que generen taludes más fuertes que lo indicado en la sección 7.2.4.1, o la conformación de rellenos altos, confinarlos con muros de retención, para de esa forma ayudar a disminuir el inicio de movimientos por desplazamientos (ver sección 7.2.4).

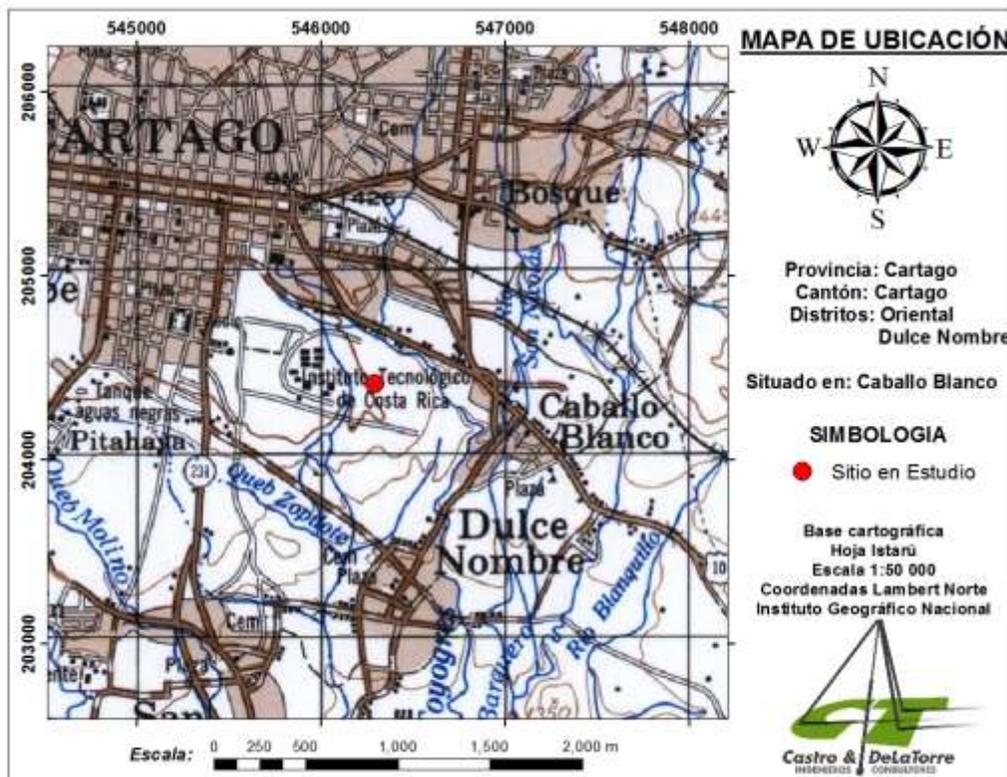
Para los pisos de las obras por construir, lo óptimo cuando existen suelo orgánico (capa B) y arcillas expansivas naturales de sitio (capa C), es eliminarlos por completo, pero debido al alto costo económico que ello implicaría, y para ayudar a disminuir el riesgo por altos asentamientos y movimientos de contracción y expansión en los pisos de la obra, se recomienda sustituir como mínimo 0,75 m de espesor de los suelos superiores por un buen material granular (lastres o gravas), compactado en capas al 95% del Próctor estándar, y sobre este buen relleno, proceder al colado de las losas de piso con concreto armado, proponiendo que éstas queden desligadas de las paredes. (Ver Sección 7.2.5).

Se recomienda en el proceso de construcción solicitar los servicios de un técnico en mecánica de suelos, para que pueda revisar todos los fondos de las excavaciones para las placas, para de esa forma verificar que se están apoyando en los estratos propuestos en este informe. De encontrarse suelos distintos en algún sector, se deberán efectuar algunas perforaciones adicionales, y la revisión profesional correspondiente.

## 4.- INTRODUCCION:

### 4.1.- Datos sobre el terreno:

Nuestra empresa fue contratada por el Instituto Tecnológico de Costa Rica para efectuar un estudio geotécnico según la cotización #2017-11-4725 (pre-orden #107666). Dicha cotización fue aprobada el día 13 de Noviembre del año 2017, y fue entonces cuando se procedió a programar los trabajos de campo. Estos fueron efectuados en un terreno ubicado en Caballo Blanco, entre los distritos Oriental y Dulce Nombre, en el cantón y provincia de Cartago, con número de plano catastrado 3-1895719-2016, con 46ha 1285 m<sup>2</sup> de área, donde se proyecta la remodelación y ampliación del Edificio de Ciencias del Lenguaje del Instituto Tecnológico de Costa Rica.



**Figura #4.1.1: Ubicación del Proyecto.**

La topografía del terreno donde se proyecta construir la obra, presenta una terraza plana, con un talud de moderada pendiente descendente hacia el costado este, y un talud de suave pendiente ascendente hacia el costado norte de la terraza donde se construirá la ampliación del edificio.

El terreno actualmente se encuentra limpio para construir. No existen edificaciones en la zona propia donde se efectuaron las perforaciones, pero existen varias edificaciones del ITCR en los alrededores, y se observan edificaciones en algunas de las colindancias del terreno.

## 4.2.- Coordinación profesional:

Las perforaciones fueron ubicadas según plano adjunto por los profesionales de CASTRO & DE LA TORRE S.A. y por medio del sistema GPS, coordinados por el Supervisor Técnico de perforación, el Sr. Rafael Rojas, el cual fue el encargado de los trabajos de campo.

El trabajo de campo fue realizado el día 14 de Noviembre por el Técnico Omer Ramírez, bajo la dirección del Supervisor Técnico de Perforación, Rafael Rojas. El programa de laboratorio fue ejecutado por los Técnicos Bryan Salazar y Daniel Agüero, bajo la dirección del Quím. Luis Diego Moreira, Supervisor Técnico de Laboratorio. La preparación de este informe fue supervisada por el Ing. Eugenio Araya, Gerente Técnico de Laboratorio, el Ing. Carlos Murillo, Supervisor de Ingeniería y el Gerente General de la empresa.

## 4.3.- Objetivos del estudio:

- ✓ Determinar la estratigrafía y capacidad del subsuelo para apoyar la toma de decisiones sobre el proyecto.
- ✓ Brindar recomendaciones en base a los diferentes problemas de aplicación a la ingeniería, en lo que se refiere a la construcción de obras civiles, principalmente las fundaciones y otros aspectos importantes.

## 4.4.- Metodología aplicada:

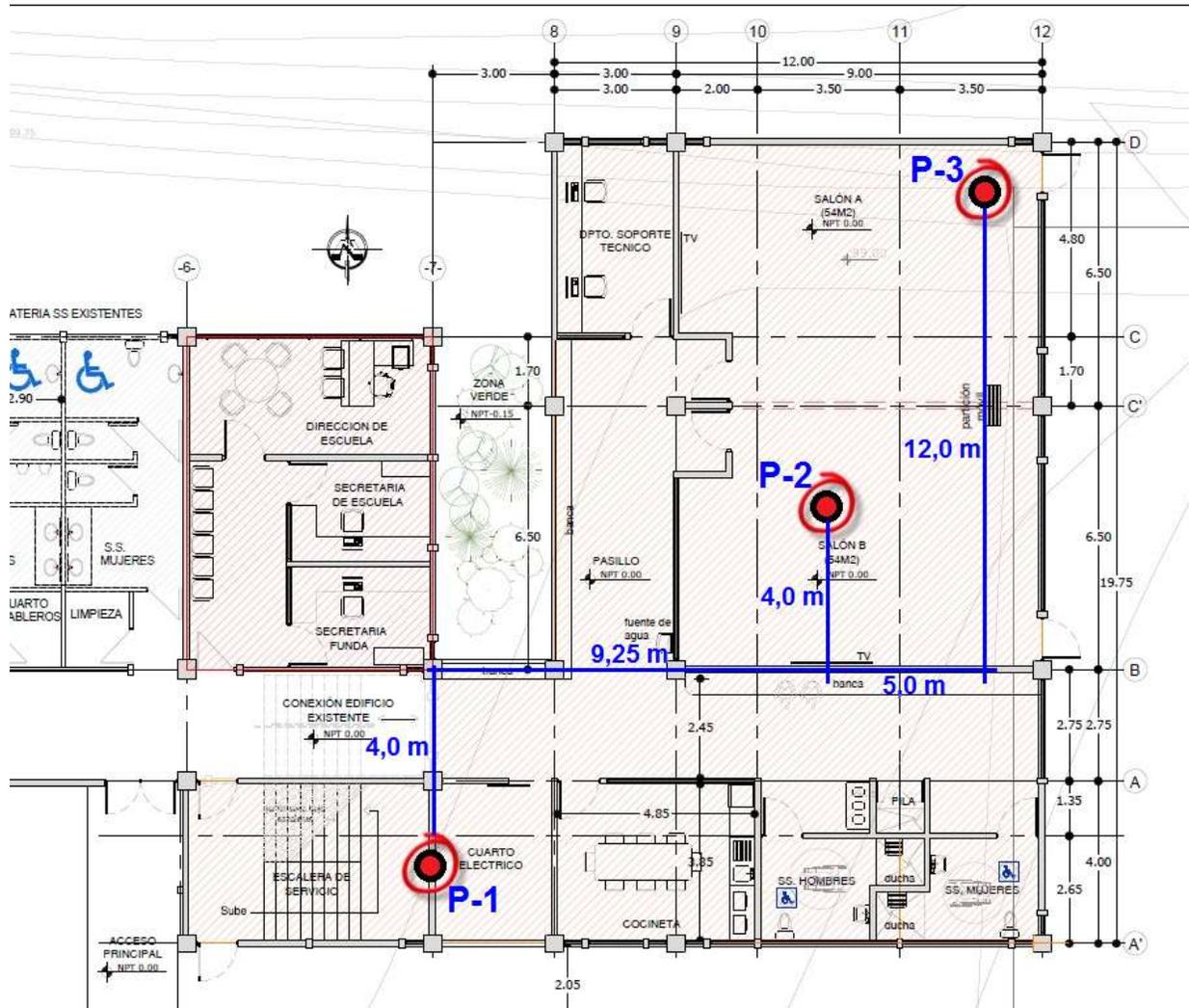
Las perforaciones realizadas se llevaron a cabo mediante el sistema de penetración estándar (norma internacional ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16\*), llevando el registro continuo del valor de "N", tomando muestras alteradas cada 0,45 m; para luego ser llevadas al laboratorio.

