

## CONSTANCIA DE DEFENSA PÚBLICA DE PROYECTO DE GRADUACIÓN

Proyecto de Graduación defendido públicamente ante el Tribunal Evaluador, integrado por los profesores Ing. Hugo Navarro Serano, Ing. Ángel Navarro Mora, Ing. Gustavo Rojas Moya, Ing. Mauricio Carranza Solano, como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería en Construcción, del Instituto Tecnológico de Costa Rica.

HUGO EDUARDO  
NAVARRO  
SERRANO (FIRMA)

Firmado digitalmente  
por HUGO EDUARDO  
NAVARRO SERRANO  
(FIRMA)  
Fecha: 2022.04.05  
14:46:21 -06'00'

---

Ing. Hugo Navarro Serrano.  
En representación del Director

ANGEL  
HUMBERTO  
NAVARRO  
MORA (FIRMA)

Firmado digitalmente  
por ANGEL  
HUMBERTO NAVARRO  
MORA (FIRMA)  
Fecha: 2022.03.31  
10:50:30 -06'00'

---

Ing. Ángel Navarro Mora.  
Profesor Guía

GUSTAVO  
ADOLFO ROJAS  
MOYA (FIRMA)

Firmado digitalmente  
por GUSTAVO ADOLFO  
ROJAS MOYA (FIRMA)  
Fecha: 2022.04.05  
07:55:50 -06'00'

---

Ing. Gustavo Rojas Moya.  
Profesor Lector

MAURICIO  
CARRANZA  
SOLANO (FIRMA)

Firmado digitalmente por  
MAURICIO CARRANZA  
SOLANO (FIRMA)  
Fecha: 2022.04.06 11:13:41  
-06'00'

---

Ing. Mauricio Carranza Solano.  
Profesor Observador

# **Guía para la asignación de curvas de fragilidad típicas para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud de la Caja Costarricense del Seguro Social**

# Abstract

Costa Rica is a country where the threat from an earthquake is high. For this reason, it is necessary to identify those aspects of damage and adverse structural defects that increase the risk of collapse or loss of service of the health infrastructure that the Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) has after an earthquake. The main objective of the project was to select fragility curves and a guide for the allocation of these curves in the CCSS infrastructure.

For this, important parameters such as structural typologies for the selection of typical fragility curves were defined and a comparison of the international curves was generated to validate their use at the national level with the curves developed in the country.

As a result, a guide was made that shows the basic guidelines to be followed for the assignment of these curves to the infrastructure using rapid visual inspection forms of the buildings. Finally, the guide was validated through a practical application in six buildings of the Rafael Ángel Calderón Guardia hospital, where the corresponding fragility curves were assigned.

**Keywords:** *Fragility curves, structural typologies, seismic vulnerability, infrastructure, seismic risk, structural damage.*

# Resumen

Costa Rica es un país donde la amenaza por sismo es alta. Por esto, es necesario identificar aquellos aspectos de daño y defectos estructurales adversos que incrementen el riesgo de colapso o pérdida de servicio de la infraestructura de salud con la que cuenta la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) después de un sismo. El objetivo principal del proyecto consistió en realizar una selección de curvas de fragilidad y una guía para la asignación de dichas curvas en la infraestructura de la CCSS.

Para esto, se definieron parámetros importantes como las tipologías estructurales para la selección de curvas de fragilidad típicas y se generó una comparación de las curvas internacionales para validar su uso a nivel nacional con las curvas desarrolladas en el país.

Como resultado, se realizó una guía que muestra los lineamientos básicos a seguir para la asignación de dichas curvas a la infraestructura mediante el uso de formularios de inspección visual rápida de las edificaciones. Finalmente, se validó la guía mediante una aplicación práctica en seis edificaciones del hospital Rafael Ángel Calderón Guardia, donde se asignaron las correspondientes curvas de fragilidad.

**Palabras clave:** *Curvas de fragilidad, tipología estructural, vulnerabilidad sísmica, infraestructura, riesgo sísmico, daño estructural.*

# **Guía para la asignación de curvas de fragilidad típicas para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud de la Caja Costarricense del Seguro Social**

# **Guía para la asignación de curvas de fragilidad típicas para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud de la Caja Costarricense del Seguro Social**

ESTEBAN JOSUÉ CAMPOS MASÍS

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

Marzo del 2022

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE COSTA RICA  
ESCUELA DE INGENIERÍA EN CONSTRUCCIÓN

# Contenido

|                                  |     |
|----------------------------------|-----|
| Prefacio .....                   | 1   |
| Resumen ejecutivo.....           | 2   |
| Introducción.....                | 4   |
| Marco teórico .....              | 7   |
| Metodología .....                | 21  |
| Resultados .....                 | 30  |
| Análisis de los resultados ..... | 44  |
| Conclusiones.....                | 49  |
| Recomendaciones .....            | 50  |
| Apéndices .....                  | 51  |
| Referencias .....                | 144 |

# Prefacio

Los sismos son amenazas naturales, cuando ocurren producen daños en las estructuras generando pérdidas económicas y de vidas. Particularmente, Costa Rica es un país donde la amenaza por sismo es de gran relevancia. Es por esto, que es importante identificar aquellos aspectos de daño y defectos estructurales adversos que incrementan el riesgo de colapso o pérdida de servicios de los establecimientos de salud, los cuales, son instalaciones esenciales destinadas a la atención de la salud, por lo que deben ser seguros y continuar en funcionamiento luego de un sismo.

Las curvas de fragilidad son consideradas herramientas que permiten caracterizar la respuesta sísmica de las edificaciones, ya sea en grupos de estructurales o una estructura particular. La ventaja del uso de estas curvas de fragilidad es que permiten estimar la probabilidad de superar un nivel de daño en función de la intensidad del evento sísmico. El uso de esta herramienta para la evaluación del riesgo sísmico regional según Muñoz et al (2017) puede llevar a la identificación rápida de las estructuras con daños importantes y a una posible reducción de la cantidad de edificaciones que deber ser inspeccionadas luego de un sismo.

Por esta razón, el objetivo principal del proyecto tuvo la finalidad de brindar al Programa de Seguridad Sísmica de la Caja Costarricense del Seguro Social una selección de curvas de fragilidad tanto nacional como internacionalmente de acuerdo con las tipologías estructurales que describan la probabilidad de tener un nivel de daño en función de la intensidad de un evento post-sismo y una guía para la asignación de dichas curvas en los establecimientos de salud, mediante el uso de formularios de inspección visual rápida.

La guía que se desarrolló va a permitir a la institución de la CCSS generar un inventario de sus edificaciones y establecer la vulnerabilidad sísmica mediante las curvas de fragilidad en cada

una de sus edificaciones. Además, junto con el monitoreo a la salud estructural, en tiempo real de su infraestructura (Convenio con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica) obteniendo registros de la intensidad sísmica mediante acelerogramas, se podrá priorizar la inspección de edificaciones luego de un sismo, cuando la probabilidad de daño debido al evento sea alta y por lo tanto, incrementan las posibles consecuencias asociadas al evento sísmico.

## Agradecimientos

Agradezco al profesor guía en este proyecto de graduación, el Ing. Ángel Navarro Mora por su apoyo, asesoramiento y observaciones durante el desarrollo del proyecto. Gracias por la confianza y el conocimiento brindado en mi etapa como estudiante de ingeniería.

Así mismo, agradezco al Ing. Javier Castro Gutiérrez de la Caja Costarricense del Seguro Social por brindarme la oportunidad y orientación sobre el trabajo desarrollado en la institución, y al Ing. Diego Hidalgo Leiva del Laboratorio de Ingeniería Sísmica por compartir sus conocimientos y el material brindado que sirvió de gran apoyo en este trabajo.

Gracias a los profesores de la Escuela de Ingeniería en Construcción del Instituto Tecnológico de Costa Rica por ser parte de mi formación como profesional y a mis compañeros de carrera con los cuales compartí cursos durante estos años.

Finalmente, quisiera agradecer a mi mamá, Heleim Campos Masis por su gran esfuerzo y darme la oportunidad de tener una educación superior. A mi familia y a mis amigos por el acompañamiento incondicional durante estos años.

# Resumen ejecutivo

Costa Rica es un país donde la amenaza por sismo es alta debido a su ubicación geográfica donde forma parte de las placas del Caribe, Coco, Nazca y la microplaca de Panamá. Cuando ocurren los sismos estos puede llegar a causar daños en las estructuras y/o elementos, generando pérdidas económicas y de vidas. Debido a esto, es importante identificar aquellos aspectos de daño y defectos estructurales adversos que incrementan el riesgo de colapso o pérdida de servicios.

En el caso particular de edificaciones esenciales como hospitales y clínicas, luego de un evento sísmico importante, la demanda por los servicios de salud que brindan se ve incrementada. A efectos de garantizar la seguridad de usuarios y funcionarios, conviene realizar las inspecciones post-sismo en el menor tiempo posible para evaluar los posibles daños y tomar medidas preventivas para el futuro. Las inspecciones a realizar pueden requerir bastante tiempo sino se conocen las edificaciones que presentan un mayor riesgo ante el evento sísmico. Por lo que, es necesario priorizar las inspecciones mediante evaluaciones del riesgo sísmico.

Las curvas de fragilidad son consideradas herramientas que permiten caracterizar la respuesta sísmica de las edificaciones, ya sea en grupos estructurales o una estructura particular. La ventaja del uso de estas curvas de fragilidad es que permiten estimar la probabilidad de superar un nivel de daño en función de la intensidad del evento sísmico. El uso de esta herramienta para la evaluación del riesgo sísmico regional según Muñoz et al (2017) puede llevar a la identificación rápida de las estructuras con daños importantes y a una posible reducción de la cantidad de edificaciones que deber ser inspeccionadas luego de un sismo.

Es por esto, que el objetivo principal del proyecto consistió en realizar una guía para la asignación de curvas de fragilidad en los establecimientos de salud de la Caja

Costarricense del Seguro Social de acuerdo con sus tipologías estructurales.

Como primer objetivo específico se seleccionaron diversas curvas de fragilidad típicas mediante una revisión documental sobre curvas de fragilidad desarrolladas tanto nacional como internacionalmente. Se definieron parámetros, como la tipología estructural, la intensidad sísmica y los estados de daños mediante entrevistas a profesionales para establecer el proceso de selección de las curvas de fragilidad y una verificación del uso de las curvas internacionales con las establecidas a nivel nacional mediante una comparación entre estas.

A partir de la selección de las curvas de fragilidad, se desarrolló una guía que permite la asignación de las curvas de fragilidad mediante el uso de dos formularios que serán utilizados en inspecciones visuales rápidas de las edificaciones para la recolección de los atributos necesarios, generando así, un inventario de las características estructurales y las curvas de fragilidad asignadas para cada edificación de la Caja Costarricense del Seguro social.

Como un proceso de validación de la guía, se estableció un último objetivo, el cual, consistió en aplicar la guía en al menos un hospital de la CCSS, por lo que, se seleccionaron seis edificaciones del hospital Rafael Ángel Calderón Guardia, en las cuales, fue aplicada la guía.

Dentro de los resultados, se seleccionaron 145 curvas de fragilidad desarrolladas tanto nacional como internacionalmente que fueron clasificadas en las 33 tipologías estructurales definidas y las diferentes versiones del código sísmico, donde predominaron curvas de fragilidad desarrolladas internacionalmente.

Este trabajo permitió establecer a escala nacional, una guía para la asignación de las curvas de fragilidad como una herramienta útil para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en la infraestructura de la Caja Costarricense del Seguro Social.

Los formularios resultan útiles para obtener la información sobre los establecimientos de salud y características estructurales de las edificaciones para generar inventarios y permitir la asignación de curvas de fragilidad y la guía brinda al lector una descripción para realizar inspecciones visuales rápidas en las

edificaciones y una descripción del procedimiento para la asignación de curvas de fragilidad en las edificaciones de acuerdo con sus tipologías estructurales.

Se implementó y validó el uso de la guía propuesta mediante su aplicación en el hospital Rafael Ángel Calderón Guardia y en seis edificaciones que forman parte del hospital, donde se le asignó a cada edificación su curva de fragilidad correspondiente de acuerdo con la tipología estructural.

Como un proceso de mejora para la guía se recomendó generar curvas de fragilidad específicas en casos donde las estructuras sean muy particulares y no concuerden con las tipologías estructurales o cuando se requiera de una mejor estimación del daño probable de la edificación.

Además, para contribuir con el uso de curvas de fragilidad a nivel nacional, se recomendó realizar investigaciones para desarrollar curvas de fragilidad en tipologías estructurales definidas en el proyecto que se les asignaron curvas de fragilidad de referencias de otros países en la región y realizar estudios sobre la posibilidad de modificar las curvas de fragilidad desarrolladas por las diferentes referencias considerando las tipologías descritas en el actual Código Sísmico de Costa Rica y ajustarlas para contemplar los comportamientos de los otros tipos de códigos de versiones anteriores.

# Introducción

Costa Rica se ubica en el llamado cinturón de Fuego del Pacífico, donde interactúa con las placas del Caribe, Coco, Nazca y la microplaca de Panamá. Debido a esta ubicación geográfica del país se le considera una región con sismicidad alta y las acciones interplaca generan frecuente e intensa actividad sísmica que puede llegar a causar daños en las estructuras y/o elementos.

En Costa Rica, se han experimentado varios sismos que han generado importantes afectaciones, tanto económicas en la infraestructura pública como en términos de pérdidas de vidas. Algunos sismos recientes con reportes de daños importantes en viviendas y edificios son Golfito (1983), Cóbano (1990), Piedras Negras (1990), Limón (1991), Damas (2004), Cinchona (2009) y Sámara (2012). Luego de eventos sísmicos mayores como los mencionados anteriormente, es recomendable realizar inspecciones en las edificaciones para determinar su nivel de seguridad de acuerdo con los daños presentes.

En el caso particular de edificaciones esenciales como hospitales y clínicas, luego de un evento sísmico importante, la demanda por los servicios de salud que brindan se ve incrementada. A efectos de garantizar la seguridad de usuarios y funcionarios, conviene realizar las inspecciones post sismo en el menor tiempo posible para evaluar los posibles daños y tomar medidas preventivas para el futuro. Las inspecciones a realizar pueden requerir bastante tiempo sino se conocen las edificaciones que presentan un mayor riesgo ante el evento sísmico. Debido a esto, es necesario priorizar las inspecciones mediante evaluaciones del riesgo sísmico.

El riesgo sísmico busca determinar la probabilidad de daño de una estructura cuando ocurra un cierto evento sísmico. Por lo tanto, el riesgo sísmico es una función de la amenaza, la

exposición y la vulnerabilidad sísmica. La amenaza sísmica es la probabilidad de ocurrencia o excedencia de un determinado nivel de intensidad sísmica del suelo provocada por una acción sísmica en un lugar específico y una duración. La exposición es la caracterización de activos, como sistemas de infraestructura y edificios, que pueden ser afectados negativamente por la amenaza. La vulnerabilidad de una estructura es una medición que expresa el grado de daño esperado debido a un movimiento sísmico. Para poder determinar la vulnerabilidad, esta se puede definir independientemente de la amenaza sísmica de la zona. La vulnerabilidad asociada a los edificios puede ser detectada mediante el uso de curvas de fragilidad. Las curvas de fragilidad proveen una medida de la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño ante una acción sísmica.

Ante un posible terremoto, el sistema del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) calcula la localización y magnitud del sismo, obteniendo las intensidades sísmicas para cada una de las estaciones que se encuentren en línea y generar los mapas de intensidad sísmica en ese instante. Sin embargo, esta medición de la intensidad sísmica por sí sola no es suficiente para poder cuantificar el riesgo sísmico en sus edificaciones debido a la falta de interacción con el componente de la vulnerabilidad sísmica, ya que cada estructura posee características de fragilidad propias que la describen en función de sus características geométricas, tipos de material, estado de conservación, tipo de suelo, entre otras.

Por ende, considerando que cada edificación de la CCSS debería contar con una curva de fragilidad que la caracterice. El proyecto tiene la finalidad de brindar al Programa de Seguridad Sísmica de la CCSS una selección de curvas de fragilidad de acuerdo con las tipologías estructurales que describan la probabilidad de tener un nivel de daño en función de la intensidad de un evento post-sismo y una guía para la asignación de dichas curvas para la infraestructura.

# Objetivos

Para lograr esta investigación, se consideraron los siguientes objetivos:

## Objetivo general

- Elaborar una guía para la asignación de curvas de fragilidad para la infraestructura de la Caja Costarricense del Seguro Social.

## Objetivos específicos

- Seleccionar curvas de fragilidad típicas de acuerdo con tipologías estructurales que representen la variedad de la infraestructura de la Caja Costarricense del Seguro Social.
- Desarrollar una guía para la asignación de curvas de fragilidad de acuerdo con la tipología estructural definida.
- Validar la guía para la asignación de curvas de fragilidad mediante una aplicación práctica en al menos un hospital de la CCSS.

## Alcance y limitaciones

El procedimiento descrito en este documento permite caracterizar la vulnerabilidad de las edificaciones mediante la asignación de curvas de fragilidad. Las curvas de fragilidad son un recurso gráfico que vincula la probabilidad de daño en función de una medida de intensidad asociada a la demanda sísmica. Este parámetro de demanda puede ser el valor de aceleración máxima del terreno (PGA), la aceleración espectral ( $S_a$ ), entre otros. Para una estimación del riesgo sísmico, los valores de la intensidad sísmica (Amenaza sísmica), deben ser cuantificados a partir de los registros acelerográficos.

Las curvas de fragilidad seleccionadas de acuerdo a las referencias bibliográficas son curvas de fragilidad típicas y utilizadas para

caracterizar la vulnerabilidad de edificaciones de uso normal, por lo que, no representan exactamente a la estructura real que se está considerando ni son contempladas para edificaciones esenciales como los hospitales donde por su importancia, también se debe considerar en la vulnerabilidad, su uso y los componentes no estructurales (sistemas electromecánicos y elementos arquitectónicos), ya que históricamente el daño en éstos ha sido la causa de interrupción del servicio de salud en múltiples ocasiones. Esto se debe a que las curvas de fragilidad deben derivarse para cada edificación, de acuerdo con sus características. Por ende, el uso de estas curvas puede generar errores en la estimación de las consecuencias asociadas con el evento sísmico. Para efectos de la guía, se dispone de las curvas como un primer acercamiento.

## Antecedentes

En la actualidad existen varias iniciativas que se encargan de evaluar la vulnerabilidad y el riesgo sísmico, aunque tradicionalmente las edificaciones esenciales como los establecimientos de salud son lugares de importancia debido a que se encargan de la atención de la emergencia sísmica. La atención que se ha puesto para su estudio ha sido baja de acuerdo con la revisión bibliográfica consultada, solo algunas metodologías o autores han desarrollado modelos simplificados para evaluar la respuesta de un determinado sistema ante un evento sísmico.

En general, entre algunas de las metodologías que se han desarrollado para la evaluación de daños sísmico se encuentran, las iniciativas norteamericanas como el “The Federal Emergency Management Agency” (FEMA) y “the Applied Technology Council ATC (ATC-13, 1985), donde han ido evolucionando e incluyendo nuevas herramientas para el procesamiento de datos geográficos que permitieron el desarrollo del HAZUS (2003). También, se elaboró un reporte denominado Comité VISION 2000 (SEAOC, 1995) donde se indica la definición de niveles de desempeño para las instalaciones esenciales. En cuanto a las iniciativas europeas, se encuentra SERGISAI (1998), RISK-UE (2003) y

recientemente el trabajo de SYNER-G (Pitilakis, et al 2014).

Estos estudios de acuerdo con Calderón (2018) tratan de generar métodos para poder calcular el riesgo sísmico a nivel regional y generar mapas que permitan determinar el riesgo sísmico de la zona de estudio, las áreas y tipologías más afectadas.

Sin embargo, también se ha generado otros proyectos importantes como el realizado para Sudamérica, conocido como SARA que establece estudios de amenaza y riesgo sísmico para la región (Villar-Vega et al., 2017) y que forma parte del Global Earthquake Model (GEM), la cual, es una entidad que busca ser una de las fuentes de recursos del riesgo sísmico más completas del mundo como por ejemplo, generando taxónomas o tipologías de las edificaciones (Brzev et al, 2013) y compendios de curvas de fragilidad (Rossetto et al, 2015).

En Costa Rica, se han realizado investigaciones de la vulnerabilidad sísmica con curvas de fragilidad internacionales, como el trabajo de “Vulnerabilidad sísmica de estructuras de viviendas de uno y dos pisos en una zona pilote del Valle Central” de Solórzano (2005) y en el trabajo de “Aplicación de la metodología HAZUS MH en análisis de riesgo sísmico en la infraestructura del anillo metropolitano de transporte de electricidad” de Arce (2011).

En el caso de puentes, se contempla el trabajo desarrollado por el Lanamme-UCR denominado estudio de vulnerabilidad sísmica de puentes en Costa Rica mediante el uso de curvas fragilidad” de Muñoz (2015) como una etapa previa a una metodología de la priorización de la inspección después de un sismo con el informe “Protocolo para inspección de puentes después de un sismo” de Muñoz et al (2017). Ambos trabajos en puentes se tomaron como referencia para el planteamiento del presente proyecto debido a que tanto el Lanamme-UCR y la CCSS disponen de un convenio con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS), el cual, cuenta con un sistema automático de identificación de sismos mediante la medición de la intensidad sísmica proveniente de acelerógrafos ubicados en varios sitios de puentes el caso del Lanamme-UCR y edificaciones para la CCSS. Por lo que, se consideraron los atributos de los parámetros de la amenaza sísmica y vulnerabilidad del riesgo sísmico de estos trabajos, pero modificados y enfocados en edificaciones.

Recientemente, el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) de la Universidad de Costa Rica (UCR) desarrolló el proyecto “Estimación del riesgo sísmico en el cantón de San José” (Hidalgo et al, 2020). El cual contó con las curvas de fragilidad desarrolladas en el país de los trabajos de Calderón (2018) denominado “Curvas de fragilidad según el método del espectro de capacidad para tipologías estructurales definidas en el Código Sísmico de Costa Rica” y el trabajo “Probabilistic seismic vulnerability and los assessment of the residential building stock in Costa Rica” de Calderón y Silva (2019).

Entre algunos de los proyectos sobre evaluaciones de la vulnerabilidad sísmica enfocados en edificaciones esenciales a nivel internacional, se puede mencionar el trabajo “Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico” de Safina (2003) y el trabajo “Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales” de Valcárcel (2013). El proceso de la generación de las tablas con las curvas de fragilidad y los formularios de inspección desarrollados toman referencias del trabajo de Valcárcel, pero enfocado en las curvas disponibles en Costa Rica y en la región; para los formularios se consideran las tipologías de Costa Rica con algunas modificaciones tomando información sobre los establecimientos de salud de la CCSS y el Código Sísmico de Costa Rica.

Por último, las mismas investigaciones enfocadas en edificios hospitalarios a nivel nacional, se puede mencionar el trabajo “Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de hospitales de Costa Rica con la aplicación de índices de vulnerabilidad” de Hidalgo et al (2016) donde se utilizaron dos tipos de índices y curvas de fragilidad internacionales.

# Marco teórico

Para el desarrollo de una guía para la asignación de curvas de fragilidad típicas para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en infraestructura hospitalaria es necesario definir algunos fundamentos teóricos. Se inicia con el entendimiento sobre los Establecimientos de salud y conceptos relacionados al fenómeno sísmico. Luego, con la descripción de los componentes del riesgo sísmico en Costa Rica con sus componentes: exposición, amenaza y vulnerabilidad sísmica. Finalmente, se abordan los conceptos de las curvas de fragilidad y los métodos para su desarrollo.

## Establecimientos de salud

Los establecimientos de salud son instalaciones destinadas a proporcionar atención de salud. Para que un establecimiento de acuerdo con la OPS (2010) sea seguro y siga funcionando luego de un desastre, se deben analizar ciertas características que los hacen considerablemente vulnerables:

- Generalmente funcionan las 24 horas del día de forma ininterrumpida.
- Albergan un público diverso, que incluye pacientes con cuidado especial.
- Contiene materiales peligrosos.
- Dependen de servicios básicos para funcionar.
- Poseen equipamiento y otras inversiones muy costosas que resultan fundamentales para salvar la vida de las personas.

Un establecimiento de salud requiere una amplia gama de recursos humanos, materiales, económicos y tecnológicos para funcionar. Estos elementos se congregan en conjuntos integrados, donde la estructura sostiene los procesos y éstos los resultados. En este conjunto todo está ligado y lo que afecte a un elemento tiene repercusión en el conjunto y en el producto final (OPS, 2010).

## Sismos

Los sismos son fenómenos que representan la liberación de energía interna de la tierra, mediante la ruptura de las capas de corteza y que se manifiestan como movimientos ondulatorios que pueden llegar a alcanzar magnitudes variadas (INDECI, 2018).

Cuando un evento sísmico es leve sin que estos causen daños en las localidades se las denomina sismos o temblores, mientras que los sismos de mayores magnitudes y alcanzan intensidades mayores se le denomina terremotos, estos pueden llegar a causar daños considerables e incluso la destrucción.

Las causas más generales de los sismos de acuerdo con el Servicio Geológico Mexicano (2017) son:

- Tectónica: desplazamiento de las placas tectónicas que conforman la corteza, afectan grandes extensiones y es la causa que más genera sismos.
- Volcánica: las erupciones violentas generan grandes sacudidas que afectan sobre todo a los lugares cercanos, pero su campo de acción es menor que los de origen tectónico.
- Hundimiento: por procesos de erosión de las aguas subterráneas generando vacíos (cavidad kárstica), el cual se genera un hundimiento debido al peso de la parte superior, produciendo un sismo poco frecuente y de poca extensión.
- Deslizamientos: puede producir sismos al ocasionar deslizamientos a lo largo de fallas, pero no suelen ser de gran magnitud.

Un sismo comienza en un punto llamado foco o hipocentro situado en la superficie de ruptura, desde este punto se propagan las ondas sísmicas y se encuentra por debajo de la superficie. El epicentro se considera la proyección vertical del hipocentro sobre la superficie terrestre y es el lugar geográfico donde ocurre el temblor. El plano donde se mueven los bloques o capas de corteza se le denomina falla (Villanueva, 2016).

## Parámetros sísmicos

Existen parámetros que permiten caracterizar el tamaño y fuerza de un sismo, dos de estos son: la magnitud y la intensidad. La magnitud sísmica está relacionada con la energía liberada en el foco del terremoto, mientras que la intensidad del suelo lo está con la energía recibida en un punto cualquiera de la superficie (Muñoz, 1989).

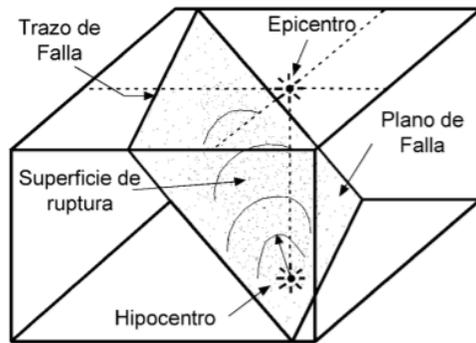
El problema con la magnitud de un sismo de acuerdo con el LIS (2011) es que no depende del lugar de donde se toma la medición, es más bien una constante asociada con el mismo, por lo que, esta medición resulta un poco útil si se pretende relacionar las características de un sismo con posibles daños a estructuras debido a que la sacudida se manifiesta de manera diferente dependiendo del sitio donde sea percibida. Por ende, para este propósito se puede hacer uso de la intensidad. Esta medida sí depende del lugar donde se tomen las mediciones y se refiere principalmente a la fuerza del movimiento del terreno.

Ahora bien, una medida de intensidad sísmica (IM) de acuerdo con Bojórquez et al (2014) busca cuantificar las características de un movimiento sísmico que son importantes para describir su potencial destructivo, así como su capacidad para predecir la respuesta estructural (por ejemplo, la amplitud, frecuencia, duración del movimiento, etc).

Se han desarrollado varias medidas de la fuerza del movimiento del suelo. Estas medidas de intensidad describen características diferentes del movimiento, donde algunas pueden ser más adversas para la estructura o el sistema en consideración. Los IM de acuerdo con Ptilakis et al (2014) mencionan que se agrupan en dos clases generales:

### Intensidad empíricas

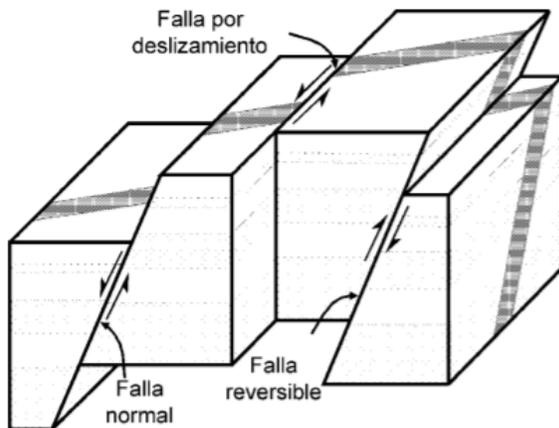
Estas medidas suelen usar diferentes escalas de intensidad macrosísmica para identificar los efectos observados de la sacudida del suelo en un lugar determinado, sobre las personas, los edificios y el terreno. Estas medidas cuentan con una cierta subjetividad ya que sus grados se establecen a partir de la información recogida por observación directa y por las encuestas a la población (Lantada, 2007).



**Figura 1.** Origen de un sismo, con su proyección en la superficie terrestre.  
Fuente: Mena (2002).

Existen tres tipos de fallas que pueden ocurrir tanto en la superficie de la tierra o dentro de los océanos (Figura 2), la explicación de las tres diferentes fallas de acuerdo con Mena (2002), es la siguiente:

- Falla por deslizamiento: corresponde a un desplazamiento horizontal relativo por los dos lados de la falla donde suele tener un plano de falla vertical.
- Falla reversible o por compresión: las fuerzas por compresión causan una falla por cortante forzando que la parte superior continúe elevándose.
- Falla normal o por extensión: las deformaciones por extensión jalan los bloques superiores hacia abajo del plano de falla inclinado.



**Figura 2.** Tres principales de falla, provocadas por un sismo.  
Fuente: Mena (2002).

Las escalas se han ido perfeccionando desde las primeras que surgieron en el siglo XVIII. La más utilizadas son las Mercalli Modificada “MMI” en Estados Unidos y la “MSK”, propuesta por Medvedev, Sponheuer y Karnik, en Europa, donde posteriormente pasó a ser utilizada la Escala Macrosísmica Europea o EMS-98. En Japón se emplea la escala JMA, que toma el nombre de la “Japanese Meteorological Agency”. En la siguiente figura se muestran las escalas descritas:

| Mercalli Modificada | JMA | MSK  |
|---------------------|-----|------|
| I                   | -   | I    |
| II                  | I   | II   |
| III                 |     | III  |
| IV                  | II  | IV   |
| V                   | III | V    |
| VI                  | IV  | VI   |
| VII                 | V   | VII  |
| VIII                |     | VIII |
| IX                  | VI  | IX   |
| X                   |     | X    |
| XI                  | VII | XI   |
| XII                 |     | XII  |

Figura 3. Comparación de escalas de intensidad sísmica macrosísmica.