El sistema de penetración estándar, SPT (Standard Penetration Test), consiste en recolectar muestras alteradas de los estratos del subsuelo de sitio, por medio de liners de bronce, los cuales se introducen en un muestreador de acero, el mismo se adjunta a una barra de acero y la misma es hincada por medio de un mazo de 140 lb de peso, que cae desde una altura de 0,76 m; extrayendo las muestras de suelo cada 0,45 m; en 3 tramos de 0,15 m cada uno, y contando el número de golpes de cada tramo, para luego obtener el valor de  $N_{spt}$ , que es la suma del número de golpes de los dos últimos tramos y de esa forma relacionar este valor del  $N_{spt}$  y las características de resistencia de los suelos y sus propiedades físicas.

Cuando los suelos son muy duros y se necesita perforar hasta una determinada profundidad, en lugar de usar el sistema de penetración estándar, se utilizan los trépanos de punta de acero (cono dinámico), para llegar a las profundidades necesarias, verificar la continuidad de soporte de los estratos, y traspasar estratos que contienen piedras pequeñas, para luego continuar con el sistema de perforación estándar, en algunos casos cuando el trépano de punta no sirve para traspasar los estratos duros, se utilizan perforaciones a rotación con diamante.

## 5.- TRABAJO REALIZADO:

### 5.1.- Plano de ubicación de perforaciones:



## 5.2.- Trabajo realizado:

Se efectuaron tres perforaciones mediante la metodología de perforación a percusión estándar SPT (ASTM D-1586, Instrucción de Ensayo IE-16\*) y trépanos de punta (cono dinámico) ubicadas según plano adjunto y por medio del sistema GPS, tomando muestras alteradas a cada 0,45 m de profundidad.

Las profundidades alcanzadas en cada sondeo exploratorio se presentan en la siguiente tabla y su ubicación puede observarse en la sección 5.1 y anexo B.

### 5.2.1.- Tabla de sondeos exploratorios realizados y su profundidad respectiva

Sondeo	Profundidad (m)
P-1	3,70 (RM)
P-2	2,85 (RM)
P-3	3,20 (RM)

RM= rebote del mazo en piedras.

A las muestras obtenidas del proceso de perforación se les procedió a realizar los siguientes ensayos.

- ✓ Compresión inconfiada (cohesión) (ASTM D-2166, Instrucción de ensayo IE-33\*)
- ✓ Densidad seca (ASTM D-2937\*\*)
- ✓ Humedad natural (AASHTO T-265, Instrucción de ensayo IE-06\*)
- ✓ Límites de Atterberg (ASTM D-4318, Instrucción de ensayo IE-15\*)
- ✓ Análisis granulométrico (ASTM D-1140\*\*)

Los resultados obtenidos de las muestras ensayadas fueron analizados en el departamento de ingeniería de acuerdo a técnicas adecuadas, y procediendo a la redacción del presente informe.

### 5.2.2.- Coordenadas de ubicación de las perforaciones:

Para una mejor referencia se tomaron las medidas aproximadas de ubicación de las pruebas por medio del sistema de GPS, las cuales se detallan a continuación:

Perforación	Coordenadas internacionales WGS84	
	Latitud Norte	Longitud Oeste
P-1	9°51'17,20"	-83°54'27,88"
P-2	9°51'17,47"	-83°54'27,58"
P-3	9°51'17,73"	-83°54'27,40"

## 5.3.- Geología de la zona:

### 5.3.1.- Geología Regional:

La geología de los alrededores de Tejar del Guarco y Agua Caliente de Cartago está dominada por materiales epiclásticos, aluviales con rocas sedimentarias y volcánicas de basamentos, principalmente con la presencia de la formación Reventado y Coris. Según Krushensky (1970), en esta zona afloran la Fm. Peña Negra, Fm. San Miguel, Fm. Coris, y unos Depósitos Fluviolacustres y flujos de lodos, sobre los cuales se localiza el proyecto.

#### Formación Peña Negra

Krushensky (1970) clasificó estas rocas como parte de la Formación Térraba; sin embargo, actualmente se considera que pertenecen a la Formación Peña Negra o Pacacua, la cual consiste de areniscas medias, finas y lutitas color gris, verde oscuro y verde claro a blanco, que forman una colina aislada al sur de Tejar del Guarco.

#### Formación Coris

Esta formación aflora en una pequeña colina al sur de Tejar, al oeste de Hervidero, y al sur de Tobosi. Consiste en areniscas arcillosas y lutitas de color rojo a amarillo, (Krushensky, 1970). Localmente la roca se compone de areniscas cuarzosas bien sorteadas, de grano medio y color blanco a gris amarillento o púrpura. El contenido de arcilla es bajo con litoclastos aislados de origen volcánico. El espesor de esta formación es de 380m, con laminaciones muy bien estratificadas.

#### Formación San Miguel

Esta formación aflora en una pequeña colina al sur de Tejar, se compone de una caliza cristalina fina a media, de color gris pálido azulado en superficies sanas, y color claro en superficies meteorizadas, (Krushensky, 1970).

#### Formación Reventado Superior

Se trata de una serie de coladas de lava andesítica augítica grises, bastante aféricas y algunas veces vesiculares, interestratificados con lahares café claro ligera a profundamente meteorizados y capas de ceniza y tobas ligeramente lapillíticas.

#### Depósitos Fluviolacustres

Estos depósitos fluviolacustres consisten en arenas finas y limos, incluidos las gravas, arenas y limos del Valle de Ujarrás y hasta la unión de los ríos Agua Caliente y Navarro (Krushensky, 1970). Estos depósitos son inconsolidados y generalmente bien estratificados, y localmente bien sorteados con grava, arena y limo. Los fragmentos de roca que contienen estos depósitos poseen una forma sub-redondeada a bien redondeada.

## Aluvión de Cartago

Se denomina así a un depósito coluvio aluvial de pie de monte formado por limos, arenas y gravas sin selección ni estratificación.

## Flujo de Lodo San Nicolás

Se relaciona con los depósitos de materiales arrastrados por el río Reventado en 1963 a 1965. Se trata de flujos de lodos constituido por limos, arenas y gravas sin selección ni estratificación.

## 6.- RESULTADOS GEOTECNICOS:

### 6.1.- Perfil estratigráfico del terreno:

Los que se refieren a las pruebas de laboratorio, se muestran en las hojas de perfil de perforaciones que se adjunta a este informe en el anexo C y se resumen en el aparte 6.2. En general el perfil de suelo detectado en las tres perforaciones realizadas y su clasificación por consistencia de acuerdo con Terzaghi y Peck<sup>1</sup>, es el siguiente:

CAPA	Perforación	Profundidad, m	Descripción
A	P-3	0,00 a 0,45	Relleno artificial heterogéneo de suelo orgánico de color negro con escombros y vetas de arcilla expansiva de color gris.
<b>Características físico-mecánicas</b>			
Material de baja calidad.			

CAPA	Perforación	Profundidad, m	Descripción
B	P-1	0,00 a 0,45	Suelo orgánico de color café oscuro.
	P-2	0,00 a 0,25	
	P-3	0,45 a 0,90	
<b>Características físico-mecánicas</b>			
Material de baja calidad.			

<sup>1</sup> Terzaghi, Karl y Ralph B. Peck. "Soil mechanics in engineering practice". Wiley, New York.