Fuente: Lantada, 2007.

## Intensidad instrumental

Este grupo de medidas son mucho más precisas y representativas de las características de la intensidad sísmica, la gravedad de la sacudida del suelo puede expresarse como un valor analítico medido por un instrumento o calculado por el análisis de acelerógrafos registrados (Pitilakis et al, 2014). Las formas más frecuentes

de este tipo intensidad, según López y Villacañas (1999) son:

- Valores máximos y duración de este ( $a_{max}$ ,  $v_{max}$ ,  $d_{max}$ ,  $\Delta t$ ).
- Desarrollo temporal ( $a(t)$ ,  $v(t)$ ,  $d(t)$ ).
- Espectros de Fourier y de respuesta.
- Funciones de la energía (por ejemplo, la intensidad de Aries) y valores derivados de la historia temporal (por ejemplo, la velocidad absoluta acumulada, CAV).

Las dos medidas de intensidad que predominan en el proyecto se describen a continuación:

**Aceleración pico o efectiva:** Es la aceleración máxima o aceleración pico, conocida como Peak Ground Acceleration (PGA(g)), se considera un parámetro más actual y avanzando, que tiende a sustituir a la escala macrosísmica y es empleado en estudios modernos de ingeniería sísmica. Este parámetro se determina directamente de las señales sísmicas como el máximo del valor absoluto de las amplitudes de todo el registro en un acelerogramas. La PGA se da en un único instante en la señal, que no necesariamente será el mismo en las tres direcciones en que se registra el evento (Hidalgo et al, 2020). En la figura 2 se muestran los acelerogramas de los tres componentes ortogonales de un sismo con epicentro cercano a Sámara del 10 de octubre del 2012, registrado en la estación de la biblioteca de Nosara.

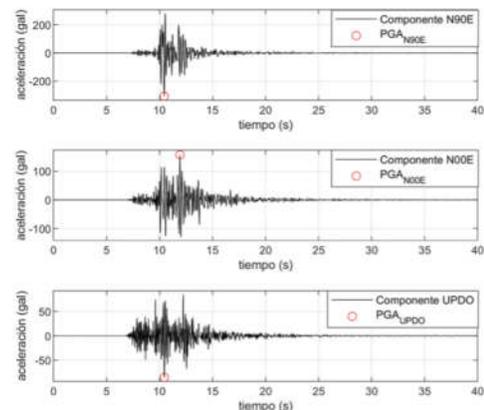
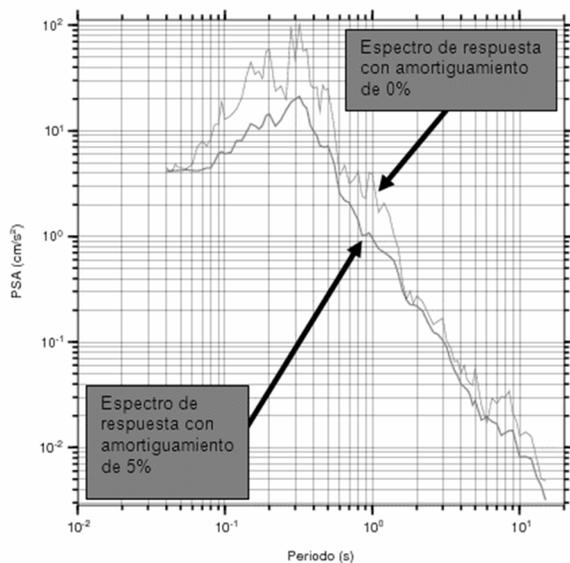


Figura 4. Registro de aceleraciones en las tres componentes ortogonales, así como el PGA correspondiente en: a) dirección este-oeste, b) dirección norte-sur y c) dirección vertical.

Fuente: (Hidalgo et al, 2020).

**Aceleración espectral:** Esta medida de intensidad es muy usada por ingenieros sísmicos, sismólogos y por códigos sísmicos, conocida como la pseudo aceleración espectral en el periodo fundamental de vibración de la estructura de interés, comúnmente usada como  $S_a(T_1)$ . Este parámetro se determina mediante los espectros de respuesta. Los espectros de respuesta reflejan la respuesta máxima de un grupo de osciladores de un grado de libertad para un evento sísmico dado, en los cuales se puede incluir distintos grados de amortiguamiento (Navarro, 2019). Estos espectros son curvas que se obtienen de los registros acelerográficos y muestran el valor de la pseudo-aceleración en función del periodo y le permiten al ingeniero calcular la fuerza sísmica (LIS, 2018). En la siguiente figura se muestra un ejemplo de estas curvas:



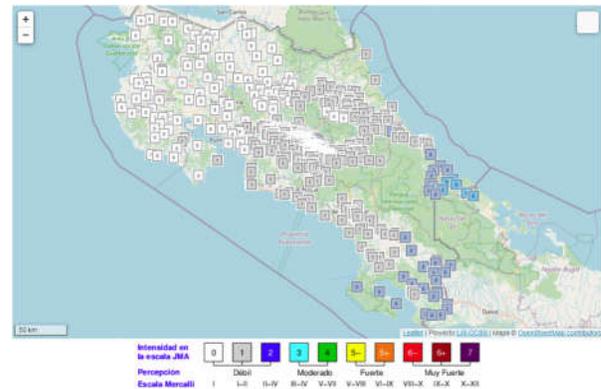
**Figura 5.** Espectro de respuesta con amortiguamientos de 0% y 5%.  
Fuente: LIS, 2018.

## Redes sismológicas

En Costa Rica existen varias instituciones encargadas del estudio del fenómeno sísmico como lo son: Red Sismológica Nacional (RSN), Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG), Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI-UNA) y Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS).

A diferencia de la RSN y el OVSICORI, cuyo énfasis es el área de sismología, el LIS persigue objetivos enfocados en área de la ingeniería sísmica y el impacto de los sismos en los centros de población (estructuras, suelos, líneas vitales, etc). Por ende, el LIS lleva a cabo estudios y productos relacionados con temas como efectos de amplificación del sitio, intensidad sísmica, espectros de respuesta y de diseño en sus informes y reportes luego de sismos significativos (LIS, 2015).

El LIS cuenta con más de 100 estaciones de acelerógrafos, las cuales, registran la intensidad instrumental mediante las aceleraciones máximas, sin embargo, también la relacionan con las medidas de la intensidad empírica, específicamente la escala Modificada de Mercalli y escala JMA. El mapa en la Figura 6 muestra un ejemplo del valor de la intensidad en la escala JMA, Mercalli y aceleración para los sitios de la Caja Costarricense del Seguro Social para un sismo ocurrido el 2021-07-17 con una magnitud de 6.1.

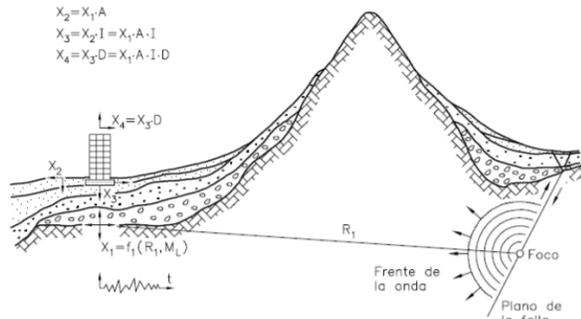


**Figura 6.** Mapa con valores de intensidad sísmica para sitios de la Caja Costarricense del Seguro Social.  
Fuente: LIS.

## Amenaza sísmica

La amenaza o peligrosidad sísmica de una zona se entiende como cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona (Barbat et al, 2005). También puede definirse de manera probabilista, como la probabilidad de que una determinada zona y en un periodo de tiempo específico se iguale o supere un determinado movimiento del suelo por causa de la acción sísmica (Lantada, 2007).

Para la evaluación de la amenaza sísmica se analizan los fenómenos que ocurren desde la emisión de onda sísmica en el foco hasta que las ondas alcancen la zona estudiada. En la Figura 7 se observa el mecanismo de propagación de la energía de un sismo desde el epicentro hasta un punto de una estructura.



**Figura 7.** Propagación de la energía sísmica desde el epicentro hasta la estructura.  
Fuente: Barbat et al (2005).

Respecto a la figura anterior, Barbat et al (2005) indican que cuando ocurre un terremoto con ciertas características focales (profundidad, mecanismo focal. Magnitud, etc), parte de la energía disipada se convierte en ondas sísmicas. Al propagarse las ondas sísmicas por el suelo, estas se reflejan, refractan, atenúan o amplifican, hasta llegar al basamento rocoso que se encuentra debajo del emplazamiento de una estructura como una excitación  $X_1$ . Las ondas sufren un nuevo filtrado a través de las capas de suelo que se encuentran entre el basamento y la superficie, que tienen una función de transferencia  $A$ , obteniéndose la señal  $X_2$ . Debido al fenómeno de interacción suelo-estructura descrito por una función de transferencia  $I$ , la señal sufrirá nuevos cambios hasta obtenerse la señal  $X_3$ , que será la excitación en la base del edificio. La respuesta de la estructura  $X_4$  es el resultado de la convolución de la señal  $X_3$  a través de la función de transferencia de la estructura  $D$ .

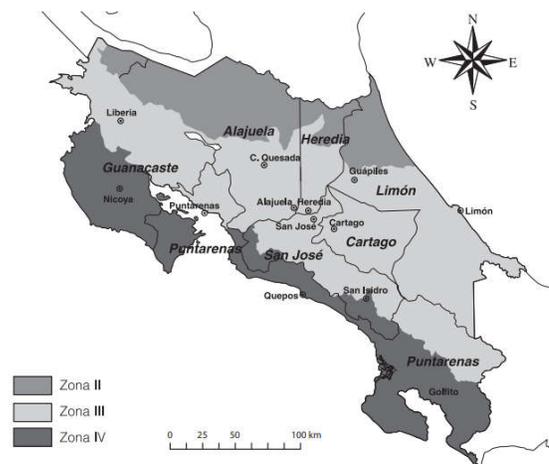
Los estudios de amenaza sísmica se encargan de calcular la función de transferencia  $A$  y la evaluación de la excitación  $X_1$ . Por lo tanto, el objetivo de un estudio de amenaza sísmica consiste en estimar el movimiento del terreno en un lugar determinado como consecuencia de los terremotos o, como mínimo, proporcionar una evaluación del tamaño del terremoto en el lugar en cuestión (Barbat et al, 2005).

## Evaluación de la amenaza sísmica

Existen principalmente dos metodologías para el cálculo de la amenaza sísmica, la determinista o la probabilista, ambas según Villanueva (2016) permiten integrar el conocimiento sismo-tectónico de una región para determinar el grado de intensidad sísmica probable que pudiera ocurrir en la misma.

El enfoque determinístico para la estimación de la amenaza sísmica, DSHA (Deterministic Seismic Hazard Analysis), se puede obtener a partir del análisis de la historia sísmica del sitio, una distancia/falla específica o mediante una intensidad particular, directamente de los registros post-evento provenientes de las redes de acelerógrafos o datos macrosísmicas.

En cambio, el probabilístico para la estimación de la amenaza sísmica, PSHA (Probabilistic Seismic Hazard Analysis), busca definir el comportamiento sísmico de una zona, las fuentes sísmicas y la atenuación del movimiento del suelo, expresando los resultados en forma de probabilidad de ocurrencia de los distintos tamaños de los terremotos, la probabilidad de excedencia de distintos niveles de intensidad del movimiento o a los valores máximos de aceleración. Para este enfoque, el Código sísmico de Costa Rica (CSCR-2010/14) detalla una zonificación sísmica para Costa Rica con valores de aceleración máxima probable y con coeficientes espectrales modificados según el terreno y la importancia (tabla 2.3 del CSCR-2010/14).



**Figura 8.** Zonificación de Costa Rica.  
Fuente: (CSCR-2010/14).

**Cuadro 1. Aceleración pico efectiva de diseño ( $a_{af}$ ) para diferentes zonas sísmicas y tipos de sitio**

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| 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: (CSCR-2010/14).

La principal diferencia, es que el método probabilístico permite asociarle probabilidades de ocurrencia a estos niveles de intensidad, mientras que con el método determinístico se obtienen valores absolutos al evaluar diferentes escenarios sísmicos (Villanueva, 2016).

## Vulnerabilidad sísmica

La vulnerabilidad sísmica se define como la propiedad intrínseca de una estructura o grupos de estructuras a sufrir daños ante la ocurrencia de un movimiento sísmico y está asociada directamente con sus características de diseño y construcción (Bonett, 2003). Esto quiere decir, que aunque una estructura puede depender en cierta medida ante la incidencia de un evento sísmico, esta se puede definir independientemente de la amenaza sísmica de la zona (Lantada, 2007).

Se distinguen tres tipos básicos de vulnerabilidad ante la ocurrencia de sismos. Dependiendo de las características de uso de una edificación, los tipos de vulnerabilidad mencionados tendrán una menor y mayor importancia. Estas vulnerabilidades de acuerdo con Safina (2003) son:

### 1. Vulnerabilidad estructural

Se asocia a la susceptibilidad de los elementos o componentes estructurales de sufrir daño debido a un sismo. Este tipo de vulnerabilidad es el que ha tenido mayor relevancia en la atención prioritaria de los investigadores porque comprende el deterioro físico de aquellos elementos o componentes que forman parte integrante del sistema sismorresistente de la edificación.

### 2. Vulnerabilidad no estructural

Se asocia a la susceptibilidad de los elementos o componentes no estructurales de sufrir daño debido a un sismo. La diferencia entre la vulnerabilidad estructural y no estructural es que los elementos de la última están sujetos a daño considerados no indispensables para que la edificación se mantenga estable. Sin embargo, no significa que una edificación no pueda quedar inhabilitada debido a consecuencias de la vulnerabilidad no estructural, en muchos casos Vargas (2016) menciona que el colapso de equipos mecánicos y elementos arquitectónicos, así como de componentes no fijos de la estructura, pueden dejar a la misma fuera de condiciones admisibles para seguir operando, por lo que la evacuación sería prioritaria. Este tipo de vulnerabilidad tiene relevancia en establecimientos de salud, según Valcárcel (2013) el porcentaje del valor de los elementos no estructurales y de los contenidos puede ser tanto como el 80% del valor total del establecimiento.

### 3. Vulnerabilidad funcional

La vulnerabilidad funcional describe la predisposición de la instalación de ver perturbado su funcionamiento como consecuencia del incremento de la demanda de sus servicios (Safina, 2003). En hospitales, el incremento de sus servicios se puede asociar de acuerdo con Valcárcel (2013) a la organización para la respuesta a emergencias, a la aplicación de planes de emergencias y contingencias internas y externas, al mantenimiento preventivo y correctivo de las líneas vitales y la disponibilidad de recursos para la preparación y respuesta a desastres.

## Tipologías estructurales

Las tipologías estructurales se consideran como un conjunto de clases que agrupa características estructurales similares y se espera que los edificios pertenecientes a cada clase exhiban un rendimiento sísmico similar (Pittore et al, 2018).

El definir un esquema de clases de edificaciones o tipologías de edificaciones de acuerdo con Esquivel (2020) es uno de los pasos críticos en el desarrollo de un modelo de exposición y de una evaluación del riesgo sísmico. Para poder aplicarlo a nivel regional, Lantada (2007) menciona que se debe agrupar

en clases suficientemente amplias para representar el máximo número de edificios y suficientemente concretas para representar bien las diferencias en las características constructivas. Existen diferentes tipologías estructurales propuestas en las últimas décadas. Algunas de estas son: ATC-13, FEMA 154 (ATC-21), EMS-98, HAZUS, PAGER-STR, SYNER-G, GLOSI y GEM. La representación de las clases de las edificaciones en tipologías estructurales debe ser razonable para apoyar a la derivación de curvas de fragilidad apropiadas.

## Parámetros de tipologías

Los parámetros de las tipologías (es decir, los parámetros de vulnerabilidad sísmica) son las características funcionales y de construcción de una estructura de edificio que afectan el rendimiento sísmico de la estructura (GLOSI, 2019). Estos parámetros de acuerdo con el grupo GLOSI se pueden clasificar ampliamente en los siguientes tres tipos:

- **Parámetros primarios**

Afectan y gobiernan altamente el comportamiento sísmico esperado de un edificio. Los atributos asociados definen colectivamente una tipología estructural. Estos atributos son:

- Sistema estructural principal: define aspectos fundamentales del comportamiento sísmico esperado, como la flexibilidad, la resistencia lateral y la ductilidad (es decir, la capacidad de deformación inelástica) del sistema estructural. El material se puede integrar en este atributo, aunque también puede ser considerado como un atributo separado.
- Rango de altura: La altura del edificio controla las características vibratorias de la estructura del edificio.
- Nivel de diseño sísmico: Corresponde a la calidad de los materiales de construcción, el nivel de mano de obra, los detalles estructurales y la integridad de los elementos estructurales en la construcción del edificio en términos de resistencia a los terremotos. Un edificio mal diseñado ciertamente tendrá un rendimiento menor que uno bien diseñado dado el mismo evento sísmico.

- **Parámetros secundarios**

Son un grupo de características que jugarán un papel clave en la modificación del comportamiento esperado habitual de una tipología estructural, que se clasifica de acuerdo con los tres parámetros principales. Estos pueden variar dependiendo de los atributos propuestos en algunas metodologías, por lo general son: ocupación, tipo de diafragma, tipo de techo, irregularidad estructural, tipo de cimentación y componentes no estructurales, entre otros.

- **Parámetros intrínsecos**

Los parámetros intrínsecos son las características específicas del edificio, como las dimensiones geométricas, el diseño arquitectónico y las propiedades mecánicas de los materiales de construcción. Estas no suelen incluirse explícitamente en la cadena de la taxonomía, pero son necesarios para la definición completa de las tipologías.

## Sistema estructural en Costa Rica

A continuación, se describen los sistemas estructurales más usados en nuestro país considerados dentro del cuerpo del Código sísmico de Costa Rica 2010/14 (CFIA, 2018).

- Tipo marco: aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de 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 sismorresistentes.
- Tipo muro: aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de: a) marcos arriostrados de concreto reforzado, acero o madera, b) muros de concreto, mampostería reforzada, acero o madera, o c) la combinación de sistemas sismorresistentes descritos en a) y b), 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.

- Tipo dual: son sistemas sismorresistentes constituidos por: a) marcos de concreto reforzado, acero o madera, y b) muros de concreto o de mampostería reforzada, marcos arriostrados de concreto reforzado, acero o madera. También se incluyen dentro de este tipo los sistemas sismorresistentes constituidos por marcos parcialmente arriostrados, solos o en combinación con alguno de los sistemas (a) y (b) anteriores. Estos sistemas están vinculados o no por medio de un sistema horizontal o entrepiso de concreto reforzado, acero u otros, en cada nivel
- Tipo voladizo: aquellas edificaciones que resisten las fuerzas sísmicas por medio de sistemas sismorresistentes 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.

También, el laboratorio de ingeniería sísmica (2011) menciona que existen algunos sistemas constructivos “modernos” o de más uso en la actualidad, los cuales son: la mampostería, la madera o el bambú, las estructuras de perfil metálico y cerramientos livianos, y los paneles prefabricados. De igual forma, se menciona que la mampostería es el sistema más utilizado en Costa Rica. Incluso desde épocas anteriores Castro (2017) menciona que se empleaban sistemas con mampostería no reforzada y confinada con unidades sólidas y de arcilla cocida.

## Evaluación de la vulnerabilidad sísmica

La cuantificación de la vulnerabilidad sísmica de estructuras se puede realizar mediante dos tipos de técnicas. La técnica relativa de acuerdo con Safina (2003) no permite de manera directa estimar los daños esperados para un nivel de acción sísmica determinada, sino que permiten calificar de manera relativa la mayor o menor predisposición de una estructura a sufrir daño, mientras que la técnica absoluta permite estimar de una manera directa los daños físicos esperados para los diferentes niveles de la acción sísmica.

Entre las técnicas relativas para la cuantificación de la vulnerabilidad sísmica destacan las basadas en la definición de clases de vulnerabilidad e índices de vulnerabilidad. Entre las técnicas absolutas para la cuantificación de la vulnerabilidad sísmica destacan las basadas en matrices de probabilidad de daño, funciones de vulnerabilidad y curvas de fragilidad.

## Exposición

La exposición se entiende como a la caracterización de activos, como sistemas de infraestructura y edificios, que pueden ser afectados negativamente por la amenaza (WB, 2013). Según Villar-Vega et (2017) un modelo de exposición describe la distribución espacial de los elementos expuestos a una amenaza, así como su valor y tipo de vulnerabilidad.

Para iniciar con un modelo de exposición uno de los primeros elementos es crear un inventario estructural de edificaciones. Por lo que, mediante un inventario estructural se puede estimar la cantidad de edificaciones con determinados atributos estructurales en un espacio geográfico (Esquivel, 2020).

## Método de la inspección visual rápida

Este tipo de métodos también en inglés llamados Rapid Visual Screening -RVS, utilizan cuestionarios que se pueden llenar desde el exterior de las edificaciones, aunque pueden ofrecer las opciones de un cuestionario más detallado en caso de ingresar a las edificaciones (Esquivel, 2020).

El Rapid Visual Screening (RVS) es un procedimiento desarrollado por la Agencia Federal para el Manejo de Emergencias de los Estados Unidos de América (FEMA – Federal Emergency Management Agency) y expuesto en el documento P-154 (FEMA, 2015), es utilizado como una herramienta en una fase preliminar para identificar, inventariar y calificar los edificios. Los datos para la identificación de las edificaciones se recogen en un formulario donde se coloca información referente a ella como su uso y tamaño, fotografías del edificio, bocetos y los datos pertinentes relacionados con

el rendimiento sísmico, se suele incluir puntuaciones numéricas para la cuantificación del riesgo sísmico.

También, se han desarrollado otros métodos de inspección visual rápida como por ejemplo, la norma japonesa “Evaluación Sísmica de Edificios Existentes de Concreto Reforzado” (Japan Building Disaster Prevention Association, 2001), un manual canadiense llamado “Inspección Visual de Edificios para Investigaciones Sísmicas” y el propuesto en la tesis de Valcárcel (2013) con formularios para la evaluación de edificaciones esenciales.

## Riesgo Sísmico

Una de las herramientas con las que cuenta la sociedad para la reducción de los daños debido a los terremotos son los estudios de riesgo sísmico (Chavarría y Castillo, 2016). El riesgo sísmico se

define como la probabilidad de daño de una estructura cuando ocurra un cierto evento sísmico en un periodo determinado, este daño va a estar asociado a la resistencia que tenga la estructura, es decir a su vulnerabilidad sísmica (Lantada, 2007).

Por lo tanto, el riesgo sísmico de acuerdo con Lantada (2007) se suele expresar matemáticamente como una función de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad sísmica; más comúnmente se determina como la convolución entre estas variables como se muestra en la Figura 9. Según menciona Schmidt (2010), los estudios de riesgos sísmico deben ser multidisciplinarios, por lo que se ha vuelto necesario que participen profesionales de distintas áreas como urbanistas, ingenieros estructurales, geólogos, ingenieros geotécnicos, sismólogos, profesionales que gestionan emergencias, entre otros.

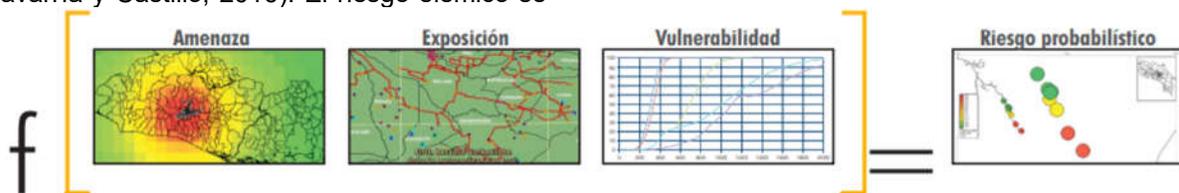


Figura 9. Los tres factores de riesgo de desastre (amenaza, exposición y vulnerabilidad) y el correspondiente componente de evaluación del riesgo.

Fuente: Tomado de World Bank (2013).

## El daño sísmico

El daño pretende representar el deterioro físico de los diferentes elementos o el impacto económicos asociado. Por ende, es común referirse al daño como daño físico y daño económico (Safina, 2003). Los estudios de vulnerabilidad y riesgo sísmico suelen centrar la atención en la descripción de los daños físicos que pueden sufrir las edificaciones producto de la acción sísmica. La cuantificación depende de la manera como se describan los daños, por lo que, surgen diferentes escalas de medición. El daño físico que puede sufrir una edificación se califica como:

- **Daño estructural:** Depende del comportamiento de los elementos que forman parte del sistema estructural tales como, las vigas, las columnas, las losas o las cimentaciones durante un sismo. Se relaciona con las características de los

materiales que le componen, su configuración y ensamblaje, el tipo del sistema estructural y las características de acción. De acuerdo con Safina (2003) se cuantifica mediante índices de daño correspondientes a cada uno de los elementos cuya ponderación permite la definición de los índices de daño globales.

- **Daño no estructural:** Son los daños que surgen en los elementos que no forman parte del sistema estructural. Se asocia a los elementos arquitectónicos y los sistemas mecánicos, eléctricos, sanitarios, así como del contenido de la edificación. De acuerdo con Safina (2003) se relaciona con los niveles de deformación y distorsión que sufre la estructura y en ocasiones, con las aceleraciones a las que está sometida durante el proceso.

## Estados o grados de daño

Los estados de daño de la edificación sirven como una primer alternativa para describir el nivel de daño mediante definiciones cualitativas que sirven como indicadores del grado de daño global de la edificación o del nivel de perturbación que sufre el mantenimiento de sus funciones (Safina, 2003). Existen diversas metodologías que describen los estados de daño y características físicas asociadas a cada nivel de daño, en el Cuadro 2 se muestran relaciones entre los estados de daño según la recopilación de Lantada (2007) para algunas metodologías como MSK, EMS-98 (Grunthal et al, 1998), ATC-25 y ATC-13.

También, hay que tener en cuenta que los daños en las edificaciones pueden depender del tipo de estructuras. Calderón (2018) indica que según la tipología estructural se establecen características físicas asociadas a la ocurrencia de cada estado de daño. La escala de intensidad macrosísmica europea de EMS-98 (Grunthal et al, 1998) determina estas características para los casos de estructuras de concreto reforzado y mampostería como se muestra en el Cuadro 4.

| <b>Cuadro 2. Relación de estos de daño para varias metodologías</b> |  |   |   |   |
|---|--|---|---|---|
| MSK   | EMS - 98   | ATC - 25  | ATC - 13                                | Descripción del grado o estado de daño  |
| Sin daño  | Sin daño   | Sin daño  | Estado 1<br>Daño nulo<br>(None)         | Sin daño  |
| Grado 1<br>Daño ligero<br>(Slight)                                  | Grado 1 Daño entre insignificante y leve<br>(Negligible to light damage)                       | Daño ligero<br>(Light)                            | Estado 2<br>Daño leve<br>(Slight)       | Daño insignificante, limitado y localizado, que no necesita reparación  |
| Estado 3<br>Daño ligero<br>(Light)                                  | Daño localizado significativo de algunos elementos que, en general, no requieren ser reparados |   | Estado 3<br>Daño ligero<br>(Light)      | Daño localizado significativo de algunos elementos que, en general, no requieren ser reparados                                      |
| Grado 2<br>Daño moderado<br>(Moderate)                              | Grado 2 Daño moderado<br>(Moderate damage)   | Daño moderado<br>(Moderate)                       | Estado 4<br>Daño moderado<br>(Moderate) | Daño localizado significativo de algunos elementos que requieren reparación   |
| Grado 3<br>daño severo<br>(Heavy)                                   | Grado 3 Daño entre sustancia y severo<br>(Substantial to heavy damage)                         | Severo<br>(Heavy)                                 | Estado 5<br>Daño Severo<br>(Heavy)      | Daño generalizado que requiere reparaciones importantes   |
| Grado 4<br>Destrucción<br>(Destruction)                             | Grado 4 Daño muy severo<br>(Very heavy damage)   | Entre extensivo y colapso<br>(Major to destroyed) | Estado 6<br>(Mayor)                     | Daño importante y general que puede causar que el edificio quede devastado, deforma que requiera ser demolido o totalmente reparado |
| Grado 5<br>Colapso<br>(Total damage)                                | Grado 5 Destrucción<br>(Destruction)   |   | Estado 7<br>Colapso<br>(Destroyed)      | Destrucción total de la mayor parte del edificio  |

Fuente: Lantada (2007).

**Cuadro 3. Características físicas asociadas a cada nivel de daño según edificios de mampostería o concreto reforzado**

| Estado de daño   | Clasificación del daño en edificios de mampostería   | Clasificación del daño en edificios de concreto armado   |
|--|--|--|
| <p>Ds1: Leve</p>        | <p>Grietas muy delgadas en muy pocos muros.<br/>Caída de pequeños pedazos de enlucido o enfoscado.<br/>Caída de rocas sueltas desde la parte alta de edificios en muy pocos casos</p>                            | <p>Grietas delgadas en el guarnecido sobre los elementos de la estructura o en la base de los muros.<br/>Grietas delgadas en particiones y tabiques</p>  |
| <p>Ds2: Moderado</p>    | <p>Grietas en muchos muros.<br/>Caída de pedazos grandes de guarnecido</p>   | <p>Grietas en columnas y vigas y en muros estructurales. Grietas en particiones y tabiques, caída de revestimiento frágil y guarnecido.<br/>Caída de mortero en las uniones de paneles de muros</p>  |
| <p>Ds3: Severo</p>      | <p>Grietas largas y extensas en caso todos los muros.<br/>Caída de tejas.<br/>Fractura de las chimeneas en la línea del techo, fallo de los elementos individuales no estructurales (particiones, frontones)</p> | <p>Grietas en columnas y uniones entre columnas y vigas de la estructura en la base y en las uniones de muros acoplados. Desprendimiento del revestimiento del concreto, torcedura de varillas de refuerzo. Grandes grietas en muros de particiones y en tabiques, fallo de tabiques individuales.</p> |
| <p>Ds4: Completo</p>  | <p>Fallo serio de los muros, fallo estructural parcial de techos y pisos</p>   | <p>Grandes grietas en elementos estructurales con fallo por compresión del concreto y fractura de barras corrugadas, fallos en la junta de vigas reforzadas, inclinación de columnas. Colapso de algunas columnas o de un único piso superior</p>  |
| <p>Ds5: Colapso</p>   | <p>Colapso total o casi total</p>  | <p>Colapso de la planta baja o partes de edificios (por ejemplo, alas)</p>   |

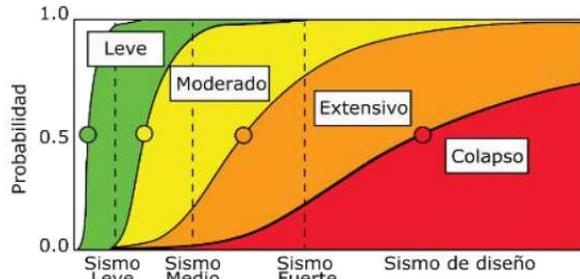
Fuente: Grunthal et al (1998).

## Curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad se definen como la representación gráfica de la función de distribución acumulada de la probabilidad de alcanzar o exceder un estado de daño límite específico, dada una respuesta estructural, ante una acción sísmica determinada (Alas y Grijaldo, 2018). Esto quiere decir, que las curvas de fragilidad son un recurso gráfico que vincula la

probabilidad de daño en función de una medida de intensidad asociada a la demanda sísmica (IM).

Estas curvas de acuerdo con Velásquez (2006) sirven para estimar el riesgo sísmico de grupos de edificios con características estructurales similares o de una estructura esencial (puente, planta nuclear, aeropuerto, líneas vitales, hospital). En la Figura 10 se muestra un ejemplo de curvas de fragilidad para cuatro estados de daño.



**Figura 10.** Ejemplo de curva de fragilidad para cuatro estados de daño.

Fuente: Tomado de HAZUS-MH 2.1 (FEMA, 2003).

Las curvas de fragilidad son construidas siguiendo una distribución de probabilidad tipo log-normal, por lo que, se pueden definir mediante dos parámetros estadísticos: un valor medio y un valor de dispersión, con lo cual se puede establecer una función de fragilidad expresada como:

$$P[d_i/IM] = \Phi \left[ \frac{1}{\beta_{d_i}} \ln \left( \frac{IM}{IM_{d_i}} \right) \right]$$

Donde:

- $IM_{d_i}$ : El valor medio de la medida de intensidad sísmica ( $IM$ ) en el que la estructura alcanza el umbral del estado de daño  $D_s$ .
- $\beta_{d_i}$ : Desviación estándar del logaritmo natural.
- $IM$ : Medida de intensidad asociada a la demanda sísmica.
- $\Phi$ : Función de distribución log-normal estándar acumulada.

## Métodos para desarrollar curvas de fragilidad

Existen diferentes métodos que se pueden emplear para desarrollar curvas de fragilidad en el campo de la ingeniería. De acuerdo con el grupo SYNER-G (Kaynia et al., 2013) normalmente se clasifican en 4 categorías, estas son:

### • Métodos empíricos

Los métodos empíricos se basan en estadísticas extensivas de los estados de daño de varias tipologías sometidas a carga sísmica, lo cual se

realiza mediante el estudio de la información de sismos pasados y de la información obtenida en campo sobre los daños en los elementos expuestos (Kaynia et al., 2013).

Los métodos empíricos tienen la ventaja de estar basados en los datos reales observados, considerando varios efectos como la interacción suelo estructura, efectos topográficos y litológicos del sitio y en la variabilidad en la capacidad estructural de un grupo de edificios; al mismo tiempo tiene la desventaja de que son derivadas para una región con características específicas de las estructuras y de la zona (Kaynia et al., 2013).

### • Métodos de juicio experto

Estos métodos se pueden obtener por medio del juicio de expertos cuando no existe información proveniente de pruebas y el cálculo de la capacidad probable de las estructuras no es factible. La opinión de expertos puede usarse para determinar los parámetros de fragilidad siendo versátiles y fáciles de establecer, sin embargo, son debatibles debido a la dependencia de la experiencia de los expertos consultados. Una alternativa de procedimiento a seguir se encuentra en el ATC-13 (ATC, 1985).

También, dentro de la categoría de juicio de expertos se encuentran los modelos macro sísmicos, los cuales son extensamente utilizados y consisten en determinar índices basados en un diagnóstico visual (basada en la opinión de los expertos) para un grupo de edificios. En estos modelos se considera el sistema sismorresistente, el material, la altura de los edificios, tipos de entrepiso, pisos blandos, calidad de la construcción, irregularidades, elementos no estructurales, edad del edificio, etc. (Kaynia et al., 2013).

### • Métodos analíticos

Los métodos analíticos están basados en la estimación de distribuciones de daños obtenidos a través de la modelación de la respuesta estructural de los elementos sujetos a la acción sísmica (Kaynia et al., 2013). En general resulta en una amplia credibilidad de la estimación de la vulnerabilidad. Dentro de estos métodos según Calderón (2018) se encuentran dos de los más populares:

- Método del espectro de capacidad (CSM): Está basado en el uso de la curva de

capacidad realizada de un análisis tipo “pushover”.

- Análisis dinámico incremental (IDA): Comprende la realización de análisis dinámicos no lineales bajo una serie de registros de movimiento del suelo.

Existen procedimientos propuestos por distintas organizaciones en los documentos: FEMA P58-1 (ATC, 2012), Hazus-MH 2.1 (FEMA, 2011), GEM technical report 2014-12 (D’Ayala et al., 2014), SYNER-G Reference Report 4 29 (Kaynia et al., 2013), Risk-UE WP4 (Milutinovic & Trendafiloski, 2003), para determinar las curvas de fragilidad con métodos tanto estáticos como dinámicos.

### • Métodos híbridos

Los métodos descritos anteriormente pueden combinarse de manera que pueda utilizarse un método híbrido basado en datos analíticos y observados, que se completa por medio del juicio de expertos. La gran ventaja del método es lograr que las deficiencias de un método se complementen con las fortalezas del otro, compensando las carencias de los datos observados, del modelo estructural y la subjetividad del juicio de los expertos (Kaynia et al., 2013).

Por otro lado, la desventaja de combinar los métodos es que también se debe combinar de alguna manera la dispersión asociada a cada uno de ellos, lo que a su vez se traduce en una respuesta menos confiable del nivel de daño (Navarro, 2019).

## Matriz de probabilidad de daño

La matriz de probabilidad de daño determina la probabilidad de que un edificio sufra un nivel de daño para una actividad sísmica determinada. Estas representan el daño estructural en función de una intensidad sísmica fijada (Lantada, 2007).

Las matrices de daño se determinan ingresando una medida de intensidad asociada a la demanda sísmica (IM) en las curvas de fragilidad (ver Figura 11 y Figura 12), para obtener las probabilidades de ocurrencia de cada estado de daño (Moreno y Bairán, 2012). La determinación de la probabilidad de ocurrencia para cada estado de daño queda definida por las siguientes ecuaciones:

$$P\left[DS = \frac{ds_i}{IM}\right] = \begin{cases} 1 - P\left[DS \geq \frac{DS_i}{IM}\right] & i = 0 \\ P\left[DS \geq \frac{ds_i}{IM}\right] - P\left[DS \geq \frac{DS_{i-1}}{IM}\right] & 0 < i \leq n-1 \\ P\left[DS \geq \frac{ds_i}{IM}\right] & i = n \end{cases}$$

Donde:

- $P[DS_i = d_i/IM]$ : Es la probabilidad de que se alcance o supere un nivel de daño,  $ds_i$ , dada la medida de intensidad sísmica IM (curvas de fragilidad).
- $P[DS \geq ds_i/IM]$ : Es la probabilidad de que los edificios estén dentro de  $ds_i$  para IM (DPM).
- $ds_{n-1}$ : Es el estado de daño más alto.

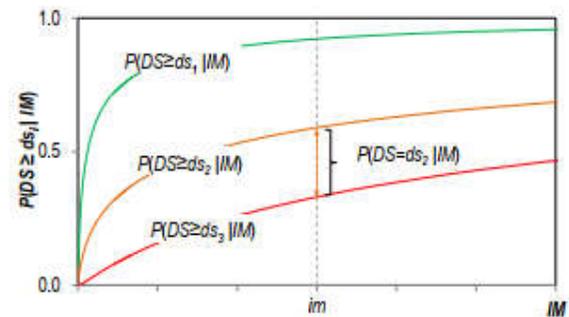


Figura 11. Representación de una curva de fragilidad correspondiente a n=3 estados de daño para la misma clase de edificio.

Fuente: (Rossete et al, 2015).

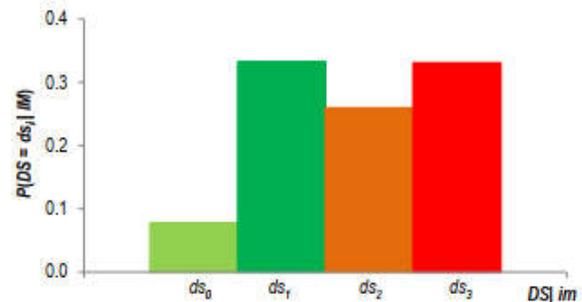


Figura 12. Representación de columnas de matriz de probabilidad de daño para la intensidad IM.

Fuente: (Rossete et al, 2015).

## Índice de daño medio (ID)

Cuando se obtienen las probabilidades de ocurrencia de cada estado de daño  $P(DSi)$  determinadas de acuerdo con la matriz de probabilidad de daño, se puede calcular el índice de daño medio (ID). Este dato se puede interpretar como una medida del daño global

esperado de la estructura siendo un estado de daño medio normalizado (Calderón, 2018).

El ID se obtiene mediante el uso de una media ponderada que asigna más peso a los estados de daño más altos y se calcula de la siguiente manera:

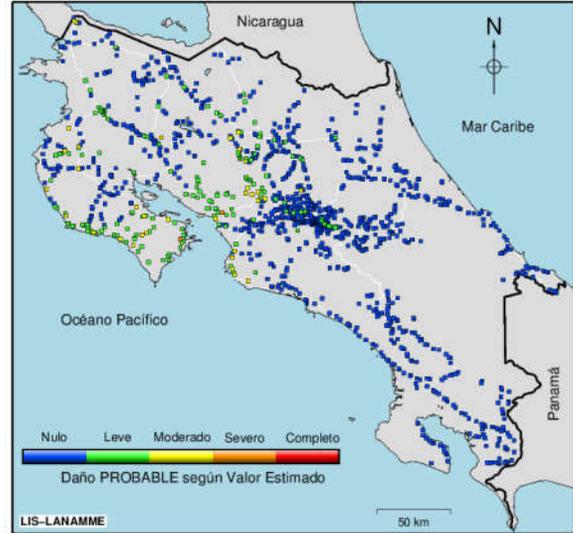
$$ID = \frac{1}{n} \sum_{i=0}^n iP(ds_i)$$

Donde:

- $n$ : es el número de estados de daño considerados.
- $P(ds_i)$ : es la probabilidad de  $ds_i$ .

Este parámetro permite obtener una clasificación discreta del daño, es decir, clasificar el daño global en alguno de los diferentes estados de daño a definir, permitiendo obtener de forma clara el daño global del edificio y útil para evaluar la seguridad de edificios esenciales considerando los requerimientos planteados por el Comité VISION 2000 (SEAOC 1995) para diferentes niveles de comportamiento esperado. También, puede ser utilizado para representar, en mapas, las distribuciones de daño y obtener escenarios de riesgo sísmico de un área determinada (Herrera, 2016). Por ejemplo, se muestra en la

Figura 13 los grados de daño estimados en tiempo real para los sismos que forman parte del protocolo de inspección post-sismo de estructuras de puentes propuesto por la Unidad de Puentes del LanammeUCR (LIS).



**Figura 13.** Grado de daño posible para los puentes inventariados según las zonas de amenaza sísmica. Fuente: LIS (2016).

# Metodología

La metodología del trabajo consistió en tres diferentes tipos de investigaciones. A continuación, se detalla cada una de estas:

## Investigación documental

Este tipo de investigación es la que se realiza apoyándose en fuentes de carácter documental, esto es, en documentos de cualquier especie (Behar, 2008). Otra definición proporcionada por Tancara (1993) consiste en una serie de métodos y técnicas de búsqueda, procesamiento y almacenamiento de la información contenida en los documentos, en primera instancia, y la presentación sistemática, coherente y suficientemente argumentada de nueva información en un documento científico, en segunda instancia.

Lo indicado anteriormente se relaciona a lo desarrollado en el proyecto en la obtención de la información de múltiples fuentes y lograr tener la noción de profundizar en el tema. También, se procesó la información obtenida para el desarrollo del marco teórico y cada uno de los objetivos planteados.

## Investigación aplicada

La investigación aplicada tiene como objetivo el estudio de un problema destinado a la acción. Por lo que, enfoca su atención en las posibilidades concretas de llevar a la práctica las teorías generales, y destina sus esfuerzos a resolver las necesidades que se plantea la sociedad (Baena, 2017). Para este proyecto se efectuó la comprobación de la guía desarrollada mediante la inspección con formularios en un establecimiento de salud bajo los criterios establecidos en la investigación. Además, se pretende utilizar en campo los conocimientos adquiridos en este proyecto, por esto se considera como una investigación aplicada.

## Investigación descriptiva

La investigación descriptiva de acuerdo con Behar (2008) busca caracterizar un objeto de estudio o una situación concreta, señalar sus características y propiedades. También, esta investigación combinada con ciertos criterios de clasificación permite ordenar, agrupar o sistematizar los objetos involucrados en el trabajo indagado. En el caso del presente proyecto, se aplicaron los formularios de inspección para describir las características estructurales tanto cualitativas como cuantitativas de las edificaciones de una forma ordenada y permitir el uso de la información para la asignación de curvas de fragilidad típicas.

## Etapas de la investigación

La presente investigación se dividió en tres etapas siguiendo los objetivos específicos planteados, como se muestra en la siguiente figura.

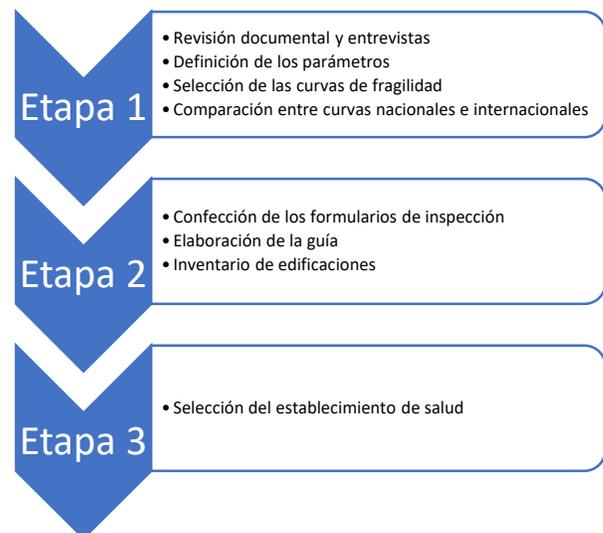


Figura 14. Diagrama de flujo de la metodología.

# Etapa 1

**Objetivo específico 1:** Seleccionar curvas de fragilidad típicas de acuerdo con tipologías estructurales que representen la variedad de la infraestructura de la Caja Costarricense del Seguro Social.

## Revisión documental

Consistió en una revisión exhaustiva de tesis, libros, manuales, bases de datos, entre otros; referentes al riesgo sísmico y los factores que lo componen, principalmente, el componente de la vulnerabilidad sísmica y su evaluación mediante el uso de curvas de fragilidad.

Por lo tanto, se realizó un análisis a las curvas de fragilidad propuestas por trabajos de investigación a nivel nacional como el denominado “Curvas de fragilidad según el método del espectro de capacidad para tipologías estructurales definidas en el Código Sísmico de Costa Rica” (Calderón, 2018) y el trabajo “Probabilistic seismic vulnerability and loss assessment of the residential building stock in Costa Rica” (Calderón y Silva, 2019), estos sirvieron como principales referencias para la selección de curvas de fragilidad enfocadas en Costa Rica.

A nivel internacional, se examinaron las curvas de fragilidad desarrolladas por diversas metodologías. Se consultó el manual técnico del programa HAZUS-MH (FEMA, 2003) del Federal Emergency Management Agency (FEMA), así como, el proyecto de investigación del SYNER-G (Kaynie, 2013) que generó un compendio para Europa donde se encuentran las curvas de fragilidad desarrolladas por el RISK-UE (Milutinovic y Trendafiloski, 2003). También, se hizo uso de la base de datos digital OpenQuake del Global Earthquake Model (GEM) donde se almacena una serie de curvas de fragilidad internacionales, como las que fueron mencionadas anteriormente.

## Entrevistas

Las entrevistas de acuerdo con Behar (2008) se pueden clasificar en tres tipos: entrevistas estructuradas, entrevistas semiestructuradas y entrevistas no estructuradas. Para efectos del proyecto, se aplicó la técnica de la entrevista semiestructurada por medios virtuales a ingenieros de la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) y el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS-INII) debido a que estas instituciones son las que van a hacer uso de la información recopilada procedente del trabajo de investigación. Por lo que, las entrevistas como fuente primaria permitieron establecer parámetros en el proceso de la selección de curvas de fragilidad que proceden de diversos referentes. Los principales parámetros de los que se obtuvo información tratan sobre la clasificación o tipologías de estructuras, medida de intensidad sísmica y estados de daño.

Se estableció una comunicación con el Ing. Javier Castro miembro del Programa de Seguridad Sísmica de la Dirección de Administración de Proyecto Especiales (DAPE) de la CCSS, donde se le realizaron preguntas sobre las tipologías estructurales típicas que presenta la infraestructura hospitalaria de la CCSS según su experiencia.

Por otro lado, se estableció contacto con el Ing. Diego Hidalgo que forma parte del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) para realizar consultas sobre las medidas de intensidad sísmica que obtienen con los acelerogramas, permitiendo relacionar este parámetro con las curvas de fragilidad y estimar los daños probables en el caso de un evento sísmico. Además, por la experiencia de las investigaciones realizadas en la institución, se realizaron consultas sobre las referencias a considerar para realizar la selección de curvas de fragilidad y sus consideraciones sobre cómo fueron desarrolladas las curvas de fragilidad y sus estados de daño para ser utilizadas a nivel nacional.

## Definición de los parámetros

Se definieron los parámetros que permiten establecer las curvas de fragilidad a ser seleccionadas. Los principales parámetros son: tipologías estructurales, medida de intensidad sísmica y estados del daño.

A continuación se muestran las consideraciones tomadas en cuenta para los parámetros:

## Tipologías estructurales

Existen varias clasificaciones estructurales para el análisis de vulnerabilidad sísmica, por lo que se realizó una modificación y revisión de los métodos propuestos de clasificación estructural realizada en la generación de las curvas de fragilidad en otros países, para adaptarlo a nuestras condiciones locales.

Para la clasificación de las estructuras, se tomó como base los sistemas propuestos en el “Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards: A Handbook” (FEMA P-154, 2015), la “Guía de Evaluación Rápida de Edificaciones Post Evento Sísmico” (Castro, 2017) y teniendo en cuenta las consideraciones expresadas en el Código sísmico de Costa Rica en sus diferentes versiones.

Se definió un total de 33 tipologías estructurales necesarias que abarcan la infraestructura de la Caja Costarricense del Seguro Social, por ende, son tipologías que han sido empleadas en Costa Rica.

Estas tipologías cuentan con los atributos necesarios para la asignación de curvas de fragilidad típicas, estos atributos son:

- Tipo de material
- Tipo de sistema estructural
- Número de pisos
- Edad o año de construcción

También, se consideraron algunos aspectos que forman parte de la clasificación, pero que no contribuyen a la asignación de curvas de fragilidad, estos atributos son:

- Tipo de ocupación
- Tipo de entrepiso
- Tipo de techo

En el Cuadro 4 se muestran los distintos materiales y tecnologías del material como lo fue la separación del acero en dos materiales y los

sistemas estructurales para cada material. Junto a esto, se generó un código de nomenclatura en el proyecto que permite identificar cada material y sistema estructural de forma simplificada.

| <b>Cuadro 4. Características estructurales consideradas para las tipologías estructurales</b> |               |                            |               |
|---|---------------|----------------------------|---------------|
| <b>Material</b>   | <b>Código</b> | <b>Sistema estructural</b> | <b>Código</b> |
| Concreto reforzado  | CR            | Marco                      | M             |
|   |               | Muro                       | MU            |
|   |               | Dual                       | D             |
|   |               | Prefabricado               | P             |
| Mampostería   | M             | No reforzado (simple)      | NR            |
|   |               | No reforzado confinada     | NRC           |
|   |               | Reforzada (integral)       | RI            |
|   |               | Reforzada confinada        | RC            |
| Acero laminado en caliente  | S             | Marco                      | M             |
|   |               | Marco arriostrado          | MU            |
|   |               | Dual mixto                 | D             |
| Acero laminado en frío  | SL            | Marco                      | M             |
| Madera  | W             | Marco                      | M             |
|   |               | Muro                       | MU            |

Los números de pisos definidos en las tipologías fueron agrupados en tres rangos de alturas adoptados de la metodología de HAZUS, el código de nomenclatura establecido se indicaba entre paréntesis. Estos tres rangos son los siguientes:

- Baja (B): 1 a 3 pisos.
- Media (M): 4 a 7 pisos.
- Alta (A): 8 o más pisos.

En la Figura 15 se muestra un ejemplo de la forma de representar el código de nomenclatura para cada tipología estructural, donde primero se indica el material, luego, el sistema estructural y, finalmente, el rango de altura en el que se encuentra la edificación separados por guiones medios.

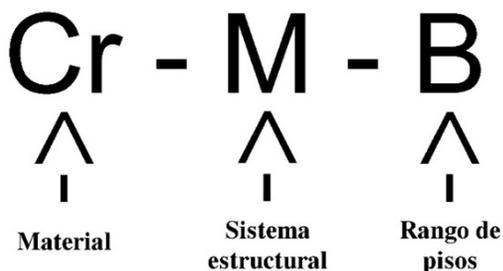


Figura 15. Ejemplo de código utilizado para las tipologías.

Además, de la nomenclatura definida en el proyecto, se decidió incluir la nomenclatura o taxonomía de GEM a cada una de las tipologías estructurales definidas, donde el significado de cada nomenclatura se encuentra con detalle en el GEM Building Taxonomy (Brzev et al, 2013).

## Medida de intensidad sísmica

Se decidió utilizar como parámetro indicador de la acción sísmica, las dos siguientes medidas de intensidad:

- Aceleración máxima del terreno (PGA)
- Aceleración espectral ( $S_a$ )

De acuerdo con estas medidas, las referencias sobre las curvas de fragilidad tuvieron que estar relacionadas a estos valores. Cabe mencionar que las curvas de Hidalgo et al (2020), los valores

fueron brindados con la conversión en PGA realizada por el Ingeniero Diego Hidalgo que corresponden a las curvas desarrolladas en el trabajo de Calderón (2018) con una medida de intensidad inicial en desplazamiento espectral ( $S_d$ ). Las curvas de fragilidad del HAZUS-MH (2003) que se encuentran en PGA del documento no fueron utilizadas, sino las que brinda la base de datos del GEM debido a que esta base de datos proporciona modificaciones efectuadas a los valores de la desviación estándar.

## Estados de daño

Para los estados de daño se estableció utilizar curvas de fragilidad con cuatro estados de daño discreto: leve, moderado, severo y completo. Incluyendo también el estado sin daño, pero que no se representa mediante curva alguna.

Tomando en cuenta los estados de daño presentados en el marco teórico de algunas metodologías, se propuso el Cuadro 5 donde se indica el porcentaje del daño que se obtiene aplicando la fórmula del índice de daño medio (ID). Para los índices se propuso los estados de daño estructural, no estructural y nivel de comportamiento de la edificación.

| <b>Cuadro 5. índices de daño propuestos y niveles de comportamiento.</b> |  |   |                                       |
|--|--|---|---------------------------------------|
| % de daño  | Estado de daño estructural <sup>a)</sup> | Estado de daño no estructural <sup>b)</sup> | Nivel de comportamiento <sup>c)</sup> |
| 0 – 0.1  | Sin daño                                 | Daño leve                                   | Completamente operacional             |
| 0.1 – 0.35   | Leve                                     | Moderado                                    | Operacional                           |
| 0.35 – 0.60  | Moderado                                 | Severo                                      | Seguridad de la vida                  |
| 0.60 – 0.80  | Severo                                   | Muy severo                                  | Cerca del colapso                     |
| 0.80 - 1   | Completo                                 | -   | Colapso                               |

Fuente: a) Valcárcel (2013), b) Calderón (2018), c) SEAOC (1995).

## Selección de curvas de fragilidad

A partir de la revisión documental, las entrevistas con los ingenieros de las instituciones y la definición de los parámetros. Se seleccionó un total de 145 curvas de fragilidad para las

tipologías definidas considerando curvas desarrolladas a nivel regional para código alto y curvas de metodologías HAZUS-MH y RISK-UE para código alto, código moderado, código bajo y pre-código. La información resumida de las referencias utilizadas se encuentra en el apéndice A.

Estas curvas de fragilidad se plasmaron en una serie de tablas con los valores medios ( $\mu$ ) y las desviaciones típicas ( $\beta$ ) de las curvas de fragilidad existentes asociadas a los estados de daño leve, moderado, extensivo y completo con sus respectivas medidas de intensidad sísmica.

## Comparación entre curvas nacionales e internacionales

Al seleccionar las curvas de fragilidad, se procedió a realizar comparaciones entre las curvas nacionales de Hidalgo et al (2020) y las curvas internacionales de HAZUS-MH (2003) y RISK-UE (2003) para establecer similitudes entre ellas y conocer la aplicabilidad en nuestro país de acuerdo con los sistemas constructivos nacionales. Se hizo uso del software Fragility Function Manager desarrollado por SYNER-G para la visualización y comparación de las curvas de fragilidad.

Se realizaron cuatro comparaciones entre dos curvas de tipologías estructurales similares para código alto con la misma medida de intensidad (IM) y estados de daño. Los materiales considerados fueron concreto reforzado de marco (CR-M-M) y sistema dual (CR-D-M) ambas para alturas medias, marcos de acero de altura media (S-M-M) y mampostería reforzada confinada de baja altura (M-RC-B). En el Cuadro 6 y Cuadro 7 se muestran los parámetros de las curvas de fragilidad utilizados.

Finalmente, se evaluaron las curvas de fragilidad para el caso de sismo extremo en un tipo de sitio de suelo S3 y una zona sísmica III para un periodo de retorno de 475 años según como se define en el CSCR-2010/14. Con esto se pueden obtener la probabilidad de excedencia de cada uno de los estados de daño y con estos valores calcular el índice de daño medio (ID).

| <b>Cuadro 6. Fragilidad estructural de tipologías estructurales nacionales para código de diseño alto.</b> |  |         |          |         |        |         |          |         |
|--|--|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
| Código tipología   | Valor medio en PGA ( $\mu$ ) y desviación estándar del logaritmo ( $\beta$ ) IM= PGA |         |          |         |        |         |          |         |
|  | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|  | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| CR-M-M   | 0.079  | 0.331   | 0.113    | 0.310   | 0.440  | 1.140   | 1.625    | 1.206   |
| CR-D-M   | 0.097  | 0.330   | 0.139    | 0.300   | 0.616  | 1.210   | 2.245    | 1.160   |
| S-M-M  | 0.419  | 0.334   | 0.653    | 0.502   | 1.249  | 0.724   | 3.321    | 0.923   |
| M-RC-B   | 0.625  | 0.170   | 1.030    | 0.235   | 1.240  | 0.260   | 1.410    | 0.325   |

Fuente: Hidalgo et al (2020).

| <b>Cuadro 7. Fragilidad estructural de tipologías estructurales internacionales para código de diseño alto.</b> |  |         |          |         |        |         |          |         |
|---|--|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
| Código tipología  | Valor medio en PGA ( $\mu$ ) y desviación estándar del logaritmo ( $\beta$ ) IM= PGA |         |          |         |        |         |          |         |
|   | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|   | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| CR-M-M  | 0.1841   | 0.1310  | 0.3314   | 0.2358  | 0.8959 | 0.6374  | 1.9759   | 1.4058  |
| CR-D-M  | 0.1190   | 0.0910  | 0.3400   | 0.2610  | 0.8410 | 0.6460  | 1.5220   | 1.1680  |
| S-M-M   | 0.1718   | 0.1222  | 0.3191   | 0.2270  | 0.7609 | 0.5414  | 1.7550   | 1.2487  |
| M-RC-B  | 0.3191   | 0.2270  | 0.5155   | 0.3667  | 1.0677 | 0.7597  | 1.8286   | 1.3011  |

Fuente: Hazus-MH (2003) y Risk-UE (2003).

## Etapa 2

**Objetivo específico 2:** Desarrollar una guía para la asignación de curvas de fragilidad de acuerdo con la tipología estructural definida.

### Confección de los formularios de inspección

Para la confección de los formularios de inspección se determinaron varios atributos que debían ser tomados en cuenta; estos atributos se relacionan con la amenaza sísmica e importancia de edificación como se muestran en el Cuadro 8. También algunos otros atributos estructurales para la correcta determinación de curvas de fragilidad en edificación se muestran en el Cuadro 9.

**Cuadro 8. Atributos relacionados a la amenaza sísmica e importancia de la edificación.**

| Atributo  | Observaciones  |
|---|--|
| Coordenadas geográficas   | Detalla ubicación exacta de la edificación.  |
| Clasificación de la importancia de la edificación                                     | Para priorización (importancia) de las edificaciones.  |
| Aceleraciones espectrales ( $S_a$ ) y pico (PGA)                                      | Viene del estudio de amenaza sísmica o en el caso de inspección de edificaciones post-sismo proviene directamente de la información suministrada por estaciones acelerográficas. |
| Tipo de suelo en el sitio inmediato de cimentación de la edificación (S1, S2, S3, S4) | Necesario para estimar la fragilidad estructural y amenaza por sismo (CSCR-2010/14).   |
| Zona de amenaza sísmica (Z I, Z II, Z III, Z IV)                                      | Refleja intensidad sísmica probable en la zona.  |

Fuente: Adaptado de Muñoz et al (2017).

**Cuadro 9. Atributos estructurales para determinar curvas de fragilidad en edificios.**

| Atributo                      | Observaciones   |
|-------------------------------|---|
| Normativa de diseño           | Definir si la edificación fue concebida con o sin criterio sismorresistente.  |
| Factor de amplificación (Fai) | Afecta negativamente el comportamiento de la edificación ante sismo, modifica las curvas de fragilidad debido a la amplificación del terreno. |
| Tipología estructural         | Para seleccionar la curva de fragilidad, se especifica el tipo sistema estructural y el material.   |
| Número de pisos               | Para definir la altura de la edificación según el rango de pisos establecido.   |

Fuente: Adaptado de Muñoz et al (2017).