CAPA	Perforación	Profundidad, m	Descripción
C	P-1	0,45 a 1,80	Arcilla expansiva de color gris con pintas rojizas, de consistencia variable entre blanda a media.
	P-2	0,25 a 2,10	
	P-3	0,90 a 2,10	
<b>Características físico-mecánicas</b>			
Límite líquido (LL):			84
Índice plástico (IP):			50
Peso unitario húmedo, $\gamma_{\text{suelo}}$ (ton/m <sup>3</sup> ):			1,75
% pasando la malla # 4:			100
% pasando la malla # 40:			95
% pasando la malla # 200:			92
Cohesión, C (kg/cm <sup>2</sup> ):			0,31
Clasificación según SUCS:			CH

CAPA	Perforación	Profundidad, m	Descripción
D	P-1	1,80 a 3,70	Limo plástico arenoso de color café claro a café amarillento con vetas grises y piedras, de consistencia variable entre semidura, dura y rígida.
	P-2	2,10 a 2,85	
	P-3	2,10 a 3,20	
<b>Características físico-mecánicas</b>			
Límite líquido (LL):			58
Índice plástico (IP):			24
Peso unitario húmedo, $\gamma_{\text{suelo}}$ (ton/m <sup>3</sup> ):			1,74
% pasando la malla # 4:			91
% pasando la malla # 40:			75
% pasando la malla # 200:			53
Cohesión, C (kg/cm <sup>2</sup> ):			0,63 – 1,39 (0,88)
Clasificación según SUCS:			MH-SM

**Nota 1:** Debido a la cantidad de piedras y dureza de este estrato, no fue posible avanzar a mayor profundidad, con el sistema de perforación estándar ni con los trépanos de punta.

## 6.2.- Clasificación unificada de suelos (ASTM D-2487 \*\*):

Basado en las pruebas de laboratorio y en la observación visual de las muestras extraídas y ensayadas, se clasifican los suelos encontrados de la siguiente forma:

Capa	C	D
<b>Límites de Atterberg: ASTM D-4318</b>		
<b>Instrucción de ensayo IE-15*</b>		
<b>Límite líquido</b>	84	58
<b>Índice plástico</b>	50	24
<b>Límite contracción, %</b>	19	11
<b>Granulometría: ASTM D-1140**</b>		
<b>Malla</b>	<b>% pasando</b>	<b>% pasando</b>
<b>4,75 mm (#4)</b>	100	91
<b>0,425 mm (#40)</b>	95	75
<b>0,075 mm (#200)</b>	92	53
<b>Contenido de arena %</b>	8	47
<b>Clasificación unificada: ASTM D-2487**</b>	CH	MH-SM

## 6.3.- Nivel freático:

Durante el proceso de perforación no se detectó presencia del nivel freático, a las profundidades estudiadas, y a partir de los niveles actuales de terreno, en esta época del año.

Las condiciones freáticas de cada perforación se muestran en la siguiente tabla:

### 6.3.1.- Tabla de profundidad del nivel freático:

Sondeo	Profundidad Nivel Freático (m)
P-1	ND
P-2	ND
P-3	ND

**ND: No se detectó.**

De acuerdo con las observaciones efectuadas el manto freático NO fue detectado hasta la profundidad máxima explorada. Sin embargo, si fuera un parámetro de relevancia para el proyecto el conocer si existen flujos de entrada lenta en las perforaciones; a su solicitud podríamos efectuar sondeos adicionales para insertar piezómetros, para posteriormente realizar mediciones periódicas del nivel de agua, tanto en verano como en invierno.

## 7.- EVALUACION DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES GEOTECNICAS:

En este apartado se describen los diferentes análisis realizados tales como: sistema de cimentación, nivel de desplante, capacidad de soporte admisible, asentamientos y otros asuntos asociados con el diseño y construcción de las obras de cimentación.

### 7.1.- Capacidad de soporte admisible del subsuelo:

Se realizó un análisis de capacidad de soporte admisible neta de los estratos del subsuelo de las tres perforaciones realizadas, para lo cual utilizamos una fórmula para suelos cohesivos por el método de Meyerhof, por medio del valor de cohesión y correlacionándola además con el valor de  $N_{spt}$ .

Los valores de capacidad presentados en la tabla siguiente, indican la conveniencia de transmitir los esfuerzos de las obras por construir, a los estratos naturales y firmes de sitio, pudiendo usar cimentaciones convencionales.

#### 7.1.1.- Tabla de capacidad de soporte admisible neta: (F.S.= 3,0)

Perforación #	Profundidad del estrato Metros (m)	Capacidad Soporte Admisible Neta <sup>(1)</sup> ton/m <sup>2</sup>
P-1	0,50 a 1,80	5 <sup>(a)</sup>
	1,80 a 3,70	20
P-2	0,50 a 2,10	5 <sup>(a)</sup>
	2,10 a 2,25	10
	2,25 a 2,85	20
P-3	0,50 a 2,10	5 <sup>(a)</sup>
	2,10 a 2,25	10
	2,25 a 3,20	20

<sup>(a)</sup> Dado que estos suelos son el resultado de arcillas expansivas naturales de sitio, no se recomienda apoyar cimentaciones convencionales directamente sobre ellas, debido al riesgo de altos movimientos de contracción y expansión.

<sup>(1)</sup> Estos valores de capacidad soportante admisible presentan un factor de seguridad (FS) de 3,0 contra la falla por cortante del suelo y garantiza que bajo la presión de fundación recomendada los asentamientos no serán mayores que los máximos permisibles.

## 7.2.- Conclusiones y Recomendaciones:

### 7.2.1.- Cimentaciones:

Para las fundaciones de las obras de ampliación por construir, se recomienda transmitir los esfuerzos a los estratos naturales y firmes de sitio que aparecen a partir de 1,80 m; 2,25 m y 2,25 m de profundidad en los sectores de P-1 a P-3 respectivamente, de los niveles actuales del terreno, pudiendo de esta forma usar 20 ton/m<sup>2</sup> de capacidad de soporte admisible (60 ton/m<sup>2</sup> a la falla) para cimientos corridos y/o aislados. *Para lograr un nivel parejo y más superficial de desplante de los cimientos, se recomienda excavar hasta las profundidades recomendadas, para luego rellenar con un buen material granular (lastres o gravas) que cumplan las normas de sub-base del CR-2010 del MOPT (ver tabla 7.2.5.1), compactado en capas al 95% del próctor estándar o usar una toba-cemento de 21 Kg/cm<sup>2</sup> de resistencia a la compresión a los 7 días de edad, elevando dicho buen relleno hasta las profundidades deseadas del nivel de desplante, para sobre este buen relleno apoyarlas.*

### 7.2.2.- Asentamientos:

Un análisis de asentamientos requiere la realización de ensayos especiales. Sin embargo si se siguen las estipulaciones con respecto a capacidad de soporte y niveles de desplante del apartado anterior, se descartan asentamientos que puedan de alguna manera causar un daño estructural a las futuras edificaciones. Adicionalmente al transmitirse los esfuerzos de las fundaciones de las obras por construir a los estratos naturales de sitio con resistencias iguales a 20 ton/m<sup>2</sup> de capacidad de soporte admisible, no será de esperar problemas por asentamientos mayores a 1,0 cm.

### 7.2.3.- Licuefacción bajo sismos:

Este fenómeno tiene un efecto en el suelo que hace que éste pierda la resistencia al corte y se comporte como un fluido viscoso. Esto se da debido a alguna carga sísmica que se transmite al suelo y éste debido a ciertas características presenta un aumento en la presión de los poros, que implica una disminución en el esfuerzo efectivo.

Basados en la teoría de SEED E IDRIS, para que se produzca el estado de licuefacción bajo fuertes sismos (aceleración máxima mayor a 0,15 g); es necesario que en los suelos se presenten las siguientes condiciones simultáneamente:

- 
- Arenas finas con granulometría específica (menos de un 20% de finos).
  - Que las arenas estén sumergidas bajo el nivel freático.
  - Que el  $N_{spt}$  sea inferior a 25 golpes/pie.
  - Que el espesor de la capa sea superior a 1,0 m.
- 

Para este caso en particular se descarta que se presente dicho fenómeno debido a la presencia de suelos cohesivos.

## 7.2.4.- Estabilidad local de las obras:

En su condición actual dicho terreno se muestra estable, de ahí que se recomienda acomodar lo más posible las obras por construir a la topografía existente y aquellos cortes que generen taludes más fuertes que lo indicado en la sección 7.2.4.1, o la conformación de rellenos altos, confinarlos con muros de retención, para de esa forma ayudar a disminuir el inicio de movimientos por desplazamientos.

Será de suma importancia darle un adecuado encauzamiento por medio de canales revestidos con concreto y drenajes a las aguas pluviales y servidas del proyecto, para de esa forma evitar que escurran libremente por el terreno, y mantener una adecuada vegetación, para de esa forma ayudar a disminuir los riesgos de erosión e inestabilidad.

Se deberá estar vigilante a que en los terrenos aledaños, no se altere la condición natural del terreno, ya que ello podría iniciar un proceso de movimientos. En todo caso, de efectuarse cortes fuertes en dicho terreno o en las colindancias, se recomienda confinarlos por medio de muros de retención.

### 7.2.4.1.- Conformación de taludes en corte:

Para conformar taludes de poca altura lo más estables posibles en cortes, se recomienda acostar los estratos de las capas A, B y C como máximo a una inclinación de 3,0 : 1,0 (Horizontal: Vertical), y al estrato de la capa D darle una gradiente máxima 2,0 : 1,0 (H: V), debiendo evitar por completo el escurrimiento e infiltración de aguas pluviales y servidas, ya que ello ocasionaría erosionamiento, y por ende desestabilizaría los taludes.

Aquellos tramos del talud que pudieran quedar conformados con las arcillas expansivas de sitio (capa C), además de evitar la saturación, se debe también evitar lo contrario, o sea el resecamiento, ya que si éste se da, se agrietan dichos mantos arcillosos, y se desprenden de los taludes en forma de bloques. O sea, que para ayudar a evitar ambas condiciones, es necesario proteger dichos taludes por medio de vegetación idónea, o similar.

Si por motivo de espacio no pudieran conformar los taludes con las gradientes recomendadas, estos se podrían proteger total o parcialmente su altura, por medio de muros de retención, o una combinación muro-talud.

## 7.2.5.- Pisos del edificio:

Para los pisos de las obras por construir, lo óptimo cuando existen suelo orgánico (capa B) y arcillas expansivas naturales de sitio (capa C), los cuales aparecen hasta que aparecen hasta 1,80 m; 2,10 m y 2,10 m de profundidad en los sectores de P-1, P-2 y P-3 respectivamente, es eliminarlos por completo, pero debido al alto costo económico que ello implicaría, y para ayudar a disminuir el riesgo por altos asentamientos y movimientos de contracción y expansión en los pisos de la obra, se recomienda sustituir como mínimo 0,75 m de espesor de los suelos superiores por un buen material granular (lastres o gravas) que cumpla con algunas de las normas de calidad de sub-base del CR-2010 del MOPT (ver tabla 7.2.5.1), compactado en capas al 95% del Próctor estándar, y sobre este buen relleno, proceder al colado de las losas de piso con concreto armado, proponiendo que éstas queden desligadas de las paredes.

*"Se recomienda que el nivel de piso terminado quede a una altura mayor a las áreas externas de los jardines o similar, para con ello evitar problemas de humedad y filtración de aguas hacia los pisos y paredes".*

Además, se recomienda tomar en consideración que cuando se unen una construcción existente con una ampliación, usualmente se agrieta en la junta, ello se debe a que la existente ya sufrió los asentamientos normales que tenían que darse y la nueva aún no. En algunos casos algunos estructurales prefieren separar estructuralmente ambas partes, para de esa forma evitarse este tipo de problema.

### 7.2.5.1.- Tabla de especificaciones para material utilizado como sub-base<sup>2</sup>:

Ítem	Especificación CR-2010 MOPT	
Límite líquido	≤25	
Índice plástico	≤4	
Índice de soporte (CBR)	≥30 al 95% de compactación	
	<b>Graduación (A)</b>	<b>Graduación (B)</b>
<b>Malla</b>	<b>% pasando</b>	<b>% pasando</b>
<b>63 mm (2½")</b>	100	----
<b>50 mm ( 2")</b>	97 – 100	100
<b>37,5 mm (1½")</b>	----	97 – 100
<b>25 mm (1")</b>	65 – 79	----
<b>12,5 mm (½")</b>	45 – 59	----
<b>4,75 mm (# 4)</b>	28 – 42	40 – 60
<b>0,425 mm (#40)</b>	9 – 17	----
<b>0,075 mm (# 200)</b>	4 – 8	4 – 12

<sup>2</sup> Tomado de: "Manual de Especificaciones Generales para la Construcción de Caminos, Carreteras y Puentes, CR – 2010".

## 7.2.5.2.- Recomendaciones para mitigar los efectos de suelos expansivos:

Dada la presencia en este terreno de suelos de alta compresibilidad (capa C), y los efectos que eventualmente tendrían en los pisos de las obras por construir debido a cambios de humedad, se deberán tomar en cuenta los siguientes aspectos básicos:

- 
- a) Iniciar las labores de construcción al final de la estación lluviosa (invierno), efectuándola en el menor tiempo posible.

---

  - b) En el perímetro de la obra construir una acera de 1,0 m mínimo de ancho, para evitar con ello las filtraciones de agua directamente sobre el área de los cimientos o pisos.

---

  - c) Evitar por medio de la colocación de canoas, que las aguas pluviales producto de precipitaciones se deslice directamente sobre las paredes.

---

  - d) En las cercanías de la obra no sembrar árboles de raíz profunda, dado que el contenido de humedad del suelo podría verse afectado por las raíces de los mismos.

---

  - e) Las zanjas de drenaje del proyecto no deberán colocarse de forma paralela a las paredes de la obra.

---

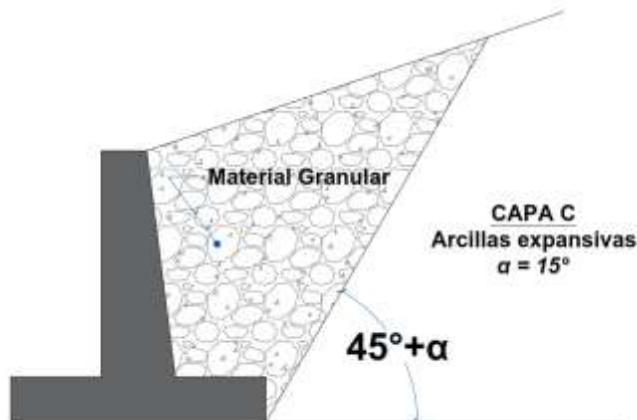
  - f) Será de suma importancia darle un adecuado encauzamiento por medio de canales y drenajes a las aguas pluviales y servidas, para de esa forma evitar la acumulación de agua en las colindancias de la obra.
- 

## 7.2.6.- Fuerzas Laterales: (Muros de retención)

### Capas A, B y C:

Como la capa C está compuesta por suelos altamente compresibles y para evitar problemas de empuje lateral contra el muro por hinchamiento de las arcillas expansivas, se recomienda sustituir la cuña de arcillas adyacentes al muro, con un material granular compactado al 91% del próctor estándar. Esta cuña sube de la placa hacia adentro con una gradiente de 45 grados, más el ángulo de fricción interna del suelo expansivo (ver esquema al pie del párrafo). Se debe además construir un drenaje vertical en todo el paramento interno del muro, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas. Así para el cálculo del empuje lateral del material granular (lastre o piedra triturada de chorro con CBR mínimo de 30, no plástico, y bien graduado) que conformarán en dicha cuña del muro y usando la teoría de Rankine, se pueden usar los siguientes parámetros:

Peso unitario húmedo estimado:	2,00 ton/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción interna a futuro estimado:	30°
Coeficiente de presión activa, K <sub>A</sub> :	0,33
Coeficiente de presión pasiva, K <sub>P</sub> :	3,00
Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral	
Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.	



## Capa D

Para mejorar el contacto vertical suelo muro se propone colocar en el paramento interno del muro 30 cm de espesor de una piedra triturada, la que si se le deja una adecuada salida al agua, podrá aliviar eventuales presiones hidrostáticas. Así, para el cálculo del empuje lateral de los suelos, contra muros de retención, usando la teoría de Rankine, se pueden usar los siguientes parámetros:

Peso unitario húmedo:	1,74 ton/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción interna a futuro estimado:	20°
Coeficiente de presión activa, K <sub>A</sub> :	0,49
Coeficiente de presión pasiva, K <sub>P</sub> :	2,04
Coeficiente de fricción suelo-placa:	0,35

Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral

Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.

Los cimientos de los muros o muros-pared colocados en un plano horizontal del terreno en el pie del talud, deberán estar apoyados en los estratos naturales y firmes de sitio de 20 ton/m<sup>2</sup> de capacidad de soporte admisible (Ver tabla 7.1.1).

## Relleno de material granular compactado al 95% St

Peso unitario húmedo estimado:	2,00 ton/m <sup>3</sup>
Ángulo de fricción interna a futuro estimado:	30°
Coeficiente de presión activa, $K_A$ :	0,33
Coeficiente de presión pasiva, $K_P$ :	3,00
Valor de cohesión a futuro nulo, para el empuje lateral	
Se recomienda construir un drenaje en el paramento interno de los muros, para de esa forma evitar eventuales presiones hidrostáticas.	

### 7.2.7.- Rellenos:

Para conformar rellenos de buena calidad, se recomienda eliminar por completo los estratos de relleno de suelo orgánico, el suelo orgánico natural de sitio y la arcilla expansiva natural de sitio (capas A, B y C), y luego banquear el suelo natural de sitio, para evitar conformar rellenos sobre planos inclinados de falla. El suelo natural de sitio de la capa D, se podrían usar para conformar rellenos en las épocas de verano, que es cuando se puede lograr control de la humedad óptima para compactarse en capas al 95% del próctor estándar.

Para efectuar rellenos en cualquier condición climatológica, se tendrá que usar materiales granulares (lastres o gravas) ya que con éstos se logran humedades adecuadas de compactación con mayor facilidad que con suelos cohesivos.

Si requieren apoyar cimentaciones sobre rellenos artificiales, se recomienda efectuar un estudio de suelos con perforaciones complementarias y ensayos de consolidación, una vez conformado dicho relleno, para de esa forma cuantificar la capacidad de soporte admisible del mismo y el grado de asentamientos, considerando su estado saturado.

### 7.2.8.- Coeficiente sísmico:

Para determinar el coeficiente sísmico a utilizar en el diseño de la estructura por construir y de acuerdo al capítulo 2 (secciones 2.1 y 2.2) y al capítulo 5, del Código Sísmico de Costa Rica 2010, el proyecto se ubica en la *zona sísmica III* y los suelos de sitio clasifican como Tipo  $S_3$ , por lo que se deberá de utilizar para el *factor espectral dinámico* (FED) la **Figura 5.7**.