Cada uno de los aspectos fueron plasmados en dos formularios de inspección que permiten recolectar toda la información de campo necesaria para poder asignar los parámetros de la curva de fragilidad correspondiente.

Algunos de los atributos fueron definidos anteriormente en el apartado de los parámetros para la selección de las curvas de fragilidad, como lo fue la tipología estructural junto al número de pisos y la medida de intensidad sísmica. Por lo que, se procede a explicar las consideraciones tomadas en cuenta para el caso de la normativa de diseño y el valor de factor  $F_a$ .

### Normativa de diseño

La normativa de diseño empleada en la estructura se considera un dato importante para la escogencia de las curvas de fragilidad. Por esto, se realizó una adaptación de las exigencias de los tipos de código de diseño que establece HAZUS con los códigos sísmicos que han normado el diseño sismorresistente en nuestro país.

Por lo tanto, la escogencia del tipo de código para utilizar en la conformación de las curvas de fragilidad y que permita las asignaciones por edificación, se basa en lo indicado en el Cuadro 10:

| <b>Cuadro 10. Adaptación del CSCR a los propuestos por HAZUS</b> |                            |                                   |
|--|----------------------------|-----------------------------------|
| Periodo de construcción  | Versión del CSCR aplicable | Rigor de código (HAZUS o RISK-UE) |
| < 1974   | Pre-código                 | Pre-Código                        |
| 1974 – 1986  | 1974                       | Bajo                              |
| 1986 – 2003  | 1986                       | Moderado                          |
| 2003 – 2011  | 2002                       | Alto                              |
| 2011 >   | 2010                       |                                   |

Fuente: Blanco y Esquivel (2021).

## Factor amplificación (Fai)

Las curvas de fragilidad típicas suelen desarrollarse para un tipo de suelo y zona de amenaza sísmica, por lo que, al asignar una curva de fragilidad a una edificación que cuenta con valores diferentes de las que fueron confeccionadas las curvas de fragilidad, se debe considerar tomar en cuenta la amplificación de la sacudida del suelo según las condiciones locales del sitio en las que se ubican las edificaciones.

El CSCR-2010/14 no proporciona los factores de corrección del suelo, estos fueron considerados de acuerdo con D. Hidalgo (comunicación personal, 2021) tomando en cuenta los valores de aceleración pico efectiva de diseño de la tabla 2.3 del CSCR-2010/14 y ajustados para hacer las correcciones respectivas. En el apéndice B se muestran todas las variaciones realizadas.

En la entrevista realizada con el Ing. Diego Hidalgo del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) el factor de corrección del tipo de suelo para los valores medios de la curva de fragilidad se aplica mediante la siguiente ecuación:

$$\mu_i = \mu \cdot F_{Ai}$$

Donde:

- $\mu_i$ : Los valores medios para el tipo de suelo de sitio i.
- $\mu$ : Los valores medios de las curvas de fragilidad según los anexos 5 y 6 de la guía.
- $F_{Ai}$ : Factor de corrección para la clase de sitio i, como se especifica en las tablas de la guía.

## Elaboración de la guía.

Se generó una guía que explica al evaluador (usuario) el procedimiento de uso de los formularios, además de establecer los preparativos previos para realizar una inspección visual rápida.

Por lo tanto, se describe el paso a paso de cada uno de los criterios solicitados, la forma de llenar los formularios de inspección y los lineamientos para la asignación de la curva de fragilidad de acuerdo con los datos recolectados. Esta guía se encuentra en el apéndice C del trabajo.

## Inventario de edificaciones

Por último, se creó una base de datos para unificar la información recolectada de los formularios de inspección en las edificaciones. El almacenamiento de la información se realizó mediante la herramienta en Excel con el uso de macros, donde se utiliza los mismos formularios de forma digital en Excel, los cuales tienen que ser completados y la información se almacena en la base de datos. Además, permite generar los archivos en PDF para guardar los formularios con la información.

## Etapa 3

**Objetivo específico 1:** Validar la guía para la asignación de curvas de fragilidad mediante una aplicación práctica en al menos un hospital de la CCSS.

## Selección del establecimiento de salud para la aplicación práctica

Parte del presente trabajo comprende la implementación de la guía para mostrar el procedimiento del llenado de los formularios en un establecimiento de salud y la asignación de curvas de fragilidad en las edificaciones de este. Por lo que, el establecimiento de salud seleccionado fue el Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia ubicado en la Provincia de San José, Cantón San José, Distrito del Carmen en

Barrio Aranjuez. Este hospital es uno de los centros de atención médica más importantes de la Caja Costarricense del Seguro Social, cuenta con varias edificaciones para el adecuado funcionamiento del hospital.

Mediante la colaboración con el ingeniero Javier Castro se seleccionaron 6 edificaciones del hospital, estos son: Torre Sur (1), Casa de máquinas mecánicas (2), Torre Este (3), Torre Norte (4), Nutrición (5) y Edificio histórico (6). En la Figura 16 se muestra una imagen satelital de la ubicación de cada una de las edificaciones.



Figura 16. Ubicación de las edificaciones del hospital Rafael Ángel Calderón Guardia.

Se efectuó la inspección visual rápida en cada una de las edificaciones siguiendo el orden numérico establecido en la Figura 16. Se efectuaron principalmente recorridos por los exteriores de las edificaciones, solo para el caso de la casa de máquinas mecánicas y el edificio histórico se realizaron inspecciones en el interior de estas junto a los encargados de mantenimiento de la institución.

Se solicitó la documentación sobre las edificaciones como planos constructivos para ser usados en el proceso de llenado de los formularios. Se llenó la lista de verificación de artículos personales, equipos y materiales previo a la inspección. Además, se contó con el acompañamiento del Ingeniero Javier Castro para la realización de la inspección en el establecimiento de salud.

## Procedimiento para completar el formulario 1

Inicialmente, se aplicó el formulario 1 en el establecimiento de salud, el cual, se basó en el siguiente procedimiento resumido descrito en la guía para completar la recopilación de los datos:

1. Ingresar la fecha, hora de la inspección y el número del establecimiento de salud.
2. Ingresar nombre del establecimiento de salud, los datos del contacto, administrador o el encargado de mantenimiento, e información sobre la ubicación del establecimiento de salud.
3. Ingresar la información sobre el tipo de establecimiento de salud, el número de edificios con los que cuenta el establecimiento de salud, el porcentaje de ocupación, y si cuenta con servicios de emergencia.
4. Realizar un croquis del establecimiento donde se ubique cada una de las edificaciones con las que cuenta el establecimiento con su respectiva numeración.
5. Utilizar cuando sea necesario el espacio para comentarios adicionales.

## Procedimiento para completar el formulario 2

Posteriormente, aplicó el formulario 2 a cada una de las edificaciones, el cual, se basó en el siguiente procedimiento resumido descrito en la guía para completar la recopilación de los datos:

1. Ingresar la fecha, hora de la inspección y el número de formulario.
2. Ingresar nombre del inspector a cargo y su identificación. Si más de una persona está completando el formulario, debe indicar sus nombres.
3. Identificar el edificio con el nombre, coordenadas geográficas y el número del plano catastrado.
4. Ingresar los detalles de la importancia, año o periodo de construcción y propiedades geométricas del edificio.
5. Definir el rigor del código sísmico con respecto al año o periodo de construcción o último año de reforzamiento del edificio.

6. Ingresar los datos sobre el terreno y determinar el factor de amplificación del suelo ( $F_a$ ).
7. Ingresar los datos del material, sistema estructural, estructura de piso y estructura de techo.
8. Definir el código de la tipología estructural de la edificación según en el anexo 3 de la guía con los datos del material, sistema estructural y el número de pisos.
9. Ingresar los parámetros de la curva de fragilidad que corresponde a la tipología estructural y el código sísmico siguiendo un orden de priorización de las curvas de fragilidad del anexo 4 y anexo 5 de la guía respectivamente.
10. Ajustar los parámetros de los valores medios de la curva de fragilidad asignada con el factor de amplificación del suelo.
11. Realizar un croquis que muestre la planta y elevación del edificio o colocar recortes de pantalla de los planos digitalizados con la información útil que respalde la tipología estructural asignada.
12. Realizar un registro fotográfico de la edificación donde se muestre la tipología asignada e indicar si la edificación cuenta con planos constructivos.
13. Utilizar cuando sea necesario el espacio para comentarios adicionales.

# Resultados

Este apartado, muestra los resultados obtenidos de los objetivos específicos planteados en el proyecto siguiendo la metodología. Inicialmente, se muestran resultados de las curvas de fragilidad correspondientes para cada tipología estructural y la validación mediante las comparaciones entre curvas de fragilidad.

Posteriormente, los formularios de inspección y la descripción de los apartados correspondientes de la guía generada para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en el establecimiento de salud. Finalmente, la aplicación de la guía en el establecimiento de salud escogido.

## Curvas de fragilidad

Las curvas de fragilidad cuentan con las dos medidas de intensidad sísmica seleccionadas y su distribución se muestra en la Figura 17. Además, la medida de intensidad sísmica para cada curva de fragilidad de acuerdo con su tipología estructural es mostrada en el Cuadro 11. En esta figura se puede apreciar que la mayor cantidad de curvas de fragilidad obtenidas están en la aceleración máxima del terreno (PGA) con un 91%.

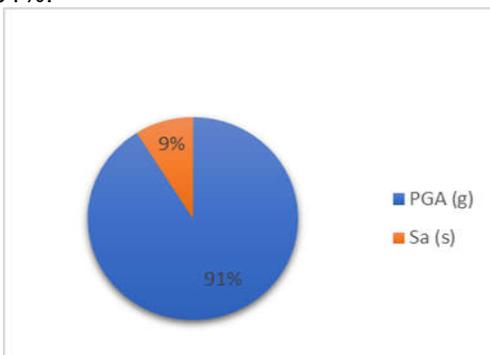


Figura 17. Distribución de la medida de intensidad usada en las curvas de fragilidad.

La Figura 18 presenta un resumen de la distribución obtenida de las curvas de fragilidad según las referencias bibliográficas utilizadas en el proyecto. En esta figura se puede apreciar que las curvas desarrolladas por HAZUS-MH son las que aportan una mayor cantidad de curvas de fragilidad para las tipologías estructurales seleccionadas y para las diferentes versiones del Código sísmico con un 76%.

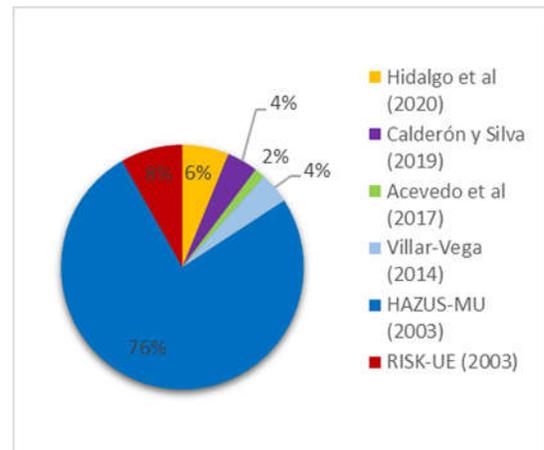


Figura 18. Distribución de las curvas de fragilidad de acuerdo con las referencias utilizadas.

El Cuadro 11 brinda un resumen de la información de las curvas de fragilidad seleccionadas para cada tipología estructural de acuerdo con las referencias bibliográficas. Los colores indicados en la Figura 18 coinciden con los colores del Cuadro 11 donde se muestra cada referencia bibliográfica representada por el mismo color. Además, se muestran las curvas de fragilidad que no se obtuvieron o no se encuentran según la versión del código sísmico.

| <b>Cuadro 11. Curvas de fragilidad para las tipologías estructurales y sus medidas de intensidad sísmica.</b> |                |         |          |                      |                     |
|---|----------------|---------|----------|----------------------|---------------------|
| Código tipología  | Código sísmico |         |          |                      |                     |
|   | Pre-código     | Bajo    | Moderado | Alto (Internacional) | Alto (En la región) |
| CR-M-B  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | Sa (0.4 s)          |
| CR-M-M  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | PGA (g)             |
| CR-M-A  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| CR-MU-B   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | No                  |
| CR-MU-M   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | PGA (g)             |
| CR-MU-A   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| CR-D-B  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | No                  |
| CR-D-M  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | PGA (g)             |
| CR-D-A  | No             | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| CR-P-B  |                | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | PGA (g)             |
| CR-P-M  |                | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | Sa (0.8 s)          |
| M-NR-B  | PGA (g)        | PGA (g) | No       | No                   | PGA (g)             |
| M-NR-M  | PGA (g)        | PGA (g) |          |                      | Sa (0.4 s)          |
| M-NRC-B   | PGA (g)        | PGA (g) |          |                      | PGA (g)             |
| M-NRC-M   | PGA (g)        | PGA (g) |          |                      | Sa (1 s)            |
| M-NRC-A   | PGA (g)        | PGA (g) |          |                      | Sa (1 s)            |
| M-RI-B  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | PGA (g)             |
| M-RI-M  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | Sa (1 s)            |
| M-RC-B  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | PGA (g)             |
| M-RC-M  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | Sa (0.4 s)          |
| M-RC-A  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | No                  |
| S-M-B   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | Sa (0.4 s)          |
| S-M-M   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | PGA (g)             |
| S-M-A   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | No                  |
| S-MU-B  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| S-MU-M  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| S-MU-A  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| S-D-B   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| S-D-M   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| S-D-A   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              |                     |
| SL-M-B  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | PGA (g)             |
| W-M-B   | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | Sa (0.3 s)          |
| W-MU-M  | PGA (g)        | PGA (g) | PGA (g)  | PGA (g)              | Sa (0.3 s)          |

Finalmente, la Figura 19 muestra la distribución de las curvas de fragilidad de acuerdo con el país o región de origen de los datos. Donde se puede apreciar que la mayor cantidad de curvas de fragilidad proceden de Estados Unidos y solo un 10% de las curvas de fragilidad seleccionadas corresponden a Costa Rica del total de las curvas de fragilidad.

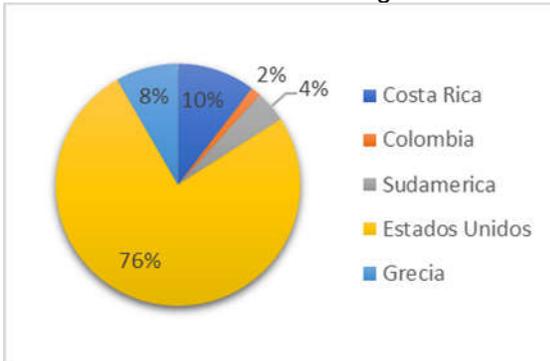


Figura 19. Distribución de las curvas de fragilidad de acuerdo con el país o región de origen de los datos.

## Comparación entre curvas nacionales e internacionales

Tomando los parámetros que describen las curvas de fragilidad para los estados de daño leve, moderado, severo y completo del Cuadro 6 y del Cuadro 7, se generaron ambas curvas de fragilidad sobrepuestas como se muestra en la siguiente figura para las cuatro tipologías estructurales consideradas para la comparación:

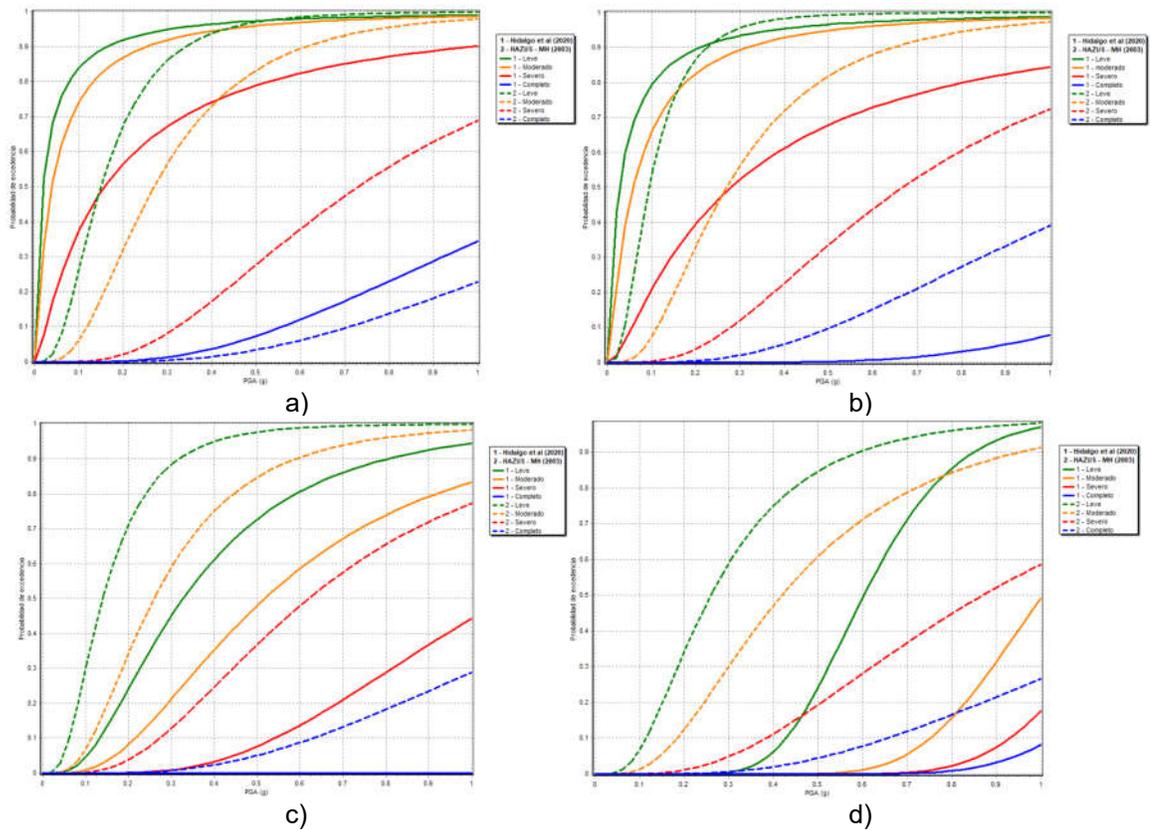


Figura 20. Comparación de curvas de fragilidad para las tipologías estructurales escogidas. a) Marco de concreto reforzado (CR-M-M) entre Hidalgo et al (2020) y HAZUS-MH (2003). b) Sistema dual de concreto reforzado (CR-M-M) entre Hidalgo et al (2020) y RISK-UE (2003). c) Marco de acero laminado en caliente (S-M-M) entre Hidalgo et al (2020) y HAZUS-MH (2003). d) Mampostería reforzada confinada (M-RC-B) entre Hidalgo et al (2020) y HAZUS-MH (2003).

Al evaluar las curvas de fragilidad de las comparaciones para el caso del sismo extremo que corresponde a un valor en PGA de 0.45 g se muestran en el Cuadro 12 las probabilidades de excedencia de cada uno de los estados de daño y los índices de daño medio (ID).

**Cuadro 12. Probabilidad de exceder los estados de daño Leve, Moderado, Severo y Completo para las tipologías estructurales nacionales e internacionales seleccionadas para código de diseño alto y sus respectivos índices de daño medio.**

| Estado de daño | CR-M-M               |                                   | CR-D-M               |                                   | S-M-M                |                                   | M-RC-B               |                                   |
|----------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------------------------|
|                | Hidalgo et al (2020) | Hazus-MH (2003) y Risk-UE (2003). | Hidalgo et al (2020) | Hazus-MH (2003) y Risk-UE (2003). | Hidalgo et al (2020) | Hazus-MH (2003) y Risk-UE (2003). | Hidalgo et al (2020) | Hazus-MH (2003) y Risk-UE (2003). |
| Sin daño       | 3.057                | 4.299                             | 3.92                 | 1.073                             | 32.546               | 3.393                             | 86.345               | 19.552                            |
| Leve           | 1.631                | 16.891                            | 2.13                 | 21.520                            | 25.599               | 16.158                            | 13.637               | 26.065                            |
| Moderado       | 18.569               | 56.349                            | 29.187               | 49.230                            | 36.673               | 49.646                            | 0.018                | 39.232                            |
| Severo         | 71.342               | 20.139                            | 64.653               | 20.827                            | 5.182                | 27.255                            | 0                    | 12.086                            |
| Completo       | 5.401                | 2.322                             | 0.11                 | 7.350                             | 0                    | 3.548                             | 0                    | 3.065                             |
| Total          | 100                  | 100                               | 100                  | 100                               | 100                  | 100                               | 100                  | 100                               |
| ID             | 55                   | 41                                | 52                   | 43                                | 29                   | 43                                | 20                   | 34                                |

## Guía para la asignación de curvas de fragilidad

La guía está conformada por cuatro capítulos. El primero de estos brinda una introducción al inspector sobre el uso de las curvas de fragilidad para la estimación del riesgo sísmico.

El segundo capítulo trata sobre los preparativos para la inspección visual rápida, donde se indican los pasos antes de realizar la inspección como la disposición de documentación, los requerimientos del inspector, los materiales y equipos necesarios y recomendaciones para la identificación de las tipologías estructurales en el campo. Para este capítulo se realizó una lista para la verificación del equipo requerido durante la inspección. Esta se incluye el anexo 3 de la guía.

En el tercer capítulo brinda una descripción de los formularios de inspección. Estos formularios se adjuntan en el anexo 1 y 2 de la guía. El formulario 1 está dividido en cinco secciones, como sigue:

1. Encabezado
2. Información general y ubicación
3. Oferta de servicios

4. Vista en planta del establecimiento de salud
5. Comentarios

El formulario 2 está dividido en nueve secciones, como sigue:

1. Encabezado
2. Identificación del inspector
3. Identificación de la edificación
4. Terreno
5. Tipología estructural
6. Curva de fragilidad
7. Registro fotográfico y planos
8. Croquis del edificio
9. Comentarios

Además, para completar el segundo formulario en las secciones 5 y 6 se consideran los anexos 4 y 5 de las tipologías estructurales y curvas de fragilidad desarrolladas y explicadas anteriormente.

El último capítulo de la guía muestra un ejemplo de aplicación de la guía en un establecimiento de salud de la Caja Costarricense del Seguro social. Cuyos resultados son mostrados en los anexos 7 y 8 de la guía y descritos en el siguiente apartado.

A continuación, se muestran los formularios confeccionados:

| FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES |                      |                                    |  |                        |  |
|---|----------------------|------------------------------------|--|------------------------|--|
| <b>FORMULARIO 1: DATOS DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD <math>\psi</math></b>         |                      |                                    |  |                        |  |
| <b>1.1 ENCABEZADO</b>   |                      |                                    |  |                        |  |
| Fecha:  |                      | Hora:                              |  | ID Estab. de salud (*) |  |
| <b>1.2 INFORMACIÓN GENERAL Y UBICACIÓN</b>  |                      |                                    |  |                        |  |
| Nombre del establecimiento de salud (*)   |                      |                                    |  |                        |  |
| Persona de contacto   | Nombre (*)           |                                    |  |                        |  |
|   | Teléfono             |                                    |  |                        |  |
|   | e-mail (*)           |                                    |  |                        |  |
| Ubicación   | Provincia (*)        |                                    |  |                        |  |
|   | Cantón (*)           |                                    |  |                        |  |
|   | Distrito (*)         |                                    |  |                        |  |
|   | Dirección exacta (*) |                                    |  |                        |  |
| <b>1.3 OFERTA DE SERVICIOS</b>  |                      |                                    |  |                        |  |
| Tipo de establecimiento de salud (*)  |                      |                                    |  |                        |  |
| N° edificios del Estab. de salud (*)  |                      | Porcentaje de ocupación (%)        |  |                        |  |
| N° de camas   |                      | Cuenta con servicios de emergencia |  | Sí                     |  |
| <b>1.4 VISTA EN PLANTA DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD</b>                           |                      |                                    |  |                        |  |
| Croquis (*)   |                      |                                    |  |                        |  |
|   |                      |                                    |  |                        |  |
| <b>1.5 COMENTARIOS</b> (Amplíe con observaciones)                                 |                      |                                    |  |                        |  |
|   |                      |                                    |  |                        |  |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 1 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

Página 1 de 1

**Figura 21.** Formulario 1: Datos del establecimiento de salud.

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA  $\psi$**

**2.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*):

**2.2 IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**

|  |                                 |
|--|---------------------------------|
| Nombre del responsable (*): <input type="text"/> |                                 |
| Unidad (*): <input type="text"/>                 |                                 |
| Teléfono: <input type="text"/>                   | Firma (*): <input type="text"/> |
| Correo (*): <input type="text"/>                 |                                 |
| Personal de apoyo: <input type="text"/>          |                                 |

**2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

|   |                           |                            |  |
|---|---------------------------|----------------------------|--|
| Nombre del edificio (*): <input type="text"/>             |                           |                            |  |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*): <input type="text"/> | Lat: <input type="text"/> | Long: <input type="text"/> |  |
| N° de plano catastrado <input type="text"/>               |                           |                            |  |

| Importancia(*)                      | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*)          | Propiedades geométricas    |                      |
|-------------------------------------|--|----------------------------|----------------------|
|                                     |  | N° de niveles (*)          | <input type="text"/> |
| <input type="radio"/> A             | <input type="radio"/> Antes 1974 <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011       | N° de sótanos (*)          | <input type="text"/> |
| <input type="radio"/> B             | <input type="radio"/> Entre 1974 y 1986 <input type="radio"/> Después del 2011 | Altura por piso (m)        | <input type="text"/> |
| <input type="radio"/> C             | <input type="radio"/> Entre 1986 y 2003 <input type="radio"/> Sin información  | Frente (m)                 | <input type="text"/> |
| <input type="radio"/> D             |  | Fondo (m)                  | <input type="text"/> |
| <input type="radio"/> E             |  | Área (m <sup>2</sup> ) (*) | <input type="text"/> |
| Código sísmico <input type="text"/> |  |                            |                      |

**2.4 TERRENO (\*)**

|   |  |                      |
|---|--|----------------------|
| Sitio de cimentación  | Zonificación Sísmica   | Fai                  |
| <input type="radio"/> S1 <input type="radio"/> S2 <input type="radio"/> S3 <input type="radio"/> S4 | <input type="radio"/> Zona II <input type="radio"/> Zona III <input type="radio"/> Zona IV | <input type="text"/> |

**2.5 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL (\*)**

| Material   |  |   |                             |
|--|--|---|-----------------------------|
| Concreto reforzado   | Mampostería                                  | Acero   | Madera                      |
| Sistema estructural  |  |   |                             |
| <input type="radio"/> Marco  | <input type="radio"/> No reforzada (simple)  | <input type="radio"/> Marco   | <input type="radio"/> Marco |
| <input type="radio"/> Muro   | <input type="radio"/> No reforzada confinada | <input type="radio"/> Marco arriostrado   | <input type="radio"/> Muro  |
| <input type="radio"/> Dual   | <input type="radio"/> Reforzada (integral)   | <input type="radio"/> Dual mixto  |                             |
|  | <input type="radio"/> Reforzada confinada    |   |                             |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado  |  | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frío  |                             |
| <input type="radio"/> Otro:  | Material <input type="text"/>                | Sistema estructural <input type="text"/>  |                             |
| Estructura de entepiso (*) (**)  |  | Estructura de techo (*) (**)  |                             |
| Concreto <input type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |  | <input type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |                             |
| Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta  |  | Código tipología <input type="text"/>   |                             |
| <input type="radio"/> Otros: <input type="text"/>  |  |   |                             |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

**Figura 22.** Formulario 2: Datos de la estructura.

**2.6 CURVA DE FRAGILIDAD**

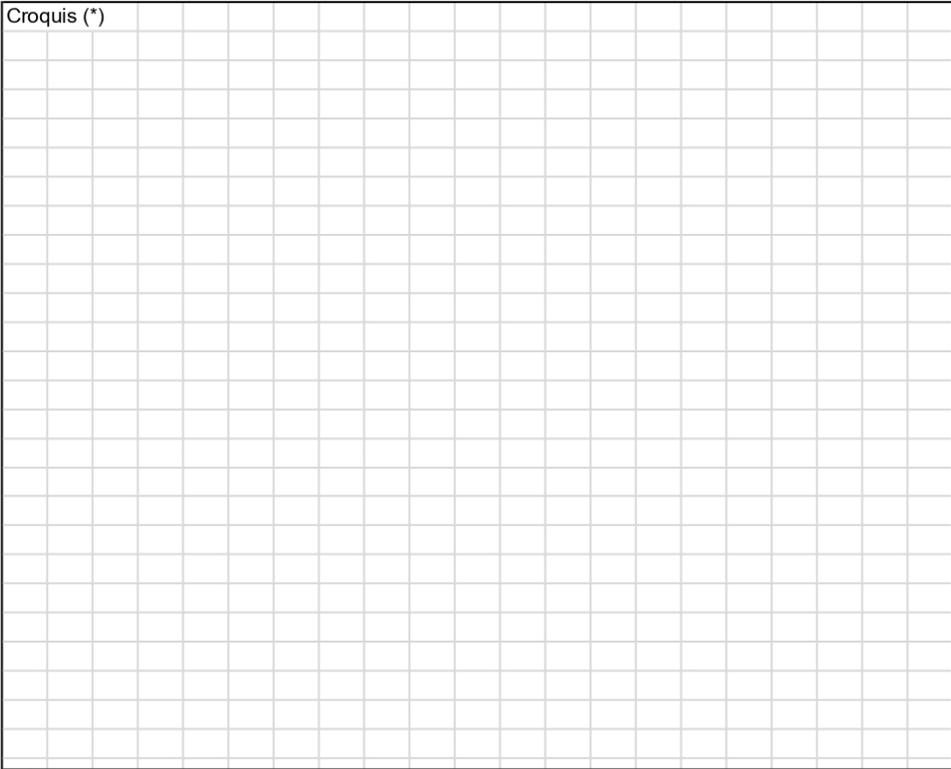
| N° fragilidad | IM | Leve  |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|----|-------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |    | $\mu$ | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
|               |    |       |         |          |         |        |         |          |         |

**2.7 REGISTRO FOTOGRAFICO Y PLANOS**

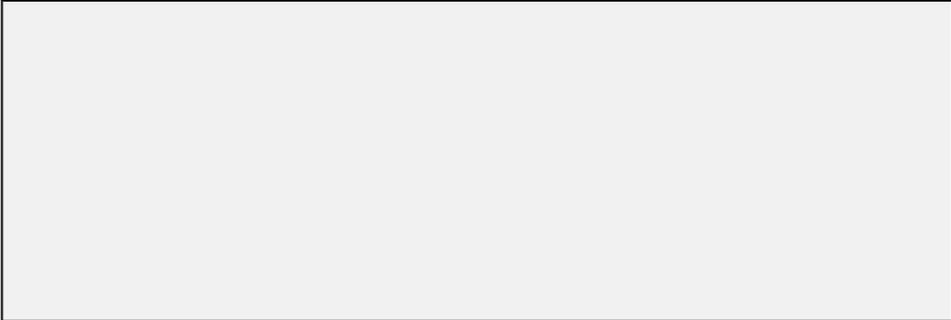
|             |                 |                |                        |
|-------------|-----------------|----------------|------------------------|
| Fotografías | Fachadas        | Vista interior | Detalles estructurales |
| Planos      | Arquitectónicos | Estructurales  | Electromecánicos       |

**2.8 CROQUIS DEL EDIFICIO**

Croquis (\*)



**2.9 COMENTARIOS** (Amplíe con observaciones)



ψ Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

Página 2 de 2

**Figura 23.** Formulario 2: Datos de la estructura.

## Aplicación práctica de la guía

En este apartado se presentan los resultados obtenidos de la aplicación de la guía mediante el uso de los formularios en las edificaciones del Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia. Así mismo, la asignación de la curva de fragilidad correspondiente para cada edificación.