El valor de aceleración pico efectiva de diseño para un periodo de retorno de 475 años para la zona en estudio es  $a_{ef} = 0,36$ .

# Referencias

- Acuña, R. (23 de Octubre de 2010). Prevención por medio del Código Sísmico de Costa Rica. *La Nación*. Obtenido de [http://www.nacion.com/archivo/Prevencion-Codigo-Sismico-Costa-Rica\\_0\\_1300870026.html](http://www.nacion.com/archivo/Prevencion-Codigo-Sismico-Costa-Rica_0_1300870026.html)
- Alavarenga, M., García, C., & Pérez, K. (2017). *Propuesta de Índice de Daño estructural para cuantificar el nivel de afectación en estructuras en zonas urbanas después de un sismo*. Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil, San Salvador. Obtenido de <file:///F:/PG/Proyecto%20de%20Graduación/Tesis%20Propuesta%20de%20índice%20de%20daño%20estructural%20para%20cuantificar%20el%20nivel%20de%20afectación%20en%20estructuras%20en%20zonas%20urbanas%20después%20de%20un%20sismo.pdf>
- Alhama, I., Ballesteros, J., Blázquez, R., Frías, A., Gómez, J., Guzmán, J., & Huesca, J. (2015). *Evaluación Rápida de daños en Emergencias* (Primera ed.). Murcia, España.
- Andrade, J. A. (2016). *Manual de Evaluación Estructural de Edificaciones Post Evento Sísmico Basado en el ATC 20-1*.
- Applied Technology Council. (1998). *FEMA 306. Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings*. Washington D.C.
- Applied Technology Council. (1995). *ATC-20-2. Addendum to the ATC-20 Postearthquake Building Safety Evaluation Procedures*. National Science Foundation. Obtenido de <https://www.atccouncil.org/pdfs/ATC202toc.pdf>
- Applied Technology Council. (2005). *ATC-20 Procedures for Postearthquake Safety Evaluation of Buildings*. Applied Technology Council. Obtenido de <https://www.atccouncil.org/pdfs/DETAIL.PDF>
- Aragón, J., Flores, L., & López, Ó. (2011). *Manual Formato Captura de Datos para Evaluación Estructural*. Sistema Nacional de Protección Civil. Obtenido de [http://www.cenapred.unam.mx/es/RedNacionalEvaluadores/EvaluacionEdificios/documentos/Manual%20Formato%20Captura%20de%20Datos\\_2011-febrero-24.pdf](http://www.cenapred.unam.mx/es/RedNacionalEvaluadores/EvaluacionEdificios/documentos/Manual%20Formato%20Captura%20de%20Datos_2011-febrero-24.pdf)
- Arguedas, C., & Parrales, F. (12 de Marzo de 2009). Tres fuertes temblores causan pánico y daños leves en el sur. *La Nación*. Obtenido de [http://www.nacion.com/ln\\_ee/2009/marzo/12/sucesos1902313.html](http://www.nacion.com/ln_ee/2009/marzo/12/sucesos1902313.html)
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica (AIS). (2011). *Guía de Patologías Constructivas Estructurales y No Estructurales*. Fondo de Prevención y Atención de Emergencias de Bogotá, Bogotá. Obtenido de [https://www.elespectador.com/files/pdf\\_files/f938a83978ecae571b3713873fad1224.pdf](https://www.elespectador.com/files/pdf_files/f938a83978ecae571b3713873fad1224.pdf)
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2001). *Manual de construcción, evaluación y rehabilitación sismo resistente de estructuras de mampostería*. Obtenido de [http://www.desenredando.org/public/libros/2001/cersvm/mamposteria\\_lared.pdf](http://www.desenredando.org/public/libros/2001/cersvm/mamposteria_lared.pdf)
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2002). *Guía Técnica para Inspección de Edificaciones después de sismo*. Bogotá. Obtenido de <http://www.idiger.gov.co/documents/2018/2/112614/Manual+y+gu%C3%ADa+de+inspecci%C3%B3n+de+edificaciones+despu%C3%A9s+de+un+sismo.pdf/2bc93849-bfa6-49df-af40-b91ff66cf208>

- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2011). *Guía de Patologías constructivas, estructurales y no estructurales*.
- Astroza, M., Ruiz, S., Astroza, R., & Molina, J. (2012). *Intensidades sísmicas*. Obtenido de <http://dgf.uchile.cl/~sruiz/Papers/books/107-126.pdf>
- Baggio, C., Bernardini, A., Corazza, R. C., Marianna Della Bella, G. D., Goretti, M. D., Orsini, A. M., . . . Zuccaro, G. (2007). *Field Manual for post-earthquake damage and safety assessment and short term countermeasures (AeDES)*. Institute for the Protection and Security of the Citizen , European Commission . Obtenido de [https://www.eeri.org/wp-content/uploads/Italy/EUR%2022868%20\(2007\)%20Field%20Manual%20for%20post-earthquake%20damage%20assessment.pdf](https://www.eeri.org/wp-content/uploads/Italy/EUR%2022868%20(2007)%20Field%20Manual%20for%20post-earthquake%20damage%20assessment.pdf)
- Bartolomé, Á. S., Quiun, D., & Silva, W. (Diciembre de 2011). *Comentarios relativos al tipo de falla en los muros de concreto de edificios chilenos en el sismo del 27 de febrero de 2010*. Obtenido de SciELO: [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2007-30112011000200004](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2007-30112011000200004)
- Becerra, B. (2017). *Identificación de los daños estructurales provocados por los sismos*. Obtenido de [http://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/identificaciondan%C3%9Eos\\_estructurales.pdf](http://arquitectura.unam.mx/uploads/8/1/1/0/8110907/identificaciondan%C3%9Eos_estructurales.pdf)
- Benito, B., & Cabañas, L. (1999). Caracterización del movimiento del suelo en ingeniería sísmica. *Física de la Tierra*, 49-79. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/360551356/38807763-pdf>
- Benito, B., & Jiménez, E. (1999). Pelgrosidad Sísmica. *Física de la Tierra*, 13-47. Obtenido de <https://revistas.ucm.es/index.php/FITE/article/viewFile/FITE9999110013A/12067>
- Bonnet. (2015). *Comportamiento sísmicos de edificios de mampostería no reforzada*.
- Briceño, A., & Carreras, N. (2013). *Análisis y diseño de muros estructurales de concreto, considerando las experiencias de los terremotos de Chile 2010 y Nueva Zelanda 2011*. Universidad Católica Andrés Bello, Escuela de Ingeniería Civil. Obtenido de [http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci38\\_38236\\_teg\\_muros\\_estructurales\\_segun\\_chile\\_2010\\_y\\_nz\\_2011.pdf](http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci38_38236_teg_muros_estructurales_segun_chile_2010_y_nz_2011.pdf)
- Bustos, A. (2003). *Análisis Comparativo de la Respuesta Sísmica Entre Edificios en Altura de Acero en Base a Marcos de Momento y Marcos Arriostrados en el Núcleo y en Base a Marcos de Momento y Núcleo de Hormigón Armado*. Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2003/bmfcib982a/doc/bmfcib982a.pdf>
- Canales, J. (18 de Octubre de 2011). *Torsión*. Obtenido de Scribd: <https://www.scribd.com/doc/69238040/Di-seno-por-Torsion>
- Carmona, C. (s.f.). *Terremoto de Cinchona reveló errores constructivos*. El Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos de Costa Rica. Obtenido de [http://www.cfia.or.cr/boletin\\_UPADI/descargas%202009/actualidad/abril/Art\\_terremoto.pdf](http://www.cfia.or.cr/boletin_UPADI/descargas%202009/actualidad/abril/Art_terremoto.pdf)
- Carreño, M., Cardona, O., & Barbat, A. (2005). *Evaluación "ex-post" del estado de daño en edificios afectados por un terremoto*.
- Carrillo, P. (2008). *Influencia del suelo en la respuesta sísmica de estructuras*. Obtenido de [http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci\\_29\\_influencia\\_del\\_suelo\\_en\\_la\\_respuesta\\_sismica.pdf](http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/ci_29_influencia_del_suelo_en_la_respuesta_sismica.pdf)
- Carrión, R., & Colina, M. (2016). *Indicadores de riesgo sísmico de las edificaciones de la parroquia rafael urdaneta del area metropolitana de valencia, para el proyecto internacional gem*. Universidad de Carabobo. Obtenido de <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/4969/rcarrion.pdf?sequence=1>
- Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central. (2011). *Cartilla de Amenaza Sísmica en América Central*. Obtenido de Centro de

- Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central: [http://www.cepredenac.org/application/files/1714/9860/1098/Cartilla\\_amenaza\\_Sismica\\_en\\_America\\_Central.pdf](http://www.cepredenac.org/application/files/1714/9860/1098/Cartilla_amenaza_Sismica_en_America_Central.pdf)
- Centro Nacional de Prevención de Desastres (CENAPRED). (15 de Agosto de 2016). *Falla de columnas por flexión que forman una articulación plástica*. Obtenido de Scribd: <https://www.scribd.com/document/320293795/Fallas-columnas>
- Centro Nacional de Prevención de Desastres. (2016). *Falla de columnas*. México. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/320293795/Fallas-columnas>
- CEPREDENAC. (2011). *Cartilla Caracterización de estructuras típicas de América Central y estimación del riesgo sísmico*. Obtenido de Centro de Coordinación para la Prevención de los Desastres Naturales en América Central: [http://www.cepredenac.org/application/files/9214/9860/2849/Cartilla\\_caracterizacion\\_de\\_estructuras\\_tipicas\\_de\\_America\\_Central\\_y\\_estimacion\\_del\\_riesgo\\_sismico.pdf](http://www.cepredenac.org/application/files/9214/9860/2849/Cartilla_caracterizacion_de_estructuras_tipicas_de_America_Central_y_estimacion_del_riesgo_sismico.pdf)
- Chavarría, A. (2016). Evaluación del riesgo sísmico del cantón de San José. *Programa de Ingeniería Estructural, 1*. Obtenido de [http://investigacion.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/boletines%20PIE/Volumen%201\\_N5.pdf](http://investigacion.lanamme.ucr.ac.cr/sitio-nuevo/images/boletines%20PIE/Volumen%201_N5.pdf)
- Climent, A., & Moya, C. (2009). *Registros Acelerográficos Obtenidos Durante El Terremoto De Cinchona del 8 de Enero De 2009, Costa Rica*. X Congreso Nacional de Geotecnia, San José. Obtenido de [http://www.lis.ucr.ac.cr/clase\\_index/tv/publicaciones/pdf/15.pdf](http://www.lis.ucr.ac.cr/clase_index/tv/publicaciones/pdf/15.pdf)
- Climent, Á., Rojas, W., Alvarado, G., & Benito, B. (Mayo de 2008). *Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica*. Obtenido de [http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes\\_sismos/amenaza\\_sismica\\_cr.pdf](http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes_sismos/amenaza_sismica_cr.pdf)
- Climent, A., Salgado, D., Slob, S., & Westen, C. J. (2003). *Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad Física en la ciudad de Cañas, Guanacaste, Costa Rica*. Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos. (2011). *Código sísmico de Costa Rica 2010* (4a ed.). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica Costa Rica.
- Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Terreno. (2013). *Guía de inspección y evaluación en situación de emergencia de daños debidos al sismo en edificios - I*. Ayuntamiento de Lorca, Consejería de Obras Públicas y Ordenación del Terreno, Murcia.
- Consejo Nacional para la Reducción de Desastres. (2015). *Guía Técnica del Proceso de Evaluación Rápida*. Coordinadora Nacional para la Reducción de Desastres, Guatemala. Obtenido de <https://conred.gob.gt/site/documentos/proyccionacion/herr/GUIA-TECNICA-PROCESO-EVALUACION-RAPIDA-DANIOS-EN-VIVIENDA.pdf>
- Coordinación Nacional de Protección Civil. (2016). *Evaluación de la seguridad estructural de edificios*. México.
- Cruz, M. (1991). *Evaluación de un edificio de 6 pisos después del sismo del 22 de abril de 1991*.
- de Buen, O. (1980). Estructuras de Acero. Comportamiento y diseño. En O. de Buen.
- de Buen, O. (2000). *Diseño de estructuras de acero. Flexión 1 (Vigas sin pandeo lateral)*. México D.F. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/355538381/Diseno-de-Estructuras-de-Acero-Flexion-1-Vigas-Sin-Pandeo-Lateral>
- de Buen, O. (2002). *Diseño de estructuras de acero. Flexión 2 (Pandeo lateral)*. México D.F. Obtenido de <https://es.scribd.com/document/58441468/Pandeo-Lateral>
- Diccionario de Arquitectura*. (18 de Junio de 2016). Obtenido de <http://diccionarqui.com/diccionario/nivel-freatico/>
- Dirección General de Protección Civil. (2008). *Manual de Evaluación post-sísmica de edificaciones de El Salvador*. Obtenido de [http://www.evivienda.gob.sv/Emergencias/Descargas/MaterialCER/Manual/PARTE\\_1.pdf](http://www.evivienda.gob.sv/Emergencias/Descargas/MaterialCER/Manual/PARTE_1.pdf)

- Estudio Arquivolta. (20 de Abril de 2016). *Terremoto, ¿cómo afecta el sismo a los edificios?* Obtenido de Estudio Arquivolta: <https://estudioarquivolta.wordpress.com/2016/04/20/terremotos-como-afecta-el-sismo-a-los-edificios/>
- Feriche, M. (1998). *Daños sísmicos en las construcciones y su clasificación en la EMS-98*. Obtenido de [https://www.researchgate.net/profile/Mercedes\\_Feriche/publication/259199099\\_DANOS\\_SISMICOS\\_EN\\_CONSTRUCCIONES\\_Y\\_SU\\_CLASIFICACION\\_EN\\_LA\\_EM\\_S-98/links/0c96052a6d65248fbc000000/DANOS-SISMICOS-EN-CONSTRUCCIONES-Y-SU-CLASIFICACION-EN-LA-EMS-98.pdf](https://www.researchgate.net/profile/Mercedes_Feriche/publication/259199099_DANOS_SISMICOS_EN_CONSTRUCCIONES_Y_SU_CLASIFICACION_EN_LA_EM_S-98/links/0c96052a6d65248fbc000000/DANOS-SISMICOS-EN-CONSTRUCCIONES-Y-SU-CLASIFICACION-EN-LA-EMS-98.pdf)
- Fernández, A. (2014). *Cimentaciones: Losas, zapatas. Diferencias Básicas*. Obtenido de <http://www.empresasconstruccion.es/cimentaciones-zapatas-losas-diferencias/>
- Florián, E. (2009). *Recomendaciones para el diseño en mampostería de viviendas mínimas*. Trabajo de Graduación, Universidad de San Carlos Guatemala, Escuela de Ingeniería Civil. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_2991\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_2991_C.pdf)
- Funvisis. (2018). *Amenaza Sísmica*. Obtenido de Fundación Venezolana de Investigaciones Sismológicas: <http://www.funvisis.gob.ve/amenaza.php>
- García, J. (2012). *Guía Metodológica para la evaluación de daño estructural ocasionado por sismos en la República de Guatemala*. Trabajo de Graduación, Universidad de San Carlos de Guatemala, Escuela de Ingeniería Civil. Obtenido de [http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08\\_3436\\_C.pdf](http://biblioteca.usac.edu.gt/tesis/08/08_3436_C.pdf)
- Gascón, A. (2011). *Comportamiento de edificios de acero con marcos contraventeados excéntricamente*. Tesis, Universidad autónoma metropolitana, División de Ciencias Básicas e Ingeniería, México D.F.
- Gestión de Riesgo en Manizales. (2005). *Evaluación del riesgo sísmico*. Obtenido de Gestión de Riesgo: [http://idea.manizales.unal.edu.co/gestion\\_riesgos/evaluacion3.php](http://idea.manizales.unal.edu.co/gestion_riesgos/evaluacion3.php)
- Gil, Z. (2015). *Evaluación de daño estructural post-sismo en edificaciones: Estado del Arte*. Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, Bogotá. Obtenido de <https://repositorio.escuelaing.edu.co/bitstream/001/284/1/CB-Especializaci%C3%B3n%20en%20Estructuras-1052379136.pdf>
- Glovambattista, A., & Carril, T. d. (2005). *Sistemas de losas que trabajan en dos direcciones*. Buenos Aires, Argentina: Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Obtenido de Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón: <https://www.inti.gov.ar/cirsoc/pdf/201/reglamento/reglamento201xcapitulo/001-portadilla12.pdf>
- Godínez, K., Arroyo, M., & Linkimer, L. (2018). 187Distribución geográfica de los sismos contenidos en el catálogo de la Red Sismológica Nacional de Costa Rica. *Revista Geográfica de América Central*(60), 161-187. doi:<http://dx.doi.org/10.15359/rgac.60-1.6>
- González, Ó., & Robles, F. (2005). *Aspectos fundamentales del concreto reforzado* (Cuarta ed.). México: Limusa.
- Grunthal. (1998). *Escala Macrosísmica Europea 1998*.
- Hernández, R. (2013). *Comportamiento de muros de mampostería de block hueco sujeto a cargas laterales*. Tesis, Universidad Autónoma de Querétaro, Facultad de Ingeniería, Querétaro. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/326077568/disenio-de-mamposteria-pdf>
- Herrera, R. (2000). *Amenaza Sísmica y el Código Sísmico de Costa Rica. Ingeniería, 10*. Instituto Nacional de Estadística y Censos. (2011). *X Censo Nacional de Población y VI de Vivienda: Resultados Generales*. Obtenido de [https://www.cipacdh.org/pdf/Resultados\\_Generales\\_Censo\\_2011.pdf](https://www.cipacdh.org/pdf/Resultados_Generales_Censo_2011.pdf)
- Instituto Nacional de Prevención Sísmica INPRES. (s.f.). *Medición de los sismos*. Obtenido de <http://contenidos.inpres.gov.ar/docs/Intensidad%20y%20Magnitud.pdf>
- Jiménez, Z., & Navarro, D. (2012). *DISEÑO DE UN PROGRAMA PARA ARMADO DE*