Del procedimiento descrito anteriormente en la metodología de la aplicación del formulario 1 se obtuvo la información general y ubicación del establecimiento de salud, así como la representación del croquis. El formulario de inspección del establecimiento de salud se puede consultar en el anexo 7 de la guía. Con respecto a la oferta de servicios se muestra el siguiente cuadro:

| <b>Cuadro 13. Información sobre la oferta de servicios del establecimiento de salud.</b> |                           |
|--|---------------------------|
| <b>Aspecto</b>   | <b>Valor</b>              |
| Oferta de servicios  | Hospital nacional general |
| Cuenta con servicios de emergencia   | Sí                        |
| N° de edificios del establecimiento de salud   | 6                         |
| N° de camas  | 414                       |
| Porcentaje de ocupación (%)  | >85%                      |

Cabe mencionar que el establecimiento de salud cuenta con más edificaciones que las indicadas en el cuadro, pero para el caso de la aplicación práctica de la guía se decidió indicar solo los que fueron inspeccionados.

Con respecto a las edificaciones del establecimiento de salud, se indican los resultados de las inspecciones realizadas siguiendo el procedimiento descrito en la metodología de la aplicación del formulario 2.

## Torre Sur

El edificio Torre Sur, como así lo indica su nombre, se ubica en el extremo sur del establecimiento de salud (ver Figura 24). Se considera como una edificación esencial debido a que se dedica a la atención de pacientes, por lo que, según el código sísmico se considera con una importancia del grupo A. Las coordenadas de la edificación son: latitud 9.93608 y longitud -84.06943.



Figura 24. Fachada principal del edificio Torre Sur.

El edificio cuenta con planos constructivos del 2000, por lo que, se considera que la construcción ronda el rango establecido entre 1986 y 2003 con una asignación del código sísmico como moderado.

El edificio consta de 4 niveles por encima del nivel de terreno y un sótano, siendo un rango de pisos medio. Este tiene aproximadamente 48.00 m de frente por 44.75 m de fondo; con una altura de entrepisos de 4.3 m.

Su sistema estructural se consideró dual con muros y marcos de concreto reforzado. Mientras que el sistema de entrepiso consiste en viguetas de concreto y la estructura del techo de cerchas metálicas. Su código de tipologías corresponde a CR-D-M.

El sitio de cimentación fue asumido de S3 y la zonificación sísmica III, por lo que, se obtuvo un  $F_{ai}$  de 1.2, el cual, modificó los valores medios de la curva de fragilidad para ajustarlos al terreno.

El número de curva de fragilidad asignada corresponde a la 74 de acuerdo con la numeración definida en los anexos de la guía y su gráfica se muestra en la Figura 36.

## Casa de máquinas mecánicas

El edificio Casa de máquinas mecánicas se ubica entre Torre Norte y Torre Este del establecimiento de salud (ver Figura 25). Se considera como una edificación esencial debido a que cuenta con equipos mecánicos importantes (ver Figura 26) para el adecuado funcionamiento de las edificaciones esenciales como la torre Este, por lo que, según el código sísmico se considera con una importancia del grupo A. Las coordenadas de la edificación son: latitud 9.93669 y longitud -84.06904.



**Figura 25.** Fachada principal del edificio Casa de máquinas mecánicas.



**Figura 26.** Vista interior del equipo mecánico.

El edificio cuenta con planos constructivos del 1980, por lo que, se consideró que la construcción ronda el rango establecido entre 1974 y 1986 con una asignación del código sísmico como bajo.

El edificio consta de 1 nivel por encima del nivel de terreno solamente, siendo un rango de pisos bajo. Este tiene aproximadamente 10.50 m de frente por 34.00 m de fondo.

Su sistema estructural se consideró como mampostería reforzada confinada como se pudo verificar con la inspección al interior de la edificación (ver Figura 27). Mientras que la estructura del techo de cerchas metálicas (Figura 28). Su código de tipologías corresponde a M-RC-B. Cabe mencionar que la edificación cuenta con nuevas construcciones aledañas que no se consideraron para el selección de la tipología estructural principal.

El sitio de cimentación fue asumido de S3 y la zonificación sísmica III, por lo que, se obtuvo un  $F_{ai}$  de 1.2, el cual, modificó los valores medios de la curva de fragilidad para ajustarlos al terreno.

El número de curva de fragilidad asignada corresponde a la 118 de acuerdo con la numeración definida en los anexos de la guía y su gráfica se muestra en la Figura 36.



**Figura 27.** Detalle de pared de mampostería confinada.



**Figura 28.** Detalle de estructura de techo.

## Torre Este

El edificio Torre Este, como así lo indica su nombre, se ubica en el extremo Este del establecimiento de salud (ver Figura 29). Se considera como una edificación esencial debido a que se dedica a la atención de pacientes, por lo que, según el código sísmico se considera con una importancia del grupo A. Las coordenadas de la edificación son: latitud 9.93710 y longitud -84.06902.



Figura 29. Fachada principal del edificio Torre Este.

El edificio cuenta con planos constructivos del 2015, por lo que, se consideró que la construcción ronda el rango establecido es superior al 2011 con una asignación del código sísmico como alto.

El edificio consta de 6 niveles por encima del nivel de terreno y un sótano, siendo un rango de pisos medio. Este tiene aproximadamente 49.05 m de frente por 61.35 m de fondo; con una altura de entrepisos de 4.5 m.

Su sistema estructural se consideró dual con muros y marcos de concreto reforzado. Mientras que el sistema de entrepiso consiste en viguetas de concreto y la estructura del techo de cerchas metálicas. Su código de tipologías corresponde a CD-D-M.

El sitio de cimentación fue asumido de S3 y la zonificación sísmica III, por lo que, se obtuvo un  $F_{ai}$  de 1, el cual, mantuvo los valores medios de la curva de fragilidad procedentes de las tablas de la guía.

El número de curva de fragilidad asignada corresponde a la 8 de acuerdo con la numeración definida en los anexos de la guía y su gráfica se muestra en la Figura 36.

## Torre Norte

El edificio Torre Norte se ubica en el extremo Norte del establecimiento de salud (ver Figura 30). Se considera como una edificación esencial debido a que se dedica a la atención de pacientes, por lo que, según el código sísmico se considera con una importancia del grupo A. Las coordenadas de la edificación son: latitud 9.93739 y longitud -84.06961.



Figura 30. Fachada principal del edificio Torre Norte.

El edificio cuenta con planos constructivos del 1976, por lo que, se consideró que la construcción ronda el rango establecido entre 1974 y 1986 con una asignación del código sísmico como bajo.

El edificio consta de 5 niveles por encima del nivel de terreno solamente, siendo un rango de pisos medio. Este tiene aproximadamente 37.50 m de frente por 72.00 m de fondo; con una altura de entrepisos de 4 m.

Su sistema estructural se consideró de marcos de concreto reforzado. Mientras que el sistema de entrepiso consiste en viguetas de concreto y la estructura del techo de cerchas metálicas. Su código de tipologías corresponde a CD-M-M.

El sitio de cimentación fue asumido de S3 y la zonificación sísmica III, por lo que, se obtuvo un  $F_{ai}$  de 1.2, el cual, mantuvo los valores medios de la curva de fragilidad procedentes de las tablas de la guía.

El número de curva de fragilidad asignada corresponde a la 101 de acuerdo con la numeración definida en los anexos de la guía y su gráfica se muestra en la Figura 36.

## Nutrición

El edificio Nutrición se ubica al lado de la torre Sur en el extremo izquierdo del establecimiento de salud (ver Figura 31). Se considera como una edificación esencial debido a que se dedica a la atención de pacientes, por lo que, según el código sísmico se considera con una importancia del grupo A. Las coordenadas de la edificación son: latitud 9.93619 y longitud -84.07005.



Figura 31. Fachada principal del edificio Nutrición.

El edificio cuenta con planos constructivos del 2015, por lo que, se consideró que la construcción ronda el rango establecido es superior al 2011 con una asignación del código sísmico como alto.

El edificio consta de 3 niveles por encima del nivel de terreno solamente, siendo un rango de pisos bajo. Este tiene aproximadamente 35.12 m de frente por 56.72 m de fondo; con una altura de entresijos de 4.2 m.

Su sistema estructural se consideró dual con muros y marcos de concreto reforzado. Mientras que el sistema de entresijo consiste en viguetas de concreto y la estructura del techo de cerchas metálicas. Su código de tipologías corresponde a CD-D-B.

El sitio de cimentación fue asumido de S3 y la zonificación sísmica III, por lo que, se obtuvo un  $F_{ai}$  de 1.2, el cual, mantuvo los valores medios de la curva de fragilidad procedentes de las tablas de la guía.

El número de curva de fragilidad asignada corresponde a la 40 de acuerdo con la numeración definida en los anexos de la guía y su gráfica se muestra en la Figura 36.

## Histórico

El edificio histórico se ubica prácticamente en el centro del establecimiento de salud (ver Figura 32). Se considera como una edificación esencial debido a que se dedica a la atención de pacientes, por lo que, según el código sísmico se considera con una importancia del grupo A. Las coordenadas de la edificación son: latitud 9.93678 y longitud -84.06950.



Figura 32. Fachada principal del edificio Histórico.

No fue posible conseguir los planos constructivos de la edificación, sin embargo, cuenta con un estudio de vulnerabilidad sísmica realizado en el 2002 donde se extrajo información del estudio, así como los croquis de las plantas.

La construcción de la edificación fue realizada antes de 1974, esto se determinó mediante consultas a profesionales e información bibliográfica, por lo que, se consideró una asignación del código sísmico como pre-código.

El edificio consta de 2 niveles por encima del nivel de terreno solamente, siendo un rango de pisos bajo. Las medidas de frente y fondo no se identificaron, pero se indica un área de aproximadamente 2600 m<sup>2</sup>.

El estudio de vulnerabilidad indica que el sistema sismorresistente principal es de muros perimetrales de concreto reforzado y marcos concreto reforzado rellenos de mampostería de arcilla sólida, específicamente, se consideró como una mampostería no reforzada confinada como se pudo verificar con la inspección al interior de la edificación (Figura 33 y Figura 34). Mientras que el sistema de entresijo está conformado principalmente por losas macizas de concreto reforzado y la estructura de techo era de madera, pero ha ido cambiando por metálica

(Figura 35). Su código de tipologías corresponde a M-NRC-B. Cabe mencionar que en la edificación se han realizado varios trabajos de remodelación y ampliación, donde se han abierto buques de ventanas y puertas en las paredes de mampostería, pero sin afectar el sistema estructural, como indicó la persona de contacto en el formulario.

El sitio de cimentación es de S3 según el estudio de vulnerabilidad donde se realizaron estudios de suelo y la zonificación sísmica III, por lo que, se obtuvo un  $F_{ai}$  de 1.2, el cual, modificó los valores medios de la curva de fragilidad para ajustarlos al terreno.

El número de curva de fragilidad asignada corresponde a la 146 de acuerdo con la numeración definida en los anexos de la guía y su gráfica se muestra en la Figura 36.



**Figura 33.** Detalle de pared de mampostería confinada.



**Figura 34.** Detalle de pared de mampostería confinada.



**Figura 35.** Detalle de estructura de techo.

Además de los formularios de inspección también se incluyó en la aplicación práctica, el uso de la lista de verificación del equipo con el que se contó en la inspección y un registro fotográfico en un formato propuesto para ordenar la información obtenida, estos se encuentran incluidos en el anexo 7 de la guía.

En el Cuadro 14 se muestra parte de la información sobre las características estructurales de las edificaciones almacenadas en la base de datos, así como el Cuadro 15 donde se muestran los parámetros de los valores medios ( $\mu$ ) y desviaciones estándar ( $\beta$ ) en cada uno de los estados de daño que corresponde a la curva de fragilidad asignada a cada una de las edificaciones. Este inventario completo se encuentra en el anexo 8 de la guía.

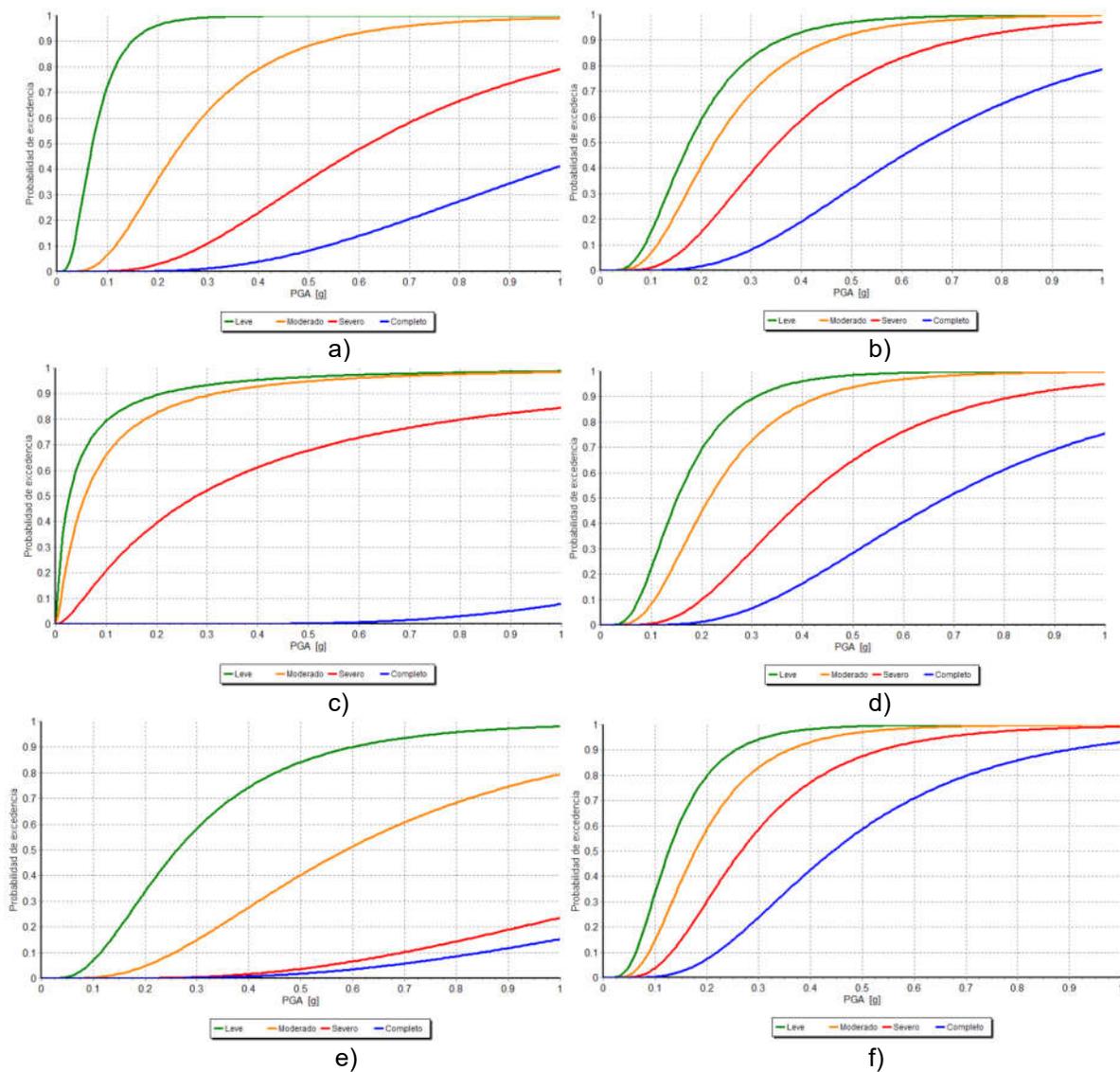
**Cuadro 14. Resumen de los resultados obtenidos con la aplicación de los formularios en las edificaciones del hospital.**

| N° formulario | Nombre del edificio        | Fecha código | Código sísmico | N° niveles | Factor Fai | Material           | Sistema estructural    | Estructura de piso |
|---------------|----------------------------|--------------|----------------|------------|------------|--------------------|------------------------|--------------------|
| 01.2101-01    | Torre Sur                  | 1986 - 2003  | Moderado       | 4          | 1.2        | Concreto reforzado | Dual                   | Viguetas           |
| 01.2101-02    | Casa de máquinas mecánicas | 1974 - 1986  | Bajo           | 1          | 1.2        | Mampostería        | Reforzada Confinada    | -                  |
| 01.2101-03    | Torre Este                 | > 2011       | Alto           | 6          | 1          | Concreto reforzado | Dual                   | Viguetas           |
| 01.2101-04    | Torre Norte                | 1974 - 1986  | Bajo           | 5          | 1.2        | Concreto reforzado | Marco                  | Viguetas           |
| 01.2101-05    | Nutrición                  | > 2011       | Alto           | 3          | 1.2        | Concreto reforzado | Dual                   | Viguetas           |
| 01.2101-06    | Histórico                  | < 1974       | Pre-código     | 2          | 1.2        | Mampostería        | No reforzada Confinada | Losa monolítica    |

**Cuadro 15. Parámetros que describen las curvas de fragilidad para las edificaciones del hospital.**

| Nombre del edificio        | IM  | Leve      |             | Moderado  |             | Severo    |             | Completo  |             |
|----------------------------|-----|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|-----------|-------------|
|                            |     | ( $\mu$ ) | ( $\beta$ ) |
| Torre Sur                  | PGA | 0.0840    | 0.0535      | 0.2952    | 0.1910      | 0.7380    | 0.4775      | 1.3578    | 0.8790      |
| Casa de máquinas mecánicas | PGA | 0.2062    | 0.1222      | 0.2651    | 0.1572      | 0.4123    | 0.2445      | 0.7511    | 0.4453      |
| Torre Este                 | PGA | 0.0970    | 0.3300      | 0.1390    | 0.3000      | 0.6160    | 1.2100      | 2.2450    | 1.1600      |
| Torre Norte                | PGA | 0.1768    | 0.1048      | 0.2503    | 0.1484      | 0.4712    | 0.2794      | 0.7952    | 0.4715      |
| Nutrición                  | PGA | 0.3228    | 0.2320      | 0.7236    | 0.5210      | 1.9608    | 1.4110      | 2.3880    | 1.7180      |
| Histórico                  | PGA | 0.1472    | 0.0873      | 0.2062    | 0.1222      | 0.3092    | 0.1834      | 0.5154    | 0.3056      |

En la Figura 36 se muestra gráficamente cada una de las curvas de fragilidad asignadas a las edificaciones del hospital Rafael Ángel Calderón Guardia.



**Figura 36.** Curvas de fragilidad asignadas. a) Torre Sur. b) Casa de máquinas mecánicas. c) Torre Este. d) Torre Norte. e) Nutrición. f) Histórico.

# Análisis de los resultados

Este apartado de análisis se presentará segmentado de la misma forma en que fueron presentados los resultados del proyecto. Por ende, al inicio se analizarán los parámetros definidos para la selección de las curvas de fragilidad, las variables de las curvas seleccionadas y la discusión sobre la comparación de las curvas de fragilidad.

Posteriormente, la discusión sobre los formularios de inspección confeccionados y el documento generado de la guía para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud.

Finalmente, el análisis de los resultados de la aplicación de la guía en el establecimiento de salud escogido en cada una de las edificaciones mediante la información recolectada en los formularios de inspección.

## Definición de parámetros

Los tres primeros parámetros que se definieron permiten delimitar dentro de la gran cantidad de curvas de fragilidad típicas existentes en la actualidad y una mayor facilidad para la búsqueda de estas curvas de fragilidad.

La clasificación de los edificios en tipologías estructurales representa una simplificación del análisis aplicable para estudios regionales, existen evaluaciones preliminares o estudios que abordan un conjunto amplio de edificios. Por ejemplo, en HAZUS MH, así como en el proyecto RISK-UE, se encuentran tipologías estructurales según el material de construcción, el sistema resistente a cargas y la altura de los edificios (Valcárcel, 2013).

La definición de las tipologías se basó principalmente en los tres atributos mencionados anteriormente considerados como los parámetros primarios, otros atributos como el tipo de entrepiso y tipo de techo no fueron utilizados para definir las tipologías, pero se tomaron en cuenta

como parte de la caracterización de la edificación, considerados estos como los atributos secundarios.

Al realizar una tipología estructural con atributos tan específicos aumentaría la cantidad de tipologías a considerar y las curvas de fragilidad típicas existentes no cuentan con atributos estructurales tan específicos, por lo que, sería complicado la asignación de dichas curvas de fragilidad a las edificaciones.

Las tipologías propuestas no solo contemplan los sistemas estructurales actuales, sino, también sistemas que han sido utilizados anteriormente en Costa Rica, como es el caso de la mampostería no reforzada y no reforzada confinada.

La nomenclatura adoptada de la codificación de las tipologías es similar a la utilizada en el proyecto de Calderón (2018), ya que representa una forma simple de ser utilizadas en el presente proyecto, pero también se incluyó la nomenclatura de la taxonomía de GEM debido a que representa una nomenclatura que trata de ser adoptada internacionalmente por su caracterización a detalle de los aspectos estructurales de una edificación. Esto puede ser útil para el uso en alguna otra investigación y puede ser utilizada esta nomenclatura como referencia para la interpretación de las tipologías propuestas o en el caso de que la CCSS opte por adoptar esta nomenclatura en un futuro, ya estaría definida para las tipologías propuestas.

Con respecto a la medida de intensidad sísmica se optó por utilizar dos medidas de intensidad sísmica, aunque es preferible solo llegar a emplear una de estas para evitar tener dos medidas distintas. En la Figura 17 como resultado de las curvas de fragilidad se obtuvo un mayor porcentaje de curvas basadas en aceleración máxima del terreno (PGA).

En muchos trabajos de investigación en ingeniería sísmica suelen usar la medida en PGA al considerarse un parámetro más actual y avanzando. Existen algunas correlaciones que se pueden emplear para pasar de una medida de intensidad a otra como las que se encuentran en la sección 13.2.2 del documento del Syner-G (Pitilakis et al, 2014).

Sin embargo, en el proyecto no se realizaron correlaciones entre las medidas de

intensidad debido a que en algunos casos se requiere de ciertos datos o información de las curvas de fragilidad desarrolladas que no se muestran en las referencias bibliográficas. Por esta razón, los parámetros de las curvas fueron obtenidos en esas medidas específicamente o se emplearon algunas referencias que realizaron las correlaciones de la fuente original, como el caso de las curvas de fragilidad de Hidalgo et al (2020) procedentes del trabajo de Calderón (2018) o las de HAZUS-MH (2003) que fueron convertidas en la base de datos del GEM.

Por último, con respecto a los estados de daño, se consideraron cuatro estados de daño: Leve, moderado, severo y completo, pero se aprecia en el marco teórico y el resumen presentado en el apéndice A que existen varias definiciones para los estados de daño y escalas dependiendo de la referencia que se utilice, esto puede generar incertidumbres en los resultados a obtener por parte de las curvas de fragilidad, principalmente, se menciona el caso de las curvas de fragilidad de HAZUS-MH donde el umbral de daño para el estado completo se considera como un colapso total de la estructura a diferencia de las otras referencias bibliográficas que lo consideran como un colapso parcial de la estructura. Lo que podría mejorar la estimación de los daños, en la medida de lo posible, es utilizar las curvas de fragilidad procedentes de la menor cantidad de referencias o que estas contemplen las mismas definiciones de los daños para cada estado.

También, como se muestra el Cuadro 5 propuesto con índices de daño medio para la probabilidad de excedencia del daño a partir de las presentadas en el marco teórico para una variedad de fuentes de información. Los índices propuestos son una primera aproximación de los posibles resultados que se pueden obtener o poder interpretar los valores a obtener de las curvas de fragilidad. Junto a estos valores, se indica la interpretación del valor que se puede obtener con respecto a los posibles estados de daño estructural y no estructural de la edificación y sus niveles de desempeño.

## Curvas de fragilidad

El proceso de selección de las curvas de fragilidad se basó en obtener curvas de fragilidad que se identificaran con las tipologías estructurales de Costa Rica principalmente, como se puede observar en la gráfica de la Figura 19 solo un 10% de curvas de fragilidad seleccionadas corresponde a Costa Rica, sin embargo, hay que tener en cuenta que la distribución se realizó con el total de las curvas de fragilidad.

Los inconvenientes que se encontraron es que a nivel nacional solo se han realizado curvas de fragilidad para el actual Código Sísmico de Costa Rica y tampoco se han desarrollado curvas de fragilidad para algunas de las tipologías estructurales definidas en el proyecto, por ejemplo, las tipologías de acero laminado en caliente. Al tener estas limitantes en cuanto a curvas de fragilidad para diferentes códigos sísmicos relacionados al año de construcción de las edificaciones y algunas tipologías, se optó por utilizar curvas de fragilidad desarrolladas en otras regiones con tipologías estructurales similares a las de Costa Rica para completar las tipologías estructurales para código alto y para el problema del código sísmico se optó por incluir las curvas de fragilidad desarrolladas por HAZUS-MH y RISK-EU para los diferentes códigos sísmicos.

La distribución final de las curvas de fragilidad de acuerdo con las referencias que se aprecian tanto en el Cuadro 11 como en la Figura 18 donde las curvas de HAZUS-MH presentan la mayor cantidad de curvas de fragilidad con un 76%, es debido a que estas se contemplan para las tipologías estructurales en cada uno de los cuatro rigores del código sísmico. Para mejorar el porcentaje de las curvas de fragilidad nacionales, se debe estudiar las actuales curvas para código alto y proponer mediante estudios, las variaciones en cada una de las curvas de fragilidad por tipología para los diferentes códigos sísmicos.

En el proceso se propuso utilizar un solo valor de ajuste para modificar las curvas nacionales en los diferentes códigos sísmicos, sin embargo, como lo comentó el ingeniero Diego Hidalgo en las entrevistas, no es adecuado utilizar un solo valor de ajuste por tipo de código sísmico, sino, lo más conveniente es realizar comparaciones con las desarrolladas

internacionalmente, como el caso de HAZUS para generar posibles factores de ajuste propios por tipología estructural para los diferentes códigos sísmicos. Aunque esta propuesta podría ser una solución, en el presente proyecto no se desarrolló.

Por último, las curvas de fragilidad seleccionadas contemplan solamente los daños estructurales, aunque existen algunas propuestas de curvas de fragilidad para elementos no estructurales, no se consideraron debido a la gran cantidad de elementos no estructurales con los que puede contar una edificación y estas curvas desarrolladas podrían tener una gran variabilidad presentando incertidumbres altas para la estimación del daño no estructural. La recomendación del ingeniero Diego Hidalgo es que a partir del índice de daño medio considerar límites para decir que se van a presentar daños no estructurales, como lo propuesto en el Cuadro 5.

## Comparación de curvas de fragilidad

Las comparaciones realizadas entre las curvas de fragilidad nacionales e internacionales fueron escogidas por criterio propio y se realizaron para poder visualizar el comportamiento estructural en la estimación del daño para una misma medida de intensidad y código sísmico, para validar el uso o no de las curvas internacionales preliminarmente en la asignación para edificaciones del país. Cabe mencionar que no fueron realizadas para obtener valores de ajuste para modificar las curvas de fragilidad nacional como se mencionó en la sección anterior.

En la figura 8 se puede observar que no todas las curvas fragilidad presentan un mismo comportamiento, esto quiere decir, que en algunos casos como en las curvas a y b donde las curvas nacionales pueden llegar a tener una probabilidad de excedencia del daño mayor a una menor intensidad sísmica, al tener las curvas de fragilidad por arriba y más hacia la izquierda que las curvas internacionales. Por otro lado, las curvas c y curvas d pasa lo contrario, donde las curvas internacionales pueden llegar a tener una probabilidad de excedencias del daño mayor a una menor intensidad sísmica, al tener las curvas

de fragilidad por arriba y más hacia la izquierda que las curvas nacionales.

Estos resultados para las curvas comparadas muestran, primero, que si se desea ajustar las curvas de fragilidad, por ejemplo las internacionales con base en las nacionales con algún factor de ajuste mencionado anteriormente habría que realizarlo para cada tipología estructural con factores de ajuste propios. Luego, al observar el Cuadro 12 donde se propuso un valor de PGA de 0.45 g para el caso de sismo extremo en edificaciones con importancia A para estimar numéricamente la probabilidad de excedencia del daño, y así, reafirmar lo observado en las curvas de fragilidad de forma gráfica.

Finalmente, para validar el uso de las curvas de fragilidad internacionales, en el mismo Cuadro 12 se indicaron los índices de daño medio obtenidos de la probabilidad de excedencia del daño que van a servir posteriormente para definir los daños probables en las edificaciones, estos presentaron índices con valores muy cercanos entre ellos. En el Cuadro 5, los porcentajes se propusieron en rangos, por ende, la primera (CR-M-M) y segunda (CR-D-M) tipología estructural para ambas curvas de fragilidad comparadas presentarían una clasificación amarilla para un daño estructural moderado, la cuarta (M-RC-B) tipología estructural para ambas curvas de fragilidad comparadas presentarían una clasificación verde para un daño estructural leve, y en cuanto a la tercera (S-M-M) tipología estructural presentaría dos clasificaciones distintas una verde para la curva nacional y amarilla para la curva internacional teniendo así dos estados de daño, leve y moderado.

De estos resultados últimos, se puede considerar la validez del uso de las curvas de fragilidad internacional en el presente trabajo. Sin embargo, hay que tener en cuenta que la afirmación se basa en las comparaciones realizadas, por ende, sería adecuado realizar más comparaciones con las demás tipologías estructurales y que la mayoría de los valores obtenidos de los índices de daño medio de las curvas de fragilidad para una misma tipología se clasificaron de acuerdo con los rangos propuestos y estos rangos podrían ser variados en alguna futura propuesta.

## Formularios de inspección y Guía

Los formularios de inspección confeccionados permiten obtener información sobre el establecimiento de salud y cada una de las edificaciones con las que cuenta para generar inventarios con esta información y además de ser utilizadas para la asignación de curvas de fragilidad.

La propuesta final fue elaborar dos formularios, debido a que cuando se piensa analizar un hospital, por ejemplo, este cuenta con una gran cantidad de edificaciones. Por lo que, el primer formulario trata de recabar información general sobre el establecimiento de salud, se toman en cuenta aspectos importantes como lo es la oferta de servicios y si cuentan con servicios de emergencia para generar información sobre el atributo de importancia. También, colocando croquis del conjunto de edificios que integran el establecimiento de salud.

El segundo formulario se aplica a cada una de las edificaciones que integran el establecimiento de salud, por lo que, este formulario puede llegar a ser llenado varias veces para las diferentes edificaciones. En este formulario se recoge información sobre las tipologías estructurales, el tipo de terreno, la normativa de diseño de la edificación, entre otras, y generar dentro del mismo formulario el procedimiento para la asignación de las curvas de fragilidad.

Estos formularios fueron basados en los desarrollados por el proyecto de Valcárcel (2013), con variaciones para tomar en cuenta otros aspectos como los mencionados en los cuadros Cuadro 8 y Cuadro 9. En cuanto a los aspectos de la normativa de diseño y factor de amplificación, se analizaron en esta segunda etapa debido a que en comparación con las tipologías y el número de pisos, que fueron desarrollados en la primer etapa para selección de las curvas de fragilidad, acá se desarrollaron para tomar aspectos de la edificación y plasmarlas en los formularios.

En este caso se tuvo que relacionar los cuatro distintos rigores del código sísmico con los periodos de construcción y las versiones del código sísmico de Costa Rica. El contar con un periodo de construcción para cada edificación permite asignar, con las limitaciones del caso (por

ejemplo, asumiendo que la construcción siguió la normativa vigente), la versión del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR) aplicable para cada una de ellas. Esto se traduce en una caracterización más precisa de su desempeño estructural ante terremotos, ya que, por ejemplo, las estructuras diseñadas con versiones más recientes del CSCR deberían tener un mejor desempeño que las más antiguas (Blanco y Esquivel, 2021).

El factor de amplificación fue una propuesta simplificada para el presente trabajo haciendo uso de los tabla 2.3 del CSCR-10/14 siguiendo las correcciones que aplica la metodología de HAZUS-MH para la amplificación del suelo para Estados Unidos y la fórmula propuesta en esta referencia. Este factor depende de conocer el tipo de suelo con el cual fueron desarrolladas las curvas de fragilidad para hacer las correcciones a las curvas por asignar.

Los tipos de suelo con los cuales fueron desarrolladas las curvas de fragilidad se muestran en el apéndice A y en la guía se presentan dos tablas para indicar los factores en el caso de asignar las curvas de fragilidad a alguna edificación. Una de las tablas es generada para las curvas de fragilidad desarrolladas en Costa Rica y la otra tabla para las restantes referencias debido a que en la mayoría se indicaba que el tipo de suelo es de Roca similar al S1. Sin embargo, se realizaron las variaciones por cada tipo de suelo y zona de amenaza sísmica como se muestran en el apéndice B, esto para que en el caso futuro de que la Caja Costarricense del Seguro Social desarrolle curvas de fragilidad o en alguna otra investigación nacional para un tipo de suelo puedan ser utilizar estas tablas para aplicar los ajustes correspondientes.

Para el proyecto solo se realizaron los formularios en físico, aunque también puede ser llenados de forma digital mediante la herramienta de Excel donde fueron confeccionados. Se estuvo proponiendo realizarlos de forma digital donde el resultado se almacenará en línea, pero por causas de tiempo no fueron realizados, sin embargo, los formularios desarrollados permiten tener la base en el caso que se desee plantear esta propuesta más adelante.

La guía para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud permite realizar inspecciones visuales rápidas en las edificaciones para obtener información como las características

estructurales, generar un inventario con esta información y al mismo tiempo brindar una descripción del procedimiento para la asignación de curvas de fragilidad para las edificaciones de acuerdo con sus tipologías estructurales.

En la guía se encuentra con detalle la descripción de los preparativos previos a una inspección y las descripciones a detalle de cada uno de los aspectos que deben ser completados en los formularios de inspección. Para cuando se realicen capacitaciones, será de suma importancia suministrar este documento a cada uno de los asistentes.

Por último, la guía conforma un documento que puede ser usado por la Caja Costarricense del Seguro Social, es por esto, que toda la información importante desarrollada en el proyecto como las tipologías estructurales, la lista de verificación, las tablas con los parámetros de las curvas de fragilidad y los ejemplos de aplicación se incluyen como anexos de este documento y no como apéndices del proyecto de investigación. Además, al realizar explicaciones o procedimientos descritos en la guía se mencionan estas otras herramientas, por ende, se prefirió anexarlos a la guía.

## Aplicación de la guía

Se implementó la guía y las herramientas propuestas, con el fin de garantizar un proceso ágil. Para calibrar la guía propuesta, se buscó un establecimiento de salud que cuenta con varias edificaciones y con posibles características estructurales diferentes entre ellas. De este modo, se aplicó la guía paso a paso, certificando su eficiencia.

En cuanto a los preparativos de la inspección se siguió lo descrito en el capítulo 2 de la guía, solo que la documentación fue utilizada posteriormente para realizar las comparaciones con la información obtenida en el sitio. El proceso de llenado de los formularios siguió lo descrito en la guía y esta funcionó adecuadamente. Habría que poner a prueba su uso con diferentes usuarios para lograr comprobar su efectividad.

Con respecto a los croquis en los formularios, se completaron posterior a la inspección mediante capturas de pantalla de los planos estructurales para mayor facilidad y

aprovechando la ventaja de contar con la documentación, en casos donde no se disponga de la documentación se debe dedicar más tiempo en el sitio para la realización del croquis de la edificación.

Los resultados obtenidos en el Cuadro 13 muestran información sobre el hospital donde estos valores pueden llegar a ser utilizados para generar criterios sobre la importancia en la priorización de la inspección. Estos criterios no fueron abarcados en el desarrollo del proyecto.

Los resultados obtenidos en el Cuadro 14 muestran la importancia de considerar la edad de la edificación debido a que solo en las seis edificaciones inspeccionadas se encuentran los cuatro tipos de códigos sísmicos desde código alto hasta pre-código. También, se obtuvieron varios niveles de pisos consecutivamente del 1 al 6, por lo que, resulta útil agrupar las tipologías en rangos de niveles.

En cuanto a las tipologías estructurales, se obtuvo una mayor cantidad de edificaciones de concreto reforzado con el sistema dual. Luego, también se obtuvo de mampostería con sistemas confinados tanto reforzado como no reforzado. Para el entrepiso predominó la estructura de viguetas. De las tipologías estructurales obtenidas junto con el código sísmico asignado se puede determinar que en las edificaciones que fueron diseñadas con el código sísmico alto y moderado predomina el concreto reforzado con el sistema dual y en las edificaciones que fueron diseñadas con el código sísmico bajo y pre-código se encuentra más las edificaciones de mampostería.

El factor de amplificación en estas edificaciones inspeccionadas muestra que solo la curva de fragilidad asignada al edificio Torre Este no fue modificado por este factor y que esta procede de la referencia nacional de Hidalgo et al (2020). Por otro lado, el factor de 1.2 se aplica a las curvas de fragilidad que proceden de la referencia internacional de HAZUS-MH (2003). Por lo que, en esta aplicación de la guía fueron asignadas más curvas de fragilidad procedentes de la referencia internacional.

Finalmente, se muestra en el Cuadro 15 la finalidad de la guía desarrollada, lo cual, es asignar las curvas de fragilidad correspondientes a cada una de las edificaciones de acuerdo con sus tipologías estructurales. También, se puede observar en la Figura 36 la visualización de las curvas de fragilidad asignadas.

# Conclusiones

- Se definieron 33 tipologías estructurales descritas por medio de una nomenclatura sencilla para la aplicación del proyecto junto con la taxonomía de GEM, tomando en cuenta principalmente cuatro atributos: tipo de material, tecnología del material, tipo de sistema estructural y número de pisos. Se tienen 11 clases con el tipo de material de concreto reforzado, 10 con mampostería, 9 para acero laminado en caliente, 1 para acero laminado en frío y 2 para madera.
- Se emplearon dos medidas de intensidad para la selección de curvas de fragilidad, que corresponden a la aceleración espectral ( $S_a$ ) y la aceleración máxima del terreno (PGA) en concordancia con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS). El porcentaje de curvas de fragilidad seleccionadas que predominaron fueron las curvas con la medida en PGA.
- Se propusieron unos rangos de índices de daño medio para la probabilidad de excedencia del daño que permiten interpretar el valor que se puede obtener con respecto a los posibles estados de daño estructural, no estructural y sus niveles de desempeño.
- Se seleccionaron 145 curvas de fragilidad desarrolladas tanto nacional como internacionalmente que fueron clasificadas en 33 tipologías estructurales y los cuatro tipos de código sísmico. Se obtuvieron 15 curvas de fragilidad para Costa Rica, 2 de Colombia y 6 de varios países de Sudamérica en código alto; 110 de Estados Unidos y 12 de Grecia en código alto, moderado, bajo y pre-código.
- Se introdujo a escala nacional la utilización de las curvas de fragilidad como una herramienta útil para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en la infraestructura de la Caja Costarricense del Seguro Social, donde se podrá junto con la intensidad sísmica brindada por el LIS priorizar la inspección de edificaciones luego de un sismo.
- Se validó el posible uso de las curvas internacionales seleccionadas en este proyecto para la estimación de daños en edificaciones del país basado en las comparaciones realizadas entre las curvas de fragilidad nacional e internacional donde se obtuvo para una misma medida de intensidad sísmica propuesta, valores de índices de daños medios dentro de los rangos de una misma probabilidad de daño.
- Se confeccionaron dos formularios útiles para obtener información sobre los establecimientos de salud y características estructurales de las edificaciones para generar inventarios y permitir la asignación de curvas de fragilidad.
- Se elaboró una guía para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud que brinda al lector una descripción para realizar inspecciones visuales rápidas en las edificaciones y una descripción del procedimiento para la asignación de curvas de fragilidad en las edificaciones de acuerdo con sus tipologías estructurales.
- Se implementó y validó el uso de la guía propuesta mediante su aplicación en el hospital Rafael Ángel Calderón Guardia y en seis edificaciones que forman parte del hospital, donde se le asignó a cada una su curva de fragilidad correspondiente.
- Se demostró la importancia de considerar la edad de la edificación debido a que solo en las seis edificaciones inspeccionadas se determinaron los cuatro tipos de códigos sísmicos desde código alto hasta pre-código. También, se obtuvieron varios niveles de pisos consecutivamente del 1 al 6, por lo que, resulta útil agrupar las tipologías en rangos de niveles.
- De las tipologías estructurales obtenidas junto con el código sísmico asignado se puede determinar que en las edificaciones que fueron diseñadas con el código sísmico alto y moderado predomina el concreto reforzado con el sistema dual y en las edificaciones que fueron diseñadas con el código sísmico bajo y pre-código se encuentra más las edificaciones de mampostería.

# Recomendaciones

- Determinar mediante la aplicación de la guía si las tipologías estructurales propuestas cumplen con las diferentes edificaciones de la Caja Costarricense del Seguro Social o incluir en la guía otras tipologías estructurales que se puedan ir identificando y seleccionar las curvas de fragilidad típicas para estas.
- Incluir en la guía un capítulo que muestre con detalle cómo realizar correlaciones entre las medidas de intensidad sísmica más usadas, permitiendo modificar las intensidades de las curvas de fragilidad típicas de Sa a PGA en la guía o futuras curvas de fragilidad que se pretendan incluir en la guía con medidas de intensidad sísmica distintas.
- Mejorar los criterios de la propuesta de la inspección para la respuesta inmediata después de un sismo, incluyendo aspectos como la importancia, la capacidad de respuesta o pérdidas económicas de los establecimientos de salud y las edificaciones que lo integran.
- Generar las curvas de fragilidad específicas para edificaciones en casos donde las estructuras sean muy particulares y no concuerden con las tipologías estructurales o cuando se requiera de una mejor estimación del daño probable de la edificación.
- Las curvas de fragilidad seleccionadas contemplan solamente los daños estructurales, aunque el comportamiento sísmico de los elementos no estructurales es importante en la funcionalidad de los edificios y sistemas esenciales. Por lo que, es importante realizar investigaciones para modelar la fragilidad de estos elementos a nivel nacional o plantear metodologías que puedan ser utilizadas para estimar los daños probables de estos elementos.
- Para contribuir con el uso de curvas de fragilidad a nivel nacional, se deben realizar investigaciones para desarrollar curvas de fragilidad típicas de las tipologías estructurales definidas en el proyecto que se les asignaron curvas de fragilidad de referencias de otros países en la región. También, realizar estudios sobre la posibilidad de modificar las curvas de fragilidad desarrolladas para el actual Código Sísmico de Costa Rica y ajustarlas para contemplar los comportamientos de los otros tipos de códigos de versiones anteriores.
- Realizar investigaciones sobre el efecto de sitio, considerando el factor de amplificación del terreno que se aplica a las curvas de fragilidad para comprobar la efectividad en su uso mediante la comparación con daño reales o mediante estudios probabilísticos.
- 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 en algún servicio de almacenamiento en la nube.
- Idear actividades de capacitación que enseñen los criterios importantes de las curvas de fragilidad, como desarrollarlas y su uso para poder involucrarse en los procesos de evaluación de la vulnerabilidad sísmica en edificaciones.

# Apéndices

**Apéndice A.** Resumen de la información sobre las referencias bibliográficas utilizadas para las curvas de fragilidad.

**Apéndice B** Tablas de variaciones realizadas para el factor de amplificación  $F_{ai}$ .

**Apéndice C.** Guía para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud.

# **Apéndice A**

***“Resumen de la información sobre las referencias bibliográficas  
utilizadas para las curvas de fragilidad”***

| Referencia  |                                   | Hidalgo et al (2020)   | Calderón y Silva (2019)  | Acevedo et al (2017)                              | Villar-Vega et al (2014)                                      | RISK-UE (2003)                                      | HAZUS-MH (2003)                                     |
|---|-----------------------------------|--|--|---|---|---|---|
| Estados de daño                                     | Escala de daño                    | Lagomarsino y Giovinazzi (2006)<br>Villar-Vega et al (2014)                                | Villar-Vega et al (2014)   | Villar-Vega et al (2014)                          | Lagomarsino y Giovinazzi (2006)<br>Villar-Vega et al (2014)   | EMS-98  | HAZUS   |
|   | Estado limite                     | A=Leve<br>B=Moderado<br>C=Severo<br>D=Completo   | A=Leve<br>B=Moderado<br>C=Severo<br>D=Completo                                     | A=Leve<br>B=Moderado<br>C=Severo<br>D=Completo    | A=Leve<br>B=Moderado<br>C=Severo<br>D=Completo                | A=Leve<br>B=Moderado<br>C=Severo<br>D=Completo      | A=Leve<br>B=Moderado<br>C=Severo<br>D=Completo      |
|   | Definición                        | A=0,7Dy<br>B=-1,5Dy<br>C=0,5(Dy+Du)<br>D=Du<br><br>B=0,75Dy + 0,25Du (Ductilidad reducida) | A=0,7Dy<br>B=0,25(3Dy+Du)<br>C=0,5(Dy+Du)<br>D=Du                                  | A=0,7Dy<br>B=0,25(3Dy+Du)<br>C=0,5(Dy+Du)<br>D=Du | A=0,7Dy<br>B=0,25(3Dy+Du)<br>C=0,5(Dy+Du)<br>D=Du             | A=0,7Dy<br>B=Dy<br>C=Dy+0.25(Du-Dy)<br>D=Du         | -   |
| Intensidad del movimiento del suelo                 | Medida de intensidad sísmica (IM) | PGA (g)<br>Sd (cm)   | PGA (g)<br>Sa (s)  | PGA (g)<br>Sa (s)                                 | PGA (g)<br>Sa (s)   | PGA (g)<br>Sd (cm)                                  | PGA (g)<br>Sd (in)                                  |
|   | Evaluación de IM                  | -  | Acelerogramas naturales  | Acelerogramas naturales                           | Acelerogramas naturales                                       | Acelerogramas naturales                             | -   |
| Clasificación de la edificación                     | Material de construcción          | -Mampostería -<br>-Concreto reforzado<br>-Acero<br>-Madera                                 | -Mampostería<br>-Concreto reforzado<br>-Concreto prefabricado<br>-Acero<br>-Madera | -Mampostería                                      | -Mampostería -<br>-Concreto -<br>Madera                       | -Mampostería -<br>-Concreto                         | -Mampostería<br>-Concreto<br>-Acero<br>-Madera      |
|   | Sistema estructural               | M<br>MU<br>D   | M<br>MU<br>D   | MU  | M<br>MU   | M<br>MU   | M<br>MU<br>D  |
|   | Altura                            | 1, 2-3, 4, 4-7, 4-10, 6-8, 8-18, 9-18, 6-10 y 10   | 1, 2, 3-6 y 1-12   | 1-6   | 1-3, 1-7, 5-10 y 1-2  | L: (1 -2 pisos)<br>M: ( 3 -5 pisos)<br>H: (+7 piso) | L: (1 -3 pisos)<br>M: ( 4 -7 pisos)<br>H: (+8 piso) |
|   | Normativa de diseño               | Código Alto  | Posterior a 1980   | -   | -   | Código Alto Código Medio Código Bajo Pre-Código     | Código Alto Código Medio Código Bajo Pre-Código     |
| Calidad de los datos                                | Región de aplicación              | Costa Rica   | Costa Rica   | Colombia  | Venezuela, Perú, Ecuador, Colombia, Chile, Bolivia, Argentina | Europa (Grecia)                                     | Estados Unidos                                      |
|   | N° de tipologías estructurales    | 13   | 16   | 6   | 54  | 65  | 36  |
|   | Tipo de suelo                     | S3   | S3   | Roca  | Roca  | Roca  | Clase B según el NEHRP                              |
| Método de análisis para el desarrollo de las curvas |                                   | Análítico, espectro de capacidad (CSM)   | Análítico Dinámico no lineal   | Análítico, espectro de capacidad (CSM)            | Análítico Dinámico no lineal                                  | Análítico, espectro de capacidad (CSM)              | Análítico, espectro de capacidad (CSM)              |

|                    |   |  |  |  |  |   |
|--------------------|---|--|--|--|--|---|
| <p>Comentarios</p> | <p>La curvas de fragilidad provienen de la referencia de Calderón (2018), pero fueron ajustadas a PGA por el Ing. Diego Hidalgo utilizadas para el proyecto del riesgo sísmico en San José. Las curvas de fragilidad desarrolladas para hospitales pueden podrían ser utilizadas en algunas edificaciones, pero a un tipo de código diferente al código alto, sin embargo no se especifica a cuál código se podrían relacionar.</p> | <p>Desarrolló curvas de fragilidad para Costa Rica enfocadas en el concreto prefabricado y en mampostería reforzada confinada.</p> | <p>Son curvas de fragilidad para mampostería no reforzadas en Colombia, aunque no se especifique la normativa de diseño considerada para el desarrollo de las curvas de fragilidad, se considera que se desarrollaron para código alto por los datos de los parámetros de los valores medios y desviaciones estándar. Se encuentran también en la base de datos del GEM.</p> | <p>Las curvas de fragilidad fueron desarrolladas para diferentes países de Sudamérica. Este trabajo sirvió de base para el desarrollo del trabajo de Calderón y Silva (2019). Se encuentran también en la base de datos del GEM.</p> | <p>Cuenta con una matriz de tipología estructural desarrollada incluyendo acero y madera como materiales y sus sistemas estructurales sin embargo, no hay curvas de fragilidad desarrolladas en la metodología y algunas de las curvas de fragilidad no son incluidas en los tipos de normativas de diseño. Se encuentra correlacionada en PGA en el D7.1 del SYNER-G.</p> | <p>Las curvas fueron desarrolladas para desplazamiento espectral (<math>S_d</math>), pero se presenta la correlación a PGA y ajustadas base de datos del GEM.</p> |
|--------------------|---|--|--|--|--|---|

# **Apéndice B**

*“Tablas de variaciones realizadas para el factor de  
amplificación Fai.”*

Se incluyen los factores de amplificación del suelo (Fai) para nuevas curvas de fragilidad en las diferentes zonas sísmicas y tipos de sitio de Costa Rica a partir de la tabla 2.3. del CSCR-2010/14. Por ejemplo, la primer tabla se utilizaría cuando se asigne una curva de fragilidad elaborada en S1 y Zona II a una edificación que se encuentre en un suelo y/o zona distinta. Según el factor que indique la tabla, se deberá multiplicar los valores medios ( $\mu$ ) de la curva de fragilidad.

Factores de amplificación del suelo en S1 y Zona II

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 1.00    | 1.50     | 2.00    |
| S2            | 1.20    | 1.65     | 2.00    |
| S3            | 1.40    | 1.80     | 2.20    |
| S4            | 1.70    | 1.80     | 1.80    |

Factores de amplificación del suelo en S2 y Zona II

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.83    | 1.25     | 1.67    |
| S2            | 1.00    | 1.38     | 1.67    |
| S3            | 1.17    | 1.50     | 1.83    |
| S4            | 1.42    | 1.50     | 1.50    |

Factores de amplificación del suelo en S1 y Zona III

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.67    | 1.00     | 1.33    |
| S2            | 0.80    | 1.10     | 1.33    |
| S3            | 0.93    | 1.20     | 1.47    |
| S4            | 1.13    | 1.20     | 1.20    |

Factores de amplificación del suelo en S2 y Zona III

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.61    | 0.91     | 1.21    |
| S2            | 0.73    | 1.00     | 1.21    |
| S3            | 0.85    | 1.09     | 1.33    |
| S4            | 1.03    | 1.09     | 1.09    |

Factores de amplificación del suelo en S1 y Zona IV

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.50    | 0.75     | 1.00    |
| S2            | 0.60    | 0.83     | 1.00    |
| S3            | 0.70    | 0.90     | 1.10    |
| S4            | 0.85    | 0.90     | 0.90    |

Factores de amplificación del suelo S2 y Zona IV

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.50    | 0.75     | 1.00    |
| S2            | 0.60    | 0.83     | 1.00    |
| S3            | 0.70    | 0.90     | 1.10    |
| S4            | 0.85    | 0.90     | 0.90    |

Factores de amplificación del suelo S3 y Zona II

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.71    | 1.07     | 1.43    |
| S2            | 0.86    | 1.18     | 1.43    |
| S3            | 1.00    | 1.29     | 1.57    |
| S4            | 1.21    | 1.29     | 1.29    |

Factores de amplificación del suelo en S4 y Zona II

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.59    | 0.88     | 1.18    |
| S2            | 0.71    | 0.97     | 1.18    |
| S3            | 0.82    | 1.06     | 1.29    |
| S4            | 1.00    | 1.06     | 1.06    |

Factores de amplificación del suelo en S3 y Zona III

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.56    | 0.83     | 1.11    |
| S2            | 0.67    | 0.92     | 1.11    |
| S3            | 0.78    | 1.00     | 1.22    |
| S4            | 0.94    | 1.00     | 1.00    |

Factores de amplificación del suelo en S4 y Zona III

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.56    | 0.83     | 1.11    |
| S2            | 0.67    | 0.92     | 1.11    |
| S3            | 0.78    | 1.00     | 1.22    |
| S4            | 0.94    | 1.00     | 1.00    |

Factores de amplificación del suelo en S3 y Zona IV

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.45    | 0.68     | 0.91    |
| S2            | 0.55    | 0.75     | 0.91    |
| S3            | 0.64    | 0.82     | 1.00    |
| S4            | 0.77    | 0.82     | 0.82    |

Factores de amplificación del suelo en S4 y Zona IV

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III | Zona IV |
|---------------|---------|----------|---------|
| S1            | 0.56    | 0.83     | 1.11    |
| S2            | 0.67    | 0.92     | 1.11    |
| S3            | 0.78    | 1.00     | 1.22    |
| S4            | 0.94    | 1.00     | 1.00    |

# **Apéndice C**

***“Guía para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica en establecimientos de salud”***



# GUÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESTABLECIMIENTOS DE SALUD

Caja Costarricense del Seguro Social

# GUÍA PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA EN ESTABLECIMIENTOS DE SALUD

**Caja Costarricense del Seguro Social**

**Preparado por:**

Esteban Campos Masis -TEC

**Colaboradores:**

Ing. Ángel Navarro Mora - TEC

Ing. Javier Castro Gutiérrez – CCSS

Diciembre del 2021

## Tabla de contenido

|   |    |
|---|----|
| Capítulo 1: Generalidades .....   | 5  |
| Introducción .....  | 5  |
| Objetivo .....  | 9  |
| Alcance y limitaciones .....  | 9  |
| Capítulo 2: Preparativos para la inspección visual rápida .....           | 10 |
| Documentación .....   | 10 |
| Inspector .....   | 10 |
| Materiales y equipos .....  | 11 |
| Recomendaciones para la identificación de las tipologías en el campo..... | 11 |
| Capítulo 3: Descripción de los formularios de inspección .....            | 12 |
| 1. Formulario 1 Datos del establecimiento de salud .....                  | 13 |
| 1.1. Encabezado .....   | 13 |
| 1.2. Información general y ubicación.....                                 | 14 |
| 1.2.1. Nombre del establecimiento de salud .....                          | 14 |
| 1.2.2. Persona de contacto .....  | 14 |
| 1.2.3. Ubicación .....  | 14 |
| 1.3. Oferta de servicios .....  | 15 |
| 1.3.1. Tipo de establecimiento de salud .....                             | 15 |
| 1.3.2. Número de edificios .....  | 15 |
| 1.3.3. Número de camas.....   | 15 |
| 1.3.4. Porcentaje de ocupación.....                                       | 15 |
| 1.3.5. Servicios de emergencia.....                                       | 15 |
| 1.4. Vista en planta del establecimiento de salud.....                    | 16 |
| 1.5. Comentarios.....   | 16 |
| 2. Formulario 2: Datos de la estructura .....                             | 17 |
| 2.1. Encabezado .....   | 17 |
| 2.2. Identificación del inspector .....                                   | 17 |
| 2.3. Identificación de la edificación.....                                | 18 |
| 2.3.1. Nombre del edificio .....  | 18 |
| 2.3.2. Coordenadas geográficas .....                                      | 18 |
| 2.3.3. Número de plano catastrado .....                                   | 18 |
| 2.3.4. Importancia .....  | 18 |
| 2.3.5. Año o periodo de construcción .....                                | 19 |
| 2.3.6. Código sísmico .....   | 20 |
| 2.3.7. Propiedades geométricas.....                                       | 21 |
| 2.4. Terreno .....  | 22 |

|                       |   |    |
|-----------------------|---|----|
| 2.4.1.                | Sitio de cimentación .....  | 22 |
| 2.4.2.                | Zonificación sísmica.....   | 22 |
| 2.4.3.                | Factor de amplificación (Fai) .....   | 22 |
| 2.5.                  | Tipología estructural.....  | 24 |
| 2.5.1.                | Material y sistema estructural.....   | 24 |
| 2.5.2.                | Estructura de entrepiso .....   | 35 |
| 2.5.3.                | Estructura de techo .....   | 37 |
| 2.5.4.                | Código de tipología .....   | 37 |
| 2.6.                  | Curva de fragilidad .....   | 38 |
| 2.6.1.                | Ajuste de los valores medios ( $\mu$ ). .....                                     | 38 |
| 2.7.                  | Registro fotográfico y planos.....  | 39 |
| 2.7.1.                | Fotografías.....  | 39 |
| 2.7.2.                | Planos.....   | 39 |
| 2.8.                  | Croquis del edificio.....   | 40 |
| 2.9.                  | Comentarios.....  | 41 |
| Capítulo 4:           | Ejemplo de aplicación .....   | 42 |
|                       | Aplicación de los formularios.....  | 42 |
|                       | Inventario de edificaciones y curvas de fragilidad.....                           | 42 |
| Bibliografía y anexos | .....   | 44 |
|                       | Referencias bibliográficas .....  | 44 |
|                       | Anexos .....  | 47 |
|                       | Anexo 1 Formulario 1: Datos básicos.....  | 48 |
|                       | Anexo 2 Formulario 2: Datos de la estructura.....                                 | 50 |
|                       | Anexo 3 Lista de verificación de materiales y equipos.....                        | 53 |
|                       | Anexo 4 Tipologías estructurales.....   | 55 |
|                       | Anexo 5 Parámetros curvas de fragilidad desarrolladas a nivel regional.....       | 57 |
|                       | Anexo 6 Parámetros curvas de fragilidad desarrolladas por HAZUS-MH y RISK-UE..... | 60 |
|                       | Anexo 7 Ejemplo de aplicación de los formularios.....                             | 65 |
|                       | Anexo 8 Inventario de edificaciones y curvas de fragilidad.....                   | 85 |

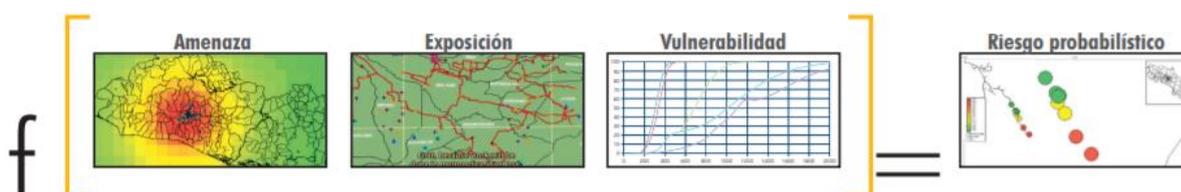
## Capítulo 1: Generalidades

### Introducción

Costa Rica es un país donde la amenaza por sismo es alta debido a su ubicación geográfica donde forma parte de las placas del Caribe, Coco, Nazca y la microplaca de Panamá. Cuando ocurren los sismos estos puede llegar a causar daños en las estructuras y/o elementos, generando pérdidas económicas y de vidas. Debido a esto es importante identificar aquellos aspectos de daño y defectos estructurales adversos que incrementan el riesgo de colapso o pérdida de servicios. Algunos sismos recientes con reportes de daños importantes en viviendas y edificios son Golfito (1983), Cóbano (1990), Piedras Negras (1990), Limón (1991), Damas (2004), Cinchona (2009) y Sámara (2012). Luego de eventos sísmicos mayores, como los que se mencionaron anteriormente, es recomendable realizar inspecciones en las edificaciones para determinar su nivel de seguridad de acuerdo con los daños presentes.