- VIGAS DE CONCRETO REFORZADO A PARTIR DEL RESULTADO DE ÁREAS DE ACERO OBTENIDAS EN UN SOFTWARE DE CÁLCULO ESTRUCTURAL. Universidad de Carabobo. Obtenido de <http://mriuc.bc.uc.edu.ve/bitstream/handle/123456789/5215/zjimenez.pdf?sequence=1>
- Katyuska, S. (2013). *Programa MIZOSI-Q y la microzonificación sísmica de Quito*. Tesis de grado. Obtenido de <https://repositorio.espe.edu.ec/bitstream/21000/6530/1/T-ESPE-047104.pdf>
- La Vanguardia. (2015). Los efectos de un terremoto según su magnitud en la escala de Richter. *La Vanguardia*. Obtenido de <https://www.lavanguardia.com/vida/20150223/54427548710/efectos-terremoto-magnitud-richter.html>
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (Setiembre de 2011). *¿Qué es el daño sísmico estructural?* Obtenido de <http://www.lis.ucr.ac.cr/25>
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (2011). *Casas y edificios*. Obtenido de <http://www.lis.ucr.ac.cr/20>
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (Junio de 2011). *Efectos de sitio*. Obtenido de <http://www.lis.ucr.ac.cr/239>
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (31 de Mayo de 2011). *Marco Tectónico de Costa Rica*. Obtenido de Universidad de Costa Rica: <http://www.lis.ucr.ac.cr/4>
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (2011). *Zonificación sísmica y FED*. Obtenido de Laboratorio de Ingeniería Sísmica: [www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=240](http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=240)
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica. (4 de Enero de 2012). *¿Qué es el daño sísmico no estructural?* Obtenido de <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=26>
- Linkimer, L., & Alvarado, G. (2014). Distribución espacio-temporal de la sismicidad sentida en Costa Rica (1976-2013) en el marco histórico del 30 aniversario (1982-2012) de la Red Sismológica Nacional (RSN: UCR-ICE). *Revista Geológica de América Central*. doi:10.15517/rgac.v0i0.16569
- López, F., Rodríguez, V., Cruz, J. S., Torreño, I., & Ubeda, P. (s.f.). *Manual de Patología de la Edificación*. Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Tecnología de la Edificación. Obtenido de [https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion\\_Tomo-2.pdf](https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion_Tomo-2.pdf)
- Márquez, J., & Rafael, O. (1994). *Temas de apoyo para los cursos de concreto*. Tesis, Universidad de Sonora, Departamento de Ingeniería Civil y Minas. Obtenido de <http://www.bidi.uson.mx/TesisIndice.aspx?tesis=3527>
- Mendoza, R., & Rodelo, R. (2007). *Fundamentos de la mampostería estructural y su aplicación en el análisis y diseño de edificios*. Proyecto de Grado, Universidad de Sucre, Departamento de Ingeniería Civil, Sincelejo. Obtenido de [https://www.scribd.com/document/217566773/FUNDAMENTOS-DE-LA-MAMPOSTERIA-ESTRUCRURAL-Y-SU-APLICACION-EN-EL-ENALISIS-Y-DISENO-DE-EDIFICIOS?doc\\_id=217566773&download=true&order=449843307](https://www.scribd.com/document/217566773/FUNDAMENTOS-DE-LA-MAMPOSTERIA-ESTRUCRURAL-Y-SU-APLICACION-EN-EL-ENALISIS-Y-DISENO-DE-EDIFICIOS?doc_id=217566773&download=true&order=449843307)
- Montero, C., Arauz, J., Jiménez, W., & Quesada, G. (2016). *Sismos de fallamiento local o de intraplaca*. Obtenido de OVSICORI: <http://www.ovsicori.una.ac.cr/sistemas/rompecabezas/>
- Montoya, L. (2013). *Influencia de flexibilidad de las conexiones en el comportamiento sísmico de edificios metálicos*. Universidad Politécnica de Catalunya.
- Mora, S. (2012). *Espectros de diseño locales para la ciudad de Riobamba a partir de mediciones de vibración ambiental*. Trabajo de graduación, Riobamba. Obtenido de <http://dspace.unach.edu.ec/bitstream/51000/559/1/UNACH-EC-IG.TUR-2012-0002.pdf>
- Morejón, G., Leyva, K., & Arco, B. (2017). Evaluación de la seguridad estructural de edificaciones posterremotos. *Ciencia en su PC(4)*, 78-90. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/1813/181353794006.pdf>
- Munera, R., & Villamizar, J. (2013). *Guía Técnica para inspección de edificaciones después de un sismo*. Trabajo de Grado, Universidad Francisco Paula Santander, San José de Cúcuta. Obtenido de

- [https://www.elespectador.com/files/pdf\\_files/05b2c1e6970e2fd19a9870fa66104246.pdf](https://www.elespectador.com/files/pdf_files/05b2c1e6970e2fd19a9870fa66104246.pdf)
- Municipio de San Pedro La Laguna. (s.f.). *Descripción de daños*. Obtenido de <http://desastres.usac.edu.gt/documentos/docgt/pdf/spa/doc0184/doc0184-parte26.pdf>
- Najarro, C. (2008). *Metodología para la evaluación de daños en edificación post-sismo*. Universidad del El Salvador, San Salvador. Obtenido de [http://ri.ues.edu.sv/2244/1/Metodologia\\_para\\_la\\_evaluacion\\_de\\_da%C3%B1os\\_en\\_edificacion\\_post-sismo.pdf](http://ri.ues.edu.sv/2244/1/Metodologia_para_la_evaluacion_de_da%C3%B1os_en_edificacion_post-sismo.pdf)
- Najarro, C. (2008). *METODOLOGÍA PARA LA EVALUACIÓN DE DAÑOS EN EDIFICACIONES POST-SISMO*. Trabajo de Graduación, Universidad de El Salvador, Escuela de Ingeniería Civil, San Salvador. Obtenido de <file:///F:/PG/Proyecto%20de%20Graduación/Tesis%20Metodologia%20para%20la%20evaluacion%20de%20daños%20en%20edificacion%20post-sismo.pdf>
- Nilson, A. (1999). *Diseño de estructuras de concreto* (Duodécima ed.). México: Editorial McGraw-Hill.
- Oficina Nacional de Emergencia (ONEMI) de Chile. (s.f.). *¿Cómo se mide un sismo?* Obtenido de <http://www.jmarcano.com/riesgos/informacion/medirsismo.html>
- Organización Panamericana de la Salud. (2007). *¿Su hospital es seguro? Preguntas y respuestas para el personal de salud*. Ecuador. Obtenido de <http://cidbimena.desastres.hn/docum/crid/PPSED/PDF/doc18025/doc18025-e.pdf>
- Organización Panamericana de la Salud. (2014). *Reducción de la Vulnerabilidad en Hospitales*. Obtenido de <http://slideplayer.es/slide/91314/>
- Orozco, I. (2016). *Unión viga-columna*. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/318479501/Resumen-Union-Viga-Columna>
- Páez, D., Parra, S., & Montaña, C. (2009). Alternativa estructural de refuerzo horizontal en muros de mampostería. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*, 8(14). Obtenido de [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S1692-33242009000100005](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1692-33242009000100005)
- Parmigiani, M. (2005). *Reglamento Argentino de Estructuras de Hormigón*. Instituto Nacional de Tecnología Industrial. Obtenido de <https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/201/reglamento/reglamento201completo.pdf>
- Pavón, M. d. (2007). *Las modalidades del refuerzo de alta resistencia para mampostería*. Obtenido de <http://www.imcyc.com/ct2007/nov07/ingenieria1.htm>
- Pérez, N. (2013). *Análisis de vulnerabilidad ante sismos y deslizamientos del sector de Jucó de Orosí de Parí de Cartago*. Tesis de grado, Universidad Central, Escuela de Ingeniería Civil. Obtenido de <https://www.aya.go.cr/centroDocumetacion/catalogoGeneral>
- Pérez, V. (1993). *Diseño y cálculo de estructuras de concreto reforzado: por resistencia máxima y servicio* (Primera ed.). México: Editorial Trillas.
- Pinto, A., & Torres, R. (2016). Evaluación postsísmica de edificaciones afectadas por terremotos. *Ciencia e Ingeniería*, 37(3). Obtenido de *Ciencia e Ingeniería*, vol. 37, núm. 3, 2016: <http://www.redalyc.org/jatsRepo/5075/507551271007/html/index.html>
- Pontón, M., Robalino, A., Grunahuer, T., & Yépez, F. (2016). *Guía práctica para el diseño de estructuras de acero de conformidad con la Norma Ecuatoriana de la Construcción NEC 2015*. Quito: Imprenta Activa. Obtenido de <https://www.habitatyvivienda.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2016/10/GUIA-3-ACERO.pdf>
- Protección Civil y Emergencias del Ministerio del Interior. (s.f.). *Dirección General de Protección Civil y Emergencias*. Obtenido de <http://www.proteccioncivil.es/catalogo/carpeta02/carpeta24/vademecum12/vdm0259.htm>
- Red Nacional de Evaluadores. (s.f.). *Falla de columnas por flexión que forman una articulación*. Obtenido de [http://dione.cuaed.unam.mx/propuestasgraficas/CENAPRED/unidad\\_05/img\\_base/pdf/fallascolumnas\\_u5.pdf](http://dione.cuaed.unam.mx/propuestasgraficas/CENAPRED/unidad_05/img_base/pdf/fallascolumnas_u5.pdf)

- Ríos, A. (2017). *Conceptos para evaluar una estructura dañada por sismo*.
- Rochel, R. (2012). *Análisis y diseño sísmico de edificios* (Segunda ed.). Medellín, Colombia: Fondo Editorial Universidad EAFIT.
- Rodríguez, M., & Castellón, E. (1995). *Manual de evaluación post-sísmica de la seguridad estructural de edificaciones*. Instituto de Ingeniería UNAM.
- Rodríguez, V. (2004). *Manual de Patología de la Edificación Tomo 2*. Escuela Universitaria de Arquitectura Técnica de la Universidad Politécnica de Madrid, Departamento de Tecnología de la Edificación, Madrid. Obtenido de [https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion\\_Tomo-2.pdf](https://www.edificacion.upm.es/personales/santacruz-old/Docencia/cursos/ManualPatologiaEdificacion_Tomo-2.pdf)
- Romero, A. (1999). *Dibujo de proyectos de obras civiles*. Caracas: Innovación Tecnológica. Obtenido de <https://books.google.co.cr/books?id=aP0w87jHVkkC&pg=SA4-PA1&lpg=SA4-PA1&dq=Son+elementos+estructurales+de+concreto+armado,+de+secci%C3%B3n+transversalrectangular+llena&source=bl&ots=b-Xz43CcDd&sig=j8oprmpxHOjiJ3abQKZ13gH7zMw&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjMkO-9qt>
- Rosales, V. (1991). *Pérdidas en infraestructura sismo del 22 de abril de 1991, provincia de Limón*. San José. Obtenido de <https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/pdf/spa/doc9/doc9-contenido.pdf>
- RSN. (2015 de Setiembre de 2015). *¿Por qué tiembla tanto en Costa Rica?* Obtenido de Red Sismológica Nacional: <http://www.rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/sismologia/4135-por-que-tiembla-tanto-en-costa-rica>
- RSN. (2015). *Sismicidad*. Obtenido de Red Sismológica Nacional UCR-ICE: <http://rsn.ucr.ac.cr/documentos/educativos/sismologia?limitstart=0>
- SAC Joint Venture. (2000). *Recommended Seismic Evaluation and Upgrade Criteria for Existing Welded Steel Moment-Frame Buildings (FEMA-351)*.
- Schmidt, V. (2006). *Proyecto de investigación: Redefinición de la escala de intensidad Mercalli Modificada para Costa Rica, No. 731-A5-093*. Universidad de Costa Rica, Facultad de Ingeniería. Obtenido de <https://docplayer.es/22727573-Proyecto-de-investigacion-redefinicion-de-la-escala-de-intensidad-mercalli-modificada-para-costa-rica-no-731-a5-093.html>
- Schmidt, V., Hidalgo, D., Acuña, A. L., Moya, Á., Cordero, E., & Segura, C. (2014). *Terremoto de Nicoya. En Torno a la Prevención*(12). Obtenido de <http://www.relaciger.org/revista/pdf/spa/doc1200/doc1200-contenido.pdf>
- Segura, J., Quintero, R., Burgoa, B., & Jiménez, W. (Enero-Junio de 2014). ANÁLISIS DE LA ACTIVIDAD SÍSMICA EN COSTA RICA DURANTE EL 2010 Y RESUMEN DE LOS EVENTOS SÍSMICOS MÁS IMPORTANTES PRESENTADOS EN COSTA RICA DE 1983 – 2012. *Revista Geográfica de América Central*, 1. Obtenido de <http://www.redalyc.org/pdf/4517/451744543004.pdf>
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Causas, características e impactos*. Obtenido de Servicio Geológico Mexicano: <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Causas-caracteristicas-e-impactos.html>
- SIDETUR. (Mayo de 2007). *El acero de refuerzo en las vigas de concreto. Acero al día*. Obtenido de Acero al día: [https://www.alacero.org/sites/default/files/u16/bc\\_08-15\\_aad\\_115\\_vigas\\_concreto.pdf](https://www.alacero.org/sites/default/files/u16/bc_08-15_aad_115_vigas_concreto.pdf)
- Silva, E. (2006). *Análisis de edificios de acero con irregularidades en la rigidez en altura sujetos a cargas monotónicamente crecientes*. Tesis, Universidad Austral de Chile. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2006/bmfcs586a/doc/bmfcs586a.pdf>
- (2006). *Sintomatología en las estructuras de concreto armado*. Biblioteca Central Universidad de Piura. Obtenido de [http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibviru/dep/tesis/pdf/1\\_122\\_180\\_80\\_1138.pdf](http://www.biblioteca.udep.edu.pe/bibviru/dep/tesis/pdf/1_122_180_80_1138.pdf)
- Sistemas de losas que trabajan en dos direcciones*. (s.f.). Obtenido de [https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publico\\_m/Capitulo18.pdf](https://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publico_m/Capitulo18.pdf)

- Soto, H. (Julio-Agosto de 2017). Sismos en el mundo y evolución del diseño con acero. *Revista Mexicana de la Construcción*(628). Obtenido de [http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/5\\_conexiones\\_soto.pdf](http://www.construccionenacero.com/sites/construccionenacero.com/files/u11/5_conexiones_soto.pdf)
- Tauscher, J., Calzadilla, G., Noa, M., & Mujica, K. (2016). *Losas y vigas*. Instituto Universitario Politécnico Santiago Mariño. Obtenido de [http://www.academia.edu/27605784/LOS\\_AS\\_Y\\_VIGAS](http://www.academia.edu/27605784/LOS_AS_Y_VIGAS)
- Téllez, A. (2013). *Bases para la generación de un sistema de inspección estructural de edificios en Chile*. Tesis, Universidad Austral de Chile, Escuela de Ingeniería Civil en Obras Civiles, Valdivia. Obtenido de <http://cybertesis.uach.cl/tesis/uach/2013/bmfci275b/doc/bmfci275b.pdf>
- Texeira, J. (2010). *Diseño de nodos viga-columna en pórticos de concreto estructural*. Trabajo Especial de Grado, Universidad Católica Andrés Bello. Obtenido de <https://es.scribd.com/doc/37756268/Diseño-de-Nodos-en-Concreto-Armado>
- Torres, E. (2009). *Evaluación estructural de la Torre de la Basílica de la Merced, Lima, Perú*. Tesis, Universidad Ricardo Palma, Escuela de Ingeniería Civil, Lima. Obtenido de [http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/576/1/torres\\_he.pdf](http://cybertesis.urp.edu.pe/bitstream/urp/576/1/torres_he.pdf)
- Torres, J. (2009). *Comportamiento de muros de mampostería con elementos de borde confinados con platinas en el mortero de pega*. Posgrado, Universidad Nacional de Colombia, Departamento de Ingeniería Civil, Bogotá. Obtenido de <https://www.scribd.com/document/288153199/294428-2009>
- Vallejos, S., Esquivel, L., & Hidalgo, M. (2017). *Histórico de Desastres en Costa Rica: febrero 1723 - abril 2017*. Obtenido de Comisión Nacional de Prevención de Riesgos y Atención de Emergencias: [https://www.cne.go.cr/Documentos/cedo/historico\\_desastres\\_cr.pdf](https://www.cne.go.cr/Documentos/cedo/historico_desastres_cr.pdf)
- Verdugo, A. (s.f.). *Conexiones*. (I. C. Acero, Ed.)
- Vergara, J., & Jaimes, R. (s.f.). *Filosofía del diseño sísmico*. Obtenido de <https://vdocuments.site/documents/capitulo-ii-filosofia-del-diseno-sismico.html>
- Villanueva, J. C. (2016). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Cartago en los Distritos Oriental y Occidental, Costa Rica*. Licenciatura, Tecnológico de Costa Rica, Escuela de Ingeniería en Construcción, Cartago. Obtenido de [file:///E:/PROYECTO%20DE%20GRADUACI%C3%93N/Referencias/05-%20Vulnerabilidad/\(2016\)%20Villanueva.%20Evaluacion\\_vulnerabilidad\\_sismica\\_ciudad\\_cartago.pdf](file:///E:/PROYECTO%20DE%20GRADUACI%C3%93N/Referencias/05-%20Vulnerabilidad/(2016)%20Villanueva.%20Evaluacion_vulnerabilidad_sismica_ciudad_cartago.pdf)
- Virgili, X. (2007). *Comportamiento de elementos estructurales de acero frente a incendio*. Obtenido de <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/6112/00.pdf>
- Vizconde, A. (2017). *Método de Evaluación Detallada según ATC-20 para inspección post-sismo de edificaciones*. Obtenido de <http://edificacionesdecalidad.com/content/m%C3%A9todo-de-evaluaci%C3%B3n-detallada-seg%C3%BAn-atc-20-para-inspecci%C3%B3n-post-sismo-de-edificaciones>