En el caso particular de edificaciones esenciales como hospitales y clínicas, luego de un evento sísmico importante, la demanda por los servicios de salud que brindan se ve incrementada. A efectos de garantizar la seguridad de usuarios y funcionarios, conviene realizar las inspecciones post sismo en el menor tiempo posible para evaluar los posibles daños y tomar medidas preventivas para el futuro. Las inspecciones a realizar pueden requerir bastante tiempo sino se conocen las edificaciones que presentan un mayor riesgo ante el evento sísmico. Debido a esto, es necesario priorizar las inspecciones mediante evaluaciones del riesgo sísmico.

El riesgo sísmico busca determinar la probabilidad de daño de una estructura cuando ocurra un cierto evento sísmico (Amenaza sísmica) en un periodo de exposición determinado, el daño se asocia a la resistencia de la estructura (Vulnerabilidad sísmica). Por lo tanto, el riesgo sísmico de acuerdo con Lantada (2007) se suele expresar matemáticamente como una función de la amenaza, la exposición y la vulnerabilidad sísmica; más comúnmente se determina como la convolución entre estas variables como se muestra en la Figura 1.



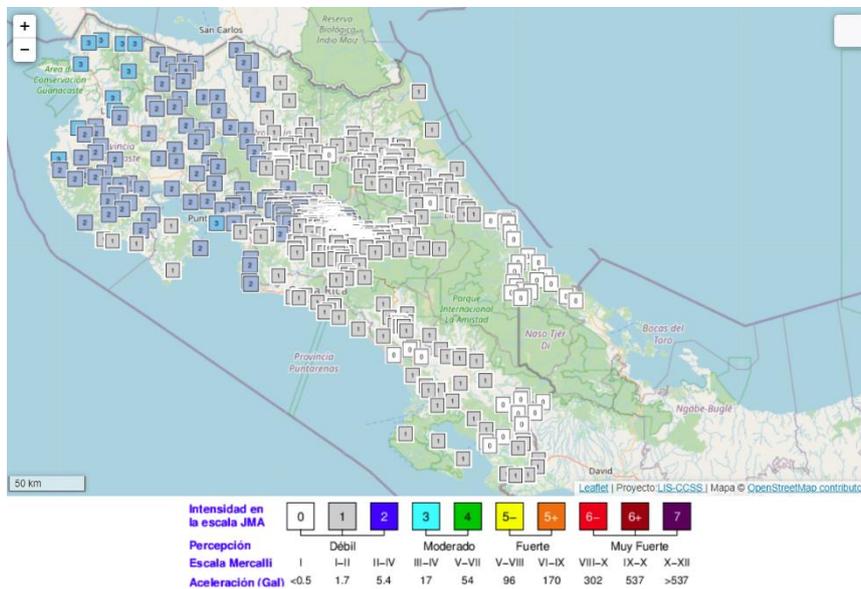
**Figura 1.** Los tres factores de riesgo de desastre (amenaza, exposición y vulnerabilidad) y el correspondiente componente de evaluación del riesgo.

**Fuente:** Tomado de World Bank (2013).

La amenaza o peligrosidad sísmica de una zona se entiende como cualquier descripción de los efectos provocados por terremotos en el suelo de dicha zona (Barbat et al, 2005). También puede

definirse de manera probabilista, como la probabilidad de que una determinada zona y en un periodo de tiempo específico se iguale o supere un determinado movimiento del suelo por causa de la acción sísmica (Lantada, 2007). En Costa Rica existen varias instituciones encargadas del estudio del fenómeno sísmico como lo son: Red Sismológica Nacional (RSN), Centro de Investigaciones en Ciencias Geológicas (CICG), Observatorio Vulcanológico y Sismológico de Costa Rica (OVSICORI-UNA) y Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS).

A diferencia de la RSN y el OVSICORI, cuyo énfasis es el área de sismología, el LIS persigue objetivos enfocados en área de la ingeniería sísmica y el impacto de los sismos en los centros de población (estructuras, suelos, líneas vitales, etc). Por ende, el LIS lleva a cabo estudios y productos relacionados con temas como efectos de amplificación del sitio, intensidad sísmica, espectros de respuesta y de diseño en sus informes y reportes luego de sismos significativos (LIS, 2015). El LIS cuenta con más de 100 estaciones de acelerógrafos, el cual, registra la intensidad instrumental mediante las aceleraciones máximas, sin embargo, también presentan la relacionan entre algunas medidas de la intensidad empírica, específicamente la escala Modificada de Mercalli y escala JMA. Esta institución cuenta con un convenio con la CCSS donde genera registros de la actividad sísmica en cada sitio donde hay un equipo y mediante una interpolación de los valores máximos generar un mapa de intensidad para Costa Rica. El mapa en la Figura 2 muestra el valor de la intensidad en la escala JMA, Mercalli y aceleración para los sitios de la Caja Costarricense del Seguro Social.



**Figura 2.** Mapa con valores de intensidad sísmica para sitios de la Caja Costarricense del Seguro Social.

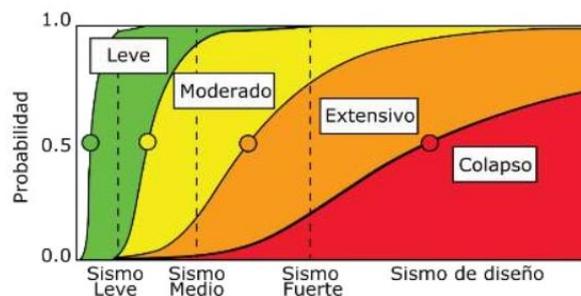
**Fuente:** <https://www.ccss.lis.ucr.ac.cr/>

La exposición se refiere a la caracterización de activos, como sistemas de infraestructura y edificios, que pueden ser afectados negativamente por la amenaza (WB, 2013). Es importante conocer el número de unidades, la ubicación, el tipo, el costo estructural y no estructural, los costos

de reposición, entre otras características (Crowley & Silva, 2013). Para iniciar con un modelo de exposición uno de los primeros elementos es crear un inventario estructural de edificaciones. Por lo que, mediante un inventario estructural se puede estimar la cantidad de edificaciones con determinados atributos estructurales en un espacio geográfico (Esquivel, 2020). Parte de la presente guía busca generar las bases para un inventario de las características estructurales de las edificaciones de la CCSS mediante el uso de los formularios como parte del componente de la exposición.

La vulnerabilidad de una estructura es una medición que expresa el grado de daño esperado debido a un movimiento sísmico. Es una propiedad intrínseca del edificio que depende de las características de diseño y construcción (Lantada, 2007). Para poder determinar la vulnerabilidad, ésta depende en cierta parte de la incidencia del fenómeno sísmico, pero se puede definir independientemente de la amenaza sísmica de la zona (Calderón, 2018). La vulnerabilidad asociada a los edificios puede ser detectada mediante el uso de curvas de fragilidad.

Las curvas de fragilidad son consideradas herramientas que permiten caracterizar la respuesta sísmica de las edificaciones, ya sean grupos de estructurales o una estructura particular. La ventaja del uso de estas curvas de fragilidad es que permiten estimar la probabilidad de superar un nivel de daño en función de la intensidad del evento sísmico (Figura 3). El uso de esta herramienta para la evaluación del riesgo sísmico regional según Muñoz et al (2017) puede llevar a la identificación rápida de las estructuras con daños importantes y a una posible reducción de la cantidad de edificaciones que deben ser inspeccionadas luego de un sismo.



**Figura 3.** Ejemplo de curva de fragilidad para cuatro estados de daño.

**Fuente:** Tomado de HAZUS-MH 2.1 (FEMA, 2003).

Ante un posible terremoto, el sistema del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) calcula la localización y magnitud del sismo, obteniendo las intensidades sísmicas para cada una de las estaciones que se encuentren en línea y generar los mapas de intensidad sísmica en ese instante como se mostró en la Figura 2. Sin embargo, esta medición de la intensidad sísmica por sí sola no es suficiente para poder cuantificar el riesgo sísmico en las edificaciones debido a la falta de interacción con el componente de la vulnerabilidad sísmica, ya que cada estructura posee características de fragilidad propias que la describen en función de sus características geométricas, tipos de material, estado de conservación, tipo de suelo, entre otras.

Por ende, considerando que cada edificación de la CCSS debería contar con una curva de fragilidad que lo caracterice. El presente documento tiene la finalidad de brindar una selección de curvas de fragilidad de acuerdo con las tipologías estructurales que describan la probabilidad de tener un nivel de daño en función de la intensidad de un evento sísmico y un procedimiento para la asignación de dichas curvas en edificaciones. Esto va a permitir a la institución de la CCSS generar un inventario de sus edificaciones y establecer la vulnerabilidad sísmica mediante las curvas de fragilidad asignadas en cada una de sus edificaciones. Además, junto con el monitoreo a la salud estructural, en tiempo real de su infraestructura (Convenio con el Laboratorio de Ingeniería Sísmica) obteniendo registros de la intensidad sísmica mediante acelerogramas, se podrá priorizar la inspección de edificaciones luego de un sismo, cuando la probabilidad de daño debido al evento sea alta y por lo tanto, incrementan las posibles consecuencias asociadas evento sísmico. Esto puede llegar a ser representado en diversos mapas, por ejemplo, se muestra en la Figura 4 los grados de daño estimados en tiempo real para un sismo y la Figura 5 se muestra la posible generación de mapas para la priorización de inspección que forman parte del protocolo de inspección post-sismo de estructuras de puentes propuesto por la Unidad de Puentes del LanammeUCR (LIS) que realizaron con el uso de curvas de fragilidad en los puentes del país.

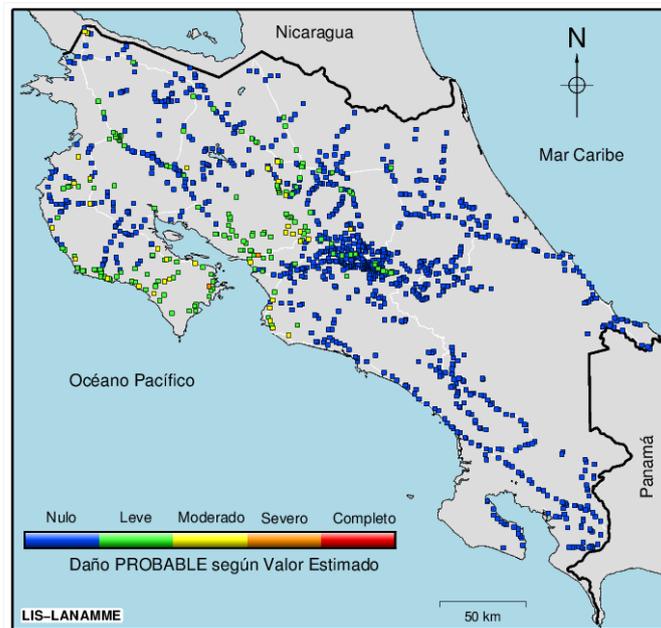
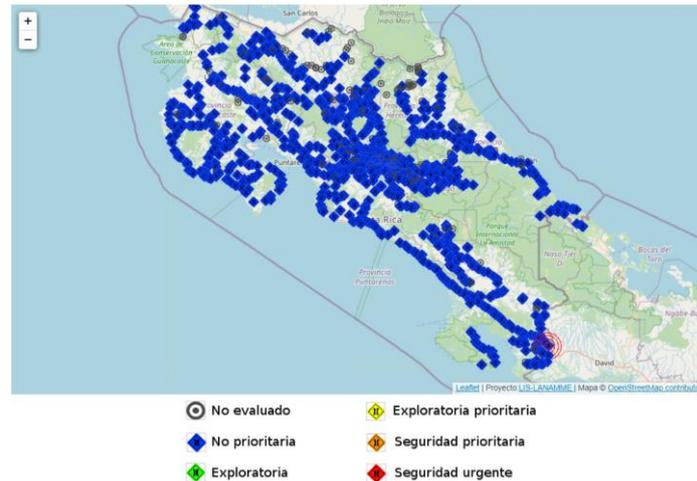


Figura 4. Mapa de grado de daño posible.

**Fuente:** Muñoz et al (2017).



**Figura 5.** Mapa de priorización de la inspección

Fuente: Muñoz et al (2017).

## Objetivo

El objetivo principal de la presente guía es brindar al lector una descripción del procedimiento para la asignación de curvas de fragilidad para una edificación de acuerdo con su tipología estructural.

## Alcance y limitaciones

El procedimiento descrito en este documento permite caracterizar la vulnerabilidad de las edificaciones mediante la asignación de curvas de fragilidad. Las curvas de fragilidad son un recurso gráfico que vincula la probabilidad de daño en función de una medida de intensidad asociada a la demanda sísmica. Este parámetro de demanda puede ser el valor de aceleración máxima del terreno (PGA) o la aceleración espectral ( $S_a$ ). Para una estimación del riesgo sísmico, los valores de la intensidad sísmica (Amenaza sísmica), deben ser cuantificados a partir de los registros acelerográficos.

Las curvas de fragilidad anexadas en este documento son curvas de fragilidad típicas y utilizadas para caracterizar la vulnerabilidad de edificaciones de uso normal, por lo que, no representan exactamente a la estructura real que se está considerando ni son contempladas para edificaciones esenciales como los hospitales donde, por su importancia, también se debe considerar en la vulnerabilidad, su uso y los componentes no estructurales (sistemas electromecánicos y elementos arquitectónicos), ya que históricamente el daño en éstos ha sido la causa de interrupción del servicio de salud en múltiples ocasiones. Esto se debe a que las curvas de fragilidad idealmente deben derivarse para cada edificación, de acuerdo con sus características. Por ende, el uso de estas curvas puede generar errores en la estimación de las consecuencias asociadas con el evento sísmico. Para efectos de esta guía, se dispone de estas curvas como un primer acercamiento dada la dificultad de generar curvas específicas para cada uno de los edificios de la CCSS.

## Capítulo 2: Preparativos para la inspección visual rápida

El procedimiento de la inspección visual rápida es realizado previo de que ocurra cualquier evento sísmico, esto quiere decir, que son inspecciones preliminares realizadas para identificar y generar un inventario con la información recopilada de las edificaciones.

Este tipo de inspecciones permite establecer preparaciones previas para la recolección de los datos. Se debe tomar en cuenta dos niveles preparativos para poder efectuar una inspección visual rápida, primero, están las medidas permanentes y luego, son los preparativos antes de cada visita. Dentro de las medidas permanentes se debe asegurar el conocimiento con anticipación de todos los puntos que se deben observar antes y durante la visita y el uso de los formularios para la captura de datos, por lo que más adelante se brinda información sobre los inspectores y las descripciones de los formularios, además de los preparativos antes de cada visita como contar con los materiales y equipos.

Al realizar la visita a una zona, se debe planificar cuales son las edificaciones con las que cuenta el establecimiento de salud y el orden en que van a ser inspeccionadas. El procedimiento de la inspección inicia con la observación visual desde el exterior de la edificación, y si es posible, desde el interior de esta. Para la inspección en el interior de las edificaciones se debe solicitar la cooperación de alguna persona de contacto que brinde el permiso de acceso y conocer las disposiciones para el acceso de cada edificación previamente. En ocasiones puede que no se encuentre quien autorice la entrada o un edificio de salud particular que no permita el acceso. En estos casos solo se realiza la inspección por el exterior del inmueble reportando lo que se puede apreciar.

### Documentación

Antes de realizar la inspección al campo, es idóneo disponer de información previa sobre las principales características del edificio y, en la medida de lo posible tener acceso a los planos constructivos del edificio para establecer la información que pueda ser recolectada antes de ir al campo y que se pueda comparar la información.

Entre los planos constructivos se incluyen los planos arquitectónicos, estructurales y electromecánicos. También, cuando la edificación no cuente con planos constructivos se debe consultar si la edificación cuenta con memorias de cálculo o estudios de vulnerabilidad sísmica que permitan tener otro medio para la comparación de la información.

### Inspector

El inspector debe ser un profesional relacionado con el sector de la construcción de edificaciones, como ingenieros civiles o en construcción, arquitectos, preferiblemente profesionales con experiencia en diseño y/o evaluación estructural con el fin de poder identificar las características estructurales de la edificación y tener el criterio que se requiere para la correcta interpretación y asignación de las tipologías estructurales a las edificaciones y así asignar la respectiva curva de fragilidad.

Todo el personal utilizado para la inspección de los edificios debe tener previamente una instrucción o capacitación sobre el uso de los formularios y los criterios utilizados para la asignación de las tipologías estructurales y las respectivas curvas de fragilidad.

## **Materiales y equipos**

Las listas de verificación de artículos personales, equipos y materiales debe llenarse previo a la gira de inspección para asegurarse de llevar el equipo requerido. Se debe hacer uso del anexo 3 e ir colocando el check de los elementos o indicar no aplica (NA) en caso de no ser necesarios en la inspección. La lista deber ser impresa y adjuntada junto con los formularios de inspección a realizar.

En el caso de ingresar a las edificaciones es necesario contar con artículos personales de identificación del inspector, como lo es el carné institucional o la cédula de identidad, y el equipo de protección personal y los artículos necesarios para garantizar la seguridad del inspector. Por otro lado, algunos equipos son opcionales como es el caso de los binoculares que pueden ser utilizados si se van a evaluar edificios de gran altura, reglas para la realización de croquis y linternas para realizar observaciones en el interior de la edificación.

## **Recomendaciones para la identificación de las tipologías en el campo**

Se brindan algunas recomendaciones dadas por Valcárcel (2013) para la identificación de las características de las tipologías en el campo. Estas recomendaciones pueden ir siendo ampliadas con la experiencia en la aplicación del formulario.

- Para poder realizar una identificación precisa del sistema estructural puede ser requerido el acceso a área específicas en el interior de la edificación, para tener un acceso directo a los elementos estructurales y poder identificar, sin ambigüedades, los materiales constructivos y el sistema resistente a cargas. Frecuentemente, cuando el sistema estructural es de marcos, la estructura de vigas y columnas y los materiales de concreto o acero quedan visibles en los sótanos y cuartos o almacenes de servicios como, por ejemplo, cuartos de máquinas o con transformadores y distribuidores del sistema eléctrico.
- Para observar la estructura de entepiso de forma directa se requiere remover los cielos rasos. En el caso que pueda haber materiales de acero, como por ejemplo vigas metálicas, hace falta prever que pueden estar recubiertos por otros materiales que los protejan por ejemplo, contra incendios.
- La presencia de muros de carga y elementos de arriostramiento puede ser difícil de detectar. Para confirmar o descartar su existencia conviene examinar lugares sin acabados como por ejemplo, núcleos de ascensores, escaleras de servicio y, a veces, también puede ayudar observar fachadas secundarias de patios internos o fachadas que dan a edificios colindantes.

### Capítulo 3: Descripción de los formularios de inspección

En este apartado se proporcionan las pautas para rellenar los formularios de información general básica del establecimiento de salud (Formulario 1) y datos específicos, por edificación, que componen el establecimiento de salud (Formulario 2) para la generación del inventario de edificaciones.

La información recolectada en el formulario 1 permite crear un registro de información general de los establecimientos de salud. A partir de este formulario se podrá establecer para cada establecimiento, un referente de información sobre el número de edificios que lo componen, los tipos de servicios y su capacidad. Por otro lado, la información recolectada en el formulario 2 contribuye a establecer criterios que permiten clasificar el edificio de acuerdo con las tipologías estructurales para la selección de una curva de fragilidad típica.

Para llenar adecuadamente los formularios, se deben considerar los elementos gráficos según se indican en la siguiente tabla:

**Tabla 1.** Elementos gráficos del formulario.

| Elemento gráfico  | Significado   |
|---|---|
|  | Representa un espacio para selección única, por medio del rellenado del círculo.  |
|  | Representa un espacio para colocar texto corto y texto largo en el caso de las secciones de comentarios.                                    |
|  | Representa un espacio importante para el procedimiento de la asignación de la curva de fragilidad respectiva.                               |
| $\psi$  | Representa recordatorio para revisar las descripciones sobre el llenado cada formulario respectivo en los apartados respectivos de la guía. |
| (*)   | Representa un recordatorio de que es obligatorio rellenar un espacio con el dato requerido.   |

Los formularios 1 y 2 contribuyen a que la recolección de los datos sea sencilla. A continuación, se presenta una descripción detallada sobre el rellenado de los diferentes aspectos que componen cada uno de los formularios. Además, se menciona que las figuras mostradas en la guía corresponden a la información de una edificación escogida del ejemplo aplicado donde se muestra ampliamente en el anexo 6, la información es indicada con azul claro para poder destacar como deben ser rellenados los espacios y recordar que la información mostrada depende de las características de cada edificación.

## 1. Formulario 1 Datos del establecimiento de salud

Como se mencionó anteriormente, este formulario busca identificar los datos generales del establecimiento de salud, en particular aquellos que hacen referencia a su ubicación en el territorio, su capacidad, tipos de servicios y el número de edificios. El formulario 1 se ubica en el anexo 1. En las siguientes secciones se presenta una explicación de las diferentes rúbricas de información que componen este formulario.

### 1.1. Encabezado

Indicar la fecha en la que se realizó la evaluación de la siguiente manera (DD / MM / AAAA), colocando el día, con dos dígitos; el mes, con dos dígitos; año con cuatro dígitos; y la hora local en formato de 12 horas de la siguiente manera HH:MM AM o PM.

El número del formulario corresponde con el número de identificación (ID) del establecimiento de salud que ya se encuentran establecidos por la Caja Costarricense del Seguro Social (Tabla 2). Por ejemplo: 1.2101, donde se indica la numeración del tipo de establecimiento (1) y luego el código del establecimiento (2101).

Fecha:  Hora:  ID Estab. de salud (\*)

**Figura 6.** Datos del encabezado.

**Tabla 2.** Identificación del establecimiento de salud.

| ID | Descripción  |
|----|--|
| 1  | Hospital nacional general                                      |
| 2  | Hospital nacional especializado                                |
| 3  | Hospital regional  |
| 4  | Hospital periférico tipo 3                                     |
| 5  | Hospital periférico tipo 2                                     |
| 6  | Hospital periférico tipo 1                                     |
| 7  | Centro especializado   |
| 8  | Área de salud tipo 1   |
| 9  | Ebais (Equipo básico de atención integral en salud)            |
| 10 | Establecimiento de salud externo/Institución externa           |
| 11 | Área de salud tipo 2   |
| 12 | Área de salud tipo 3   |
| 13 | Hospital general clase A                                       |
| 14 | Hospital general clase B                                       |
| 15 | Medicina de empresa  |
| 16 | Sede de ebais  |
| 17 | PVP (Puesto de visita periódica)                               |
| 18 | Dirección de red integrada de prestación de servicios de salud |
| 19 | Dirección regional de sucursales                               |
| 20 | Sucursal/agencia   |

|    |                       |
|----|-----------------------|
| 21 | Unidad administrativa |
| 22 | Centro de producción  |
| 23 | Farmacia              |

## 1.2. Información general y ubicación

En esta sección se debe indicar información general con respecto al nombre del establecimiento de salud y la persona de contacto de este. Además, se deberá indicar su ubicación.

|   |                      |  |
|---|----------------------|--|
| Nombre del establecimiento de salud (*) |                      | Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia                                     |
| Persona de contacto                     | Nombre (*)           | Arq. Selma Perera Salazar  |
|   | Teléfono             |  |
|   | e-mail (*)           | <a href="mailto:sperara@ccss.sa.cr">sperara@ccss.sa.cr</a>                 |
| Ubicación                               | Provincia (*)        | San José   |
|   | Cantón (*)           | San José   |
|   | Distrito (*)         | El Carmen  |
|   | Dirección exacta (*) | Entre las avenidas 7° y 9° y entre las calles 17 y 19. En Barrio Aranjuez. |

**Figura 7.** Datos de la información general y ubicación.

A continuación se describe cada uno de los espacios y como se debe colocar la información:

### 1.2.1. Nombre del establecimiento de salud

Se debe indicar la denominación oficial del establecimiento de salud establecida por la Caja Costarricense del Seguro Social.

### 1.2.2. Persona de contacto

Se solicita indicar los datos de la persona de contacto, esta persona puede ser la encargada del establecimiento de salud o bien la persona que atendió al inspector. Esto para poder contactar en futuras re-inspecciones o cualquier otra diligencia; incluso, en caso de ser requerido, comunicar sobre posibles evacuaciones del establecimiento de salud o ciertas áreas del establecimiento de salud en casos de que así lo requieran.

### 1.2.3. Ubicación

Es importante ubicar el establecimiento de salud de acuerdo con la división política y administrativa de Costa Rica. A continuación se menciona una explicación de cada punto y ejemplos de cómo se debe indicar la información:

- **Provincia:** Provincia en que se ubica el edificio. Se debe indicar tanto el nombre de la provincia.
- **Cantón:** Cantón en que se ubica el edificio. Se debe indicar tanto el nombre del cantón.
- **Distrito:** Distrito en que se ubica el edificio. Se debe indicar tanto el nombre del distrito.
- **Dirección:** Detalles adicionales para ubicar la edificación, como nombre del poblado o barrio, calle, avenida y número preferiblemente.

### 1.3. Oferta de servicios

En esta sección se debe indicar la oferta de servicios, esto quiere decir el tipo de establecimiento de salud e información sobre el número de edificación, camas y porcentajes de ocupación, como se muestra en la siguiente figura:

|                                      |     |                                    |                             |   |      |    |
|--------------------------------------|-----|------------------------------------|-----------------------------|---|------|----|
| Tipo de establecimiento de salud (*) |     | Hospital nacional general          |                             |   |      |    |
| N° edificios del Estab. de salud (*) |     | 6                                  | Porcentaje de ocupación (%) |   | >85% |    |
| N° de camas                          | 414 | Cuenta con servicios de emergencia |                             | X | Sí   | No |

**Figura 8.** Datos de la oferta de servicios.

A continuación se describe cada uno de los espacios:

#### 1.3.1. Tipo de establecimiento de salud

Indicar el tipo de establecimiento de salud al que corresponde de las opciones establecidas en la Tabla 2.

#### 1.3.2. Número de edificios

Es necesario distinguir si el establecimiento de salud se aloja en un solo edificio o se compone de diferentes módulos. En los casos de que el establecimiento de salud cuente con varias edificaciones, se deberá verificar que el número indicado en este recuadro sea el mismo a la cantidad de “formularios 2” aplicados por edificaciones del establecimiento de salud.

#### 1.3.3. Número de camas

Indicar el número total de camas disponibles con las que cuenta el establecimiento de salud. (recomendable, pero obligatorio colocar la información).

#### 1.3.4. Porcentaje de ocupación

Porcentaje de ocupación en que las camas han estado realmente ocupadas según su máxima ocupación. Conviene indicar un rango de porcentaje debido a que un valor exacto puede ser muy variable en el tiempo (recomendable, pero obligatorio colocar la información).

#### 1.3.5. Servicios de emergencia

Indicar si el establecimiento de salud cuenta o no cuenta con servicios de emergencia. Este dato es importante para la priorización de inspección, por lo que, corresponde a un campo obligatorio a llenar.

### 1.4. Vista en planta del establecimiento de salud

Se debe incluir un croquis esquemático de la planta de los edificios con los que cuenta el establecimiento de salud, este se puede realizar a mano o bien utilizando alguna herramienta como Google Maps. Además, se debe asignar un indicador numérico a cada edificio (ver Figura 9). Este indicador se usa en el formulario 2, para generar un número de formulario específico de cada edificación del establecimiento de salud.

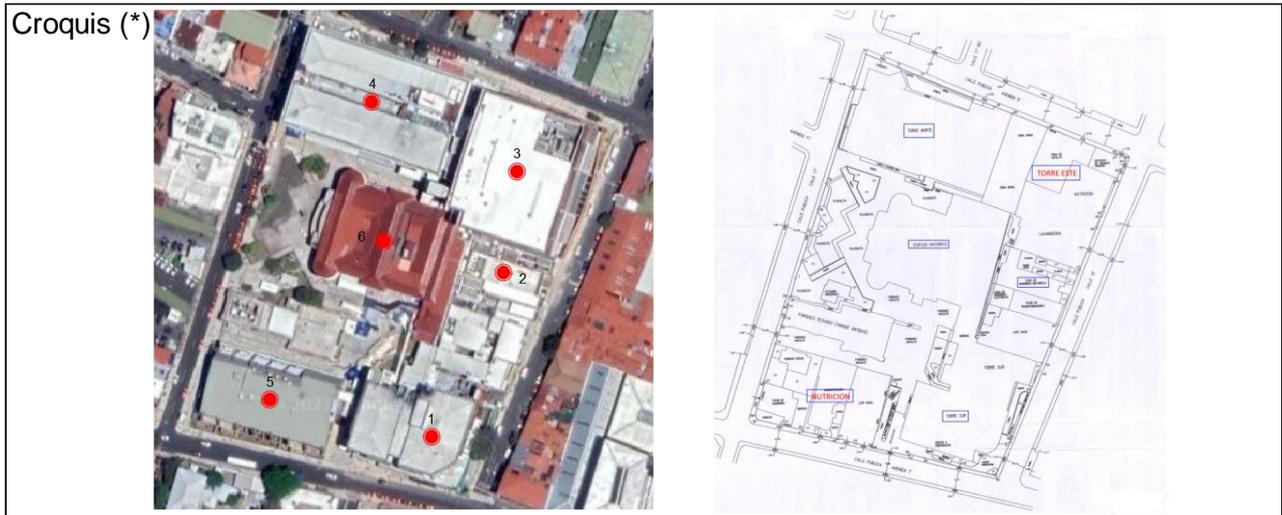


Figura 9. Ejemplo de croquis esquemático.

### 1.5. Comentarios

Tal como se indica en el formulario, en esta sección del formulario se debe ampliar la evaluación con observaciones que ayuden a darle claridad al formulario. Por ejemplo, en el caso de que el establecimiento de salud cuente con varias edificaciones se puede indicar las características principales y la importancia de los diferentes módulos en el funcionamiento del establecimiento de salud.

## 2. Formulario 2: Datos de la estructura

Este formulario busca identificar las características estructurales de cada uno de los edificios que componen el establecimiento de salud con el fin de analizar su vulnerabilidad y fragilidad sísmica. Debido a esto, es importante indicar cuántos edificios pertenecen al establecimiento de salud mediante el relleno de un formulario 2 para cada edificio.

El formulario 2 se muestra en el anexo 2. En las secciones siguientes se presenta una explicación de las diferentes rúbricas de información que componen este segundo formulario.

### 2.1. Encabezado

Indicar la fecha en la que se realizó la evaluación de la siguiente manera (DD / MM / AAAA), colocando el día, con dos dígitos; el mes, con dos dígitos; año con cuatro dígitos; y la hora local en formato de 12 horas de la siguiente manera HH:MM AM o PM.

El número del formulario corresponde con el número de identificación (ID) del establecimiento de salud que ya se encuentran establecidos por la Caja Costarricense del Seguro Social (Tabla 2). Además, se debe agregar una numeración por edificación como se estableció en el croquis del formulario 1 que permita identificar a cada edificación posteriormente con esa numeración respectiva. Por ejemplo: 1.2101.1, donde se indica la numeración del tipo de establecimiento (1), luego el código del establecimiento (2101) y por último, la numeración de la edificación (1).

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*): 1.2101

**Figura 10.** Datos del encabezado.

### 2.2. Identificación del inspector

Colocar el nombre completo del inspector, la unidad a cuál pertenece, el teléfono (Opcional), el correo institucional y la firma. En caso de que la evaluación la realicen varias personas debe hacer constar su nombre y la información sobre su grado académico.

|   |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| Nombre del responsable (*):   | Ing. Javier Castro Gutiérrez                                   |            |  |
| Unidad (*):   | Dirección de Administración de Proyectos Especiales            |            |  |
| Teléfono:   |  | Firma (*): |  |
| Correo (*):   | <a href="mailto:jacastrog@ccss.sa.cr">jacastrog@ccss.sa.cr</a> |            |  |
| Personal de apoyo: Esteban Campos Masis, estudiante de ultimo año de ingeniería en construcción |  |            |  |

**Figura 11.** Datos de la identificación del inspector.

### 2.3. Identificación de la edificación

En esta sección se recopila los datos generales del inmueble con la finalidad de identificar la ubicación física de la edificación, la importancia, año de construcción y características geométricas.

|  |   |   |                         |                            |
|--|---|---|-------------------------|----------------------------|
| Nombre del edificio (*)  | Torre Sur   |   |                         |                            |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*)  | Lat:  | 9.93608                                 | Long: -84.06943         |                            |
| N° de plano catastrado   | SJ / 331887-79 / 281687-77 / 21463-75 / 50717-83                      |   |                         |                            |
| Importancia(*)<br><input checked="" type="radio"/> A<br><input type="radio"/> B<br><input type="radio"/> C<br><input type="radio"/> D<br><input type="radio"/> E | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*) |   | Propiedades geométricas |                            |
|  | <input type="radio"/> Antes 1974                                      | <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011 | N° de niveles (*)       |                            |
|  | <input type="radio"/> Entre 1974 y 1986                               | <input type="radio"/> Después del 2011  | N° de sótanos (*)       |                            |
|  | <input checked="" type="radio"/> Entre 1986 y 2003                    | <input type="radio"/> Sin información   | Altura por piso (m)     |                            |
|  | Código sísmico  |   | Moderado                | Frente (m)                 |
|  |   |   |                         | Fondo (m)                  |
|  |   |   |                         | Área (m <sup>2</sup> ) (*) |

Figura 12. Datos de la identificación de la edificación.

A continuación se describe cada uno de los espacios:

#### 2.3.1. Nombre del edificio

Nombre o palabra clave que permita identificar, sin ambigüedad, el edificio.

#### 2.3.2. Coordenadas geográficas

Se requiere colocar las coordenadas geográficas de la latitud y longitud correspondientes a la ubicación de la entrada principal del edificio en el sistema WGS84, el cual es utilizado por defecto en la mayoría equipos GPS y aplicaciones de posicionamiento en celulares inteligentes. En cuanto a la precisión necesaria, se deben incluir 5 posiciones decimales.

#### 2.3.3. Número de plano catastrado

Indicar el número de plano de acuerdo con el catastro que ha sido inscrito en el Catastro Nacional. Completar este espacio es recomendable, aunque no indispensable.

#### 2.3.4. Importancia

Indicar el grupo al que pertenece la edificación según la clasificación de importancia de su ocupación o función de acuerdo con lo que establece el CSCR-10/14.

Se incluye la descripción detallada de cada grupo en la Tabla 3. Se deberá seleccionar el grupo al cual pertenezca el edificio evaluado. Este punto puede rellenarse después de realizada la Inspección.

**Tabla 3.** Clasificación de edificaciones según importancia.

| Grupo    | Clasificación según importancia          | Factor de importancia | Descripción   |
|----------|--|-----------------------|---|
| <b>A</b> | Edificaciones e instalaciones esenciales | 1,25                  | 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 y productos esenciales. Estructuras que contienen bombas u otros materiales o equipo para suprimir el fuego. |
| <b>B</b> | Edificaciones e instalaciones riesgosas  | 1,25                  | 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.  |
| <b>C</b> | Edificaciones de ocupación especial      | 1                     | Edificaciones para actividades educativas con una capacidad mayor que 300 estudiantes. Edificios usados para colegios o para educación de adultos con una capacidad mayor que 500 estudiantes. Edificios para centros de salud con 50 o más pacientes residentes incapacitados, 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.   |
| <b>D</b> | Edificaciones de ocupación normal        | 1                     | Todas las obras de habitación, oficinas, comercio o industria y cualquier otra edificación no especificada en los grupos A, B, C o E.   |
| <b>E</b> | Edificaciones misceláneas                | 0,75                  | Construcción agrícola y edificios de baja ocupación. Galpones y naves de almacenamiento de materiales no tóxicos y de baja ocupación. Obras e instalaciones provisionales para la construcción.   |

Fuente: CSCR-2010/14.

### 2.3.5. Año o periodo de construcción

Poder determinar con exactitud la edad de construcción de una edificación, puede resultar complicado a simple vista. En ocasiones, la edificación cuenta con planos constructivos, con una placa de construcción en la que indica la fecha de su construcción, en el caso que no cuente con alguno de estos, se puede preguntar a algún empleado antiguo o vecino de la zona que conozca la fecha aproximada de construcción o consultar en registros referentes a la edificación.

La edad de las construcciones está relacionada de forma indirecta con muchos de los daños observados durante los sismos. Las edificaciones pueden presentar deterioros de los materiales, por ejemplo, a la erosión causada por el clima o por su misma degradación con el paso de los años, aumentando la vulnerabilidad de las edificaciones (Sanabria, 2019).

En caso de que existan reparaciones, refuerzo o restructuración del edificio que consideren un mejoramiento en el desempeño sísmico, se deberá indicar el año del último reforzamiento al que ha sido sometido el inmueble.

### 2.3.6. Código sísmico

Poder identificar el año o el periodo de construcción tiene doble propósito. Por un lado, permite suponer sobre la tecnología constructiva de la época y por otro lado, los periodos constructivos se establecieron de acuerdo con 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.

El contar con un periodo de construcción para cada edificación permite asignar, con las limitaciones del caso (por ejemplo, asumiendo que la construcción siguió la normativa vigente), la versión del Código Sísmico de Costa Rica (CSCR) aplicable para cada una de ellas. Esto se traduce en una caracterización más precisa de su desempeño estructural ante terremotos, ya que, por ejemplo, las estructuras diseñadas con versiones más recientes del CSCR deberían tener un mejor desempeño que las más antiguas (Blanco y Esquivel, 2021). La Tabla 4 muestra los diferentes periodos constructivos considerados, las diferentes publicaciones del Código Sísmico de Costa Rica y la asignación de las cuatro subclases de códigos para las diversas curvas de fragilidad de la literatura del HAZUS-MH y el RISK-UE para las tipologías constructivas consideradas en el anexo 4.

**Tabla 4.** Asignación del rigor del código sísmico.

| Periodo de construcción |           | Versión del CSCR aplicable | Rigor de código (HAZUS o RISK-UE) |
|-------------------------|-----------|----------------------------|-----------------------------------|
| Año inicial             | Año final |                            |                                   |
| -                       | 1974      | Pre-Código                 | Pre-Código                        |
| 1974                    | 1986      | 1974                       | Bajo                              |
| 1986                    | 2003      | 1986                       | Moderado                          |
| 2003                    | 2011      | 2002                       | Alto                              |
| 2011                    | -         | 2010                       |                                   |

**Fuente:** Blanco y Esquivel (2021).

Se deberá indicar en el recuadro de código sísmico el tipo de rigor de código según el periodo de construcción o último reforzamiento indicado anteriormente para la edificación para ser utilizado posteriormente en la sección de curva de fragilidad.

### 2.3.7. Propiedades geométricas

- **Número y altura de los pisos**

Se debe indicar el número de pisos o niveles con los que cuenta el edificio, considerando lo siguiente:

- **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 circundantes (Aragón et al, 2011). No se debe contar la cubierta ni la azotea y debe evaluarse desde la entrada principal de la edificación, en caso de que la edificación se ubique en un terreno de laderas.
- **Sótanos:** Niveles que están por debajo del nivel del terreno.



**Figura 13.** Esquema de evaluación de número de pisos.

**Fuente:** AIS (2002).

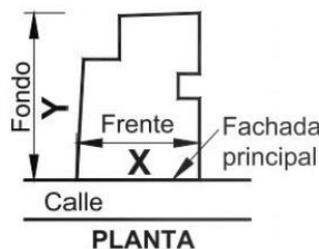
También, se debe indicar la altura de piso, la cual se entiende como la distancia vertical desde la cara inferior de la losa de techo hasta la cara de la losa de piso.

- **Dimensiones de la edificación**

Se debe indicar las medidas (en metros) aproximadas de frente y fondo del edificio. Con estas medidas se calcula en el área total, que se refiera a la superficie total construida del edificio, (en metros cuadrados). Además, se debe asignar a cada una de estas dimensiones un eje de referencia para la construcción del croquis en planta de la estructura.

- **X=Frente:** Longitud total del edificio en metros, en el lado donde se encuentra la fachada o entrada principal a la edificación.
- **Y=Fondo:** Longitud total del edificio en metros, en el lado perpendicular al lado de frente.

A continuación se muestra un ejemplo del formato a utilizar posterior en la realización del croquis.



**Figura 14.** Sistema de referencia del edificio.

**Fuente:** Aragón et al (2011).

## 2.4. Terreno

En esta sección se incluyen los datos del terreno en donde se ubica la edificación, tanto en sus características del tipo de suelo del sitio de cimentación y la zonificación sísmica para la elección de un factor de amplificación del suelo y poder considerarlo para la aplicación de la curva de fragilidad.

|                          |                          |                                     |                          |                               |   |                               |     |
|--------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|---|-------------------------------|-----|
| Sitio de cimentación     |                          |                                     |                          | Zonificación Sísmica          |   |                               | Fai |
| <input type="radio"/> S1 | <input type="radio"/> S2 | <input checked="" type="radio"/> S3 | <input type="radio"/> S4 | <input type="radio"/> Zona II | <input checked="" type="radio"/> Zona III | <input type="radio"/> Zona IV | 1.2 |

**Figura 15.** Datos del terreno.

A continuación se describe cada uno de los espacios:

### 2.4.1. Sitio de cimentación

Se refiere al tipo de suelo sobre el que se ubica el inmueble según el Código Sísmico de Costa Rica 2010/14. Esta clasificación es importante para la determinación de las acciones sísmicas en la estructura. Se debe marcar una de las tres opciones siguientes, dependiendo del suelo predominante:

- **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.

Se define un esquema de clasificación de los sitios de cimentación según las propiedades de los parámetros indicados en la tabla 2.2 del CSCR-2010/14, calculados como promedio en los 30 m superficiales para la selección del tipo de suelo.

La identificación del tipo de suelo no es sencilla si no se cuenta con la experiencia. En ocasiones, no se posee la información documental de estudios de suelos previos en el sitio de la edificación evaluada. En estos casos, el CSCR-2010/14 recomienda suponer un sitio de cimentación tipo S3.

### 2.4.2. Zonificación sísmica

Se debe indicar la zonificación sísmica en la que se ubica la edificación entre las tres zonas sísmicas de sismicidad ascendente denominadas zonas II, III y IV, estas se representan gráficamente figura 2.1 del CSCR-2010/14 o siguiendo la división política y administrativa vigente indicadas en la tabla 2.1 del CSCR-2010/14.

### 2.4.3. Factor de amplificación (Fai)

Los atributos del tipo de suelo y la zona de amenaza sísmica deben considerarse para tomar en cuenta la amplificación de la sacudida del suelo según las condiciones locales del sitio en las que se

ubican las edificaciones, esto debido a las curvas que fueron confeccionadas para cierto tipo de terreno.

Estos valores se deben relacionar para obtener el factor de amplificación del suelo, al asignar la curva de fragilidad de la edificación correspondiente a alguna de las referencias mostradas en el anexo 5, se debe asignar el factor de amplificación del suelo, donde primero, se selecciona una de las dos tablas indicadas en la Tabla 5.

**Tabla 5.** Tipo de tabla dependiendo de la referencia de la curva de fragilidad asignada.

| Tipo de tabla | Referencia               |
|---------------|--------------------------|
| Tabla 6       | Hidalgo et al (2020)     |
|               | Calderón y Silva (2019)  |
| Tabla 7       | Acevedo et al (2017)     |
|               | Villar-Vega et al (2014) |
|               | RISK-UE (2003)           |
|               | HAZUS-MH (2003)          |

Los valores proporcionados en la Tabla 6 son utilizados debido a que estas curvas fueron desarrolladas para un sitio de cimentación S3 y una zona III de amenaza sísmica y en el caso de los valores proporcionadas en la Tabla 7 se utilizan debido a que estas curvas fueron desarrolladas para un sitio de cimentación de S1. A continuación, se muestran los factores para cada una de las tablas:

**Tabla 6.** Factores de amplificación del suelo en S3 y Zona III.

| Tipo de sitio | Zona II | Zona III    | Zona IV |
|---------------|---------|-------------|---------|
| S1            | 0.56    | 0.83        | 1.11    |
| S2            | 0.67    | 0.92        | 1.11    |
| S3            | 0.78    | <b>1.00</b> | 1.22    |
| S4            | 0.94    | 1.00        | 1.00    |

Fuente: Adaptado del CSCR-2010/14.

**Tabla 7.** Factores de amplificación del suelo en S1.

| Tipo de sitio | Zona II     | Zona III    | Zona IV     |
|---------------|-------------|-------------|-------------|
| S1            | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> | <b>1.00</b> |
| S2            | 1.20        | 1.10        | 1.00        |
| S3            | 1.40        | 1.20        | 1.10        |
| S4            | 1.70        | 1.20        | 0.90        |

Fuente: Adaptado del CSCR-2010/14.

El CSCR-2010/14 no proporciona los factores de amplificación del suelo, estos fueron considerados de acuerdo con D. Hidalgo (comunicación personal, 2021) tomando en cuenta los valores de aceleración pico efectiva de diseño de la tabla 2.3 del CSCR-2010/14 y ajustados para hacer las correcciones respectivas.

El valor correspondiente de la Tabla 6 o Tabla 7 debe ser colocado en el formulario en el recuadro del Factor de amplificación (Fai) para ser utilizado posteriormente en la sección de las curvas de fragilidad.

### 2.5. Tipología estructural

En esta sección del formulario, se incluyen los datos de las tipologías estructurales. Las características que se encuentran en esta sección son: el material, el sistema estructural, el entrepiso y la estructura de techo. Estos datos van a permitir identificar la edificación con alguna de estas tipologías que se encuentran en el anexo 4, para posteriormente asignar la curva de fragilidad correspondiente.

| Material   |  |   |   |
|--|--|---|---|
| Concreto reforzado   | Mampostería  | Acero   | Madera  |
| Sistema estructural  |  |   |   |
| <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Muro<br><input checked="" type="radio"/> Dual   | <input type="radio"/> No reforzada (simple)<br><input type="radio"/> No reforzada confinada<br><input type="radio"/> Reforzada (integral)<br><input type="radio"/> Reforzada confinada | <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Marco arriostrado<br><input type="radio"/> Dual mixto  | <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Muro |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado  |  | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frio  |   |
| <input type="radio"/> Otro:  | Material   | Sistema estructural   |   |
| Estructura de entrepiso (*)(**)<br>Concreto <input type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input checked="" type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |  | Estructura de techo (*)(**)<br><input checked="" type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |   |
| Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta  |  | Código tipología  |   |
| <input type="radio"/> Otros:   |  | CR-D-M  |   |

Figura 16. Datos de la tipología estructural.

A continuación se describe cada uno de los espacios:

#### 2.5.1. Material y sistema estructural

Primero, se debe definir el material estructural que predomina en la construcción. El material estructural de una edificación corresponde al material que conforman los elementos estructurales verticales (columnas, muros y marcos arriostrados) y las vigas. Posteriormente, se deberá identificar el sistema estructural de la edificación que se encuentra dentro de cada uno de los recuadros de los materiales (ver Figura 16). El sistema resistente a cargas o sistema estructural hace referencia al conjunto de elementos que conforman la estructura del edificio, así como a su distribución e interacción para garantizar su estabilidad y resistencia frente a las acciones gravitacionales y

eventuales fuerzas laterales. Las opciones de sistema estructural disponibles corresponden a las establecidas en el CSCR-2010/14 y que son de uso común en edificaciones.

En el caso de muros, estos por lo general se encuentran cubiertos por repello debido a esto, a simple vista resulta complicado saber si están conformados por concreto reforzado o mampostería. Castro (2017) 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.

También, en caso de existan varios sistemas estructurales, se debe seleccionar el de mayor relevancia y en la sección de comentarios mencionar la combinación de sistemas y al sector o piso donde existe el cambio.

Se describe a continuación los diferentes tipos de materiales y los sistemas estructurales de los que pueden estar constituidos los edificios como ayuda para la identificación:

- **Concreto reforzado**

Los elementos estructurales son de concreto u hormigón colado en sitio con refuerzo longitudinal y transversal en acero. Se trata del material estructural más común en nuestro país para edificaciones de tres pisos o más. Se empezó a utilizar en Costa Rica a principios del siglo XX y actualmente tiene gran auge (Castro, 2017). Se presentan tres categorías para las construcciones con concreto reforzado dependiendo de los sistemas estructurales:

- **Tipo Marco:** El conjunto estructural conformado por vigas y columnas unidas en forma rígida y reticular. Los nudos o uniones son los que se encargan de la transferencia de cargas verticales y horizontales hasta la cimentación.



**Figura 17.** Sistema estructural de marcos de concreto reforzado.

**Fuente:** Valcárcel (2013).

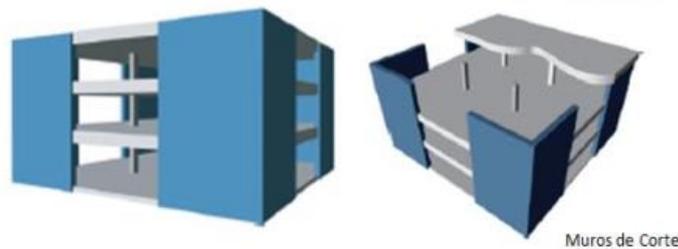
- **Tipo Muro:** El conjunto estructural en que los elementos verticales son muros resistentes a cargas verticales y horizontales, responsables de transmitir dichas cargas.



**Figura 18.** Sistema estructural de muros de concreto reforzado.

**Fuente:** Castillo (2018).

- **Tipo dual:** Son estructuras que tienen marcos combinados con muros estructurales de concreto reforzado, que restringen su deformación lateral en caso de cargas laterales.



**Figura 19.** Sistema estructural tipo dual de concreto reforzado.

**Fuente:** FEMA (2006).

- **Concreto prefabricado**

Son estructuras que están conformadas por elementos previamente construidos y llevados al sitio, y debidamente anclados en su base a una cimentación corrida y en el extremo superior a una viga corona o solera. También en esta categoría puede encontrar las construcciones que cuentan con columnas prefabricadas y paneles horizontales. Este tipo de estructuras se ha ido utilizando cada vez más en Costa Rica por más de 40 años (Villalobos, 2017).



**Figura 20.** Estructuras de concreto prefabricado.

**Fuente:** Castillo (2018).

Estos son muy similares al concreto reforzado, algunas consideraciones según Castro (2017) para poder distinguirlos es mediante la superficie de sus elementos, donde esta es sumamente lisa, sin necesidad de repello. También, en el caso de que se utilicen columnas y vigas prefabricadas donde el nudo (uniones, conexiones) es colado en el sitio (ver Figura 21), se considera que se comporta como si fuera una estructura de concreto reforzado, es decir, que en estos casos es preferible indicar que la edificación es de concreto reforzado en vez de concreto prefabricado y seleccionar el sistema estructural que corresponda.



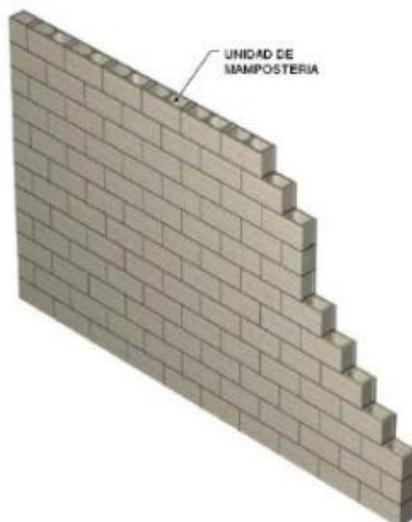
**Figura 21.** Nudo viga-columna a ser colada en sitio.

**Fuente:** Castro (2017).

- **Mampostería**

Los elementos estructurales verticales son muros o paredes construidas con bloques o ladrillos de arcilla o concreto unidos con mortero. Se presentan cuatro categorías para las construcciones con mampostería dependiendo de los sistemas estructurales:

- **Mampostería no reforzada (simple)**: La mampostería no reforzada, o conocida también como mampostería simple, no contempla ningún refuerzo ni elementos de confinamiento. Normalmente sus unidades son sólidas (sin abertura) y de arcilla cocida. De acuerdo con Castro (2017) este material ha caído en desuso en Costa Rica para construcciones nuevas. Es posible encontrarlo en algunas edificaciones antiguas.



**Figura 22.** Muro de mampostería no reforzada.

**Fuente:** Sanabria, (2019).



**Figura 23.** Muro de mampostería simple en construcción.

**Fuente:** International Labour Organization (2017).

- **Mampostería no reforzada confinada:** Esta mampostería consiste en muros de mampostería sin refuerzo rodeados o “confinados” por elementos perimetrales de concreto reforzado (vigas y columnas) relativamente pequeños y con poco refuerzo. Las columnas se colocan normalmente en los extremos de los muros e intersecciones entre ellos, así como en puntos intermedios cuando los paños de mampostería son largos. Este material prácticamente no se utiliza en Costa Rica para construcciones nuevas, sin embargo fue muy popular durante el siglo XX hasta los años 70 (Castro, 2017).



**Figura 24.** Muro de mampostería no reforzada confinada.

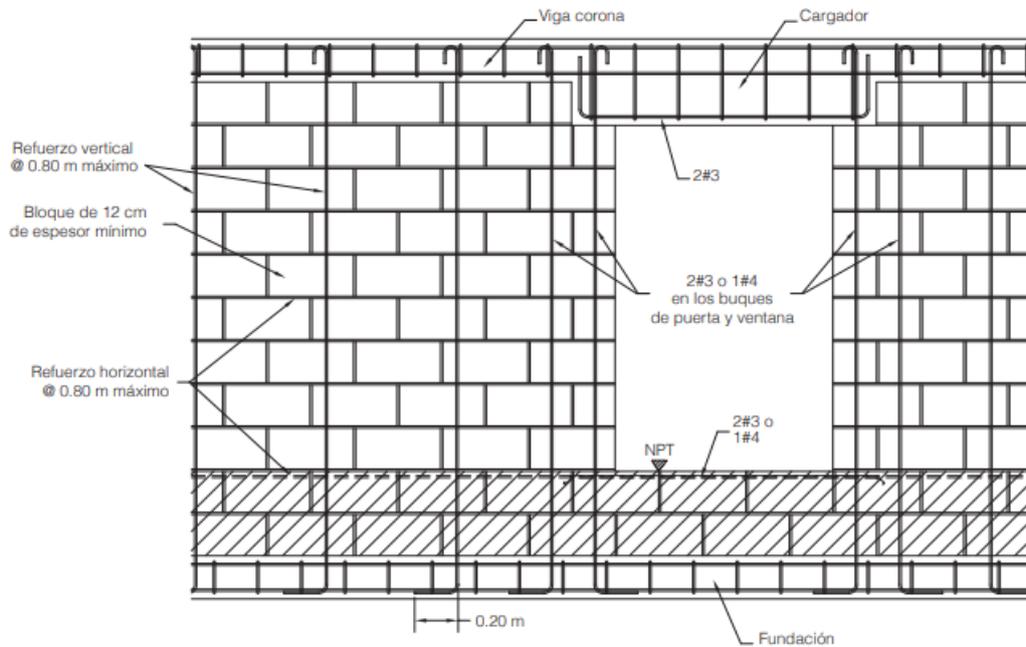
**Fuente:** Sanabria, (2019).



**Figura 25.** Muro de mampostería no reforzada confinada en construcción.

**Fuente:** Singhal (2017).

- **Mampostería reforzada (integral):** La mampostería reforzada o conocida también como mampostería integral, lleva refuerzo en forma de varillas, tanto en dirección vertical como horizontal. Utiliza unidades huecas, normalmente de concreto, dispuestas para el paso del refuerzo de concreto reforzado. Este material según indica Castro (2017) es utilizado hoy en día principalmente en construcciones bajas (de 1 y 2 niveles).



**Figura 26.** Elevación de pared de mampostería con refuerzo integral.

**Fuente:** CSCR-2010/14.



**Figura 27.** Muro de mampostería reforzada en construcción.

**Fuente:** Silva (s.f.).

- **Mampostería reforzada confinada:** Esta mampostería consiste en muros de mampostería reforzada rodeada o “confinada” por elementos perimetrales de concreto reforzado (vigas y columnas) relativamente pequeños y con poco refuerzo. Las columnas se colocan normalmente en los extremos de los muros e intersecciones entre ellos, así como en puntos intermedios cuando los paños de mampostería son largos. El acero de los paños de mampostería se engancha en los elementos de borde. Este material según indica Castro (2017) ha tenido mucho auge desde los años 70 y actualmente es el más utilizado en Costa Rica para construcciones de poca altura (1 y 2 niveles).

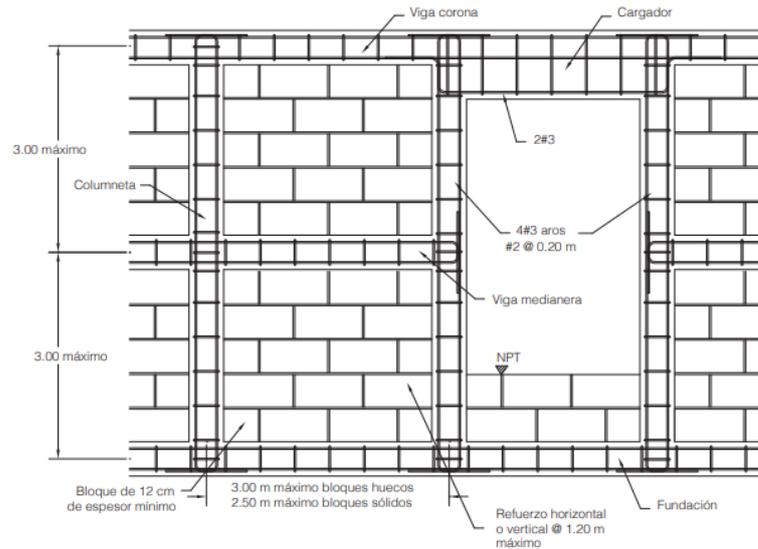


Figura 28. Elevación de una pared de mampostería confinada.

Fuente: CSCR-2010/14.

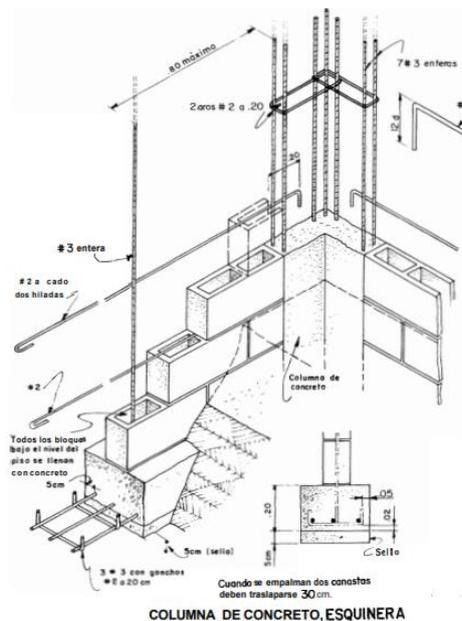


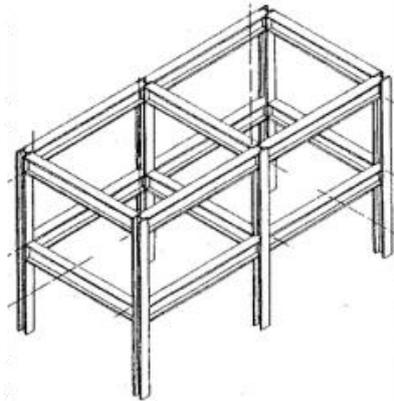
Figura 29. Detalle típico de esquina en mampostería reforzada confinada.

Fuente: Moas (1993).

- **Acero**

Son elementos de acero extruido. Corresponde a elementos de espesor importante, con sección transversal en forma de I (conocidos como tipo W), aunque también tubulares con sección cuadrada, rectangular y circular (conocidos como HSS) e incluso con sección transversal en forma de C (tipo C), L (tipo L) y T (tipo WT). En general se utilizan para edificios de 2 o más niveles. Se presentan tres categorías para las construcciones con acero dependiendo de los sistemas estructurales:

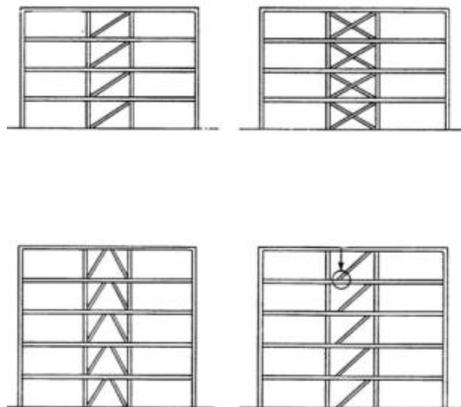
- **Tipo Marco:** Son aquellos cuya estabilidad lateral depende de la rigidez a flexión de las vigas y columnas conectadas rígidamente.



**Figura 30.** Sistema estructural de marcos de acero.

**Fuente:** FEMA (2002).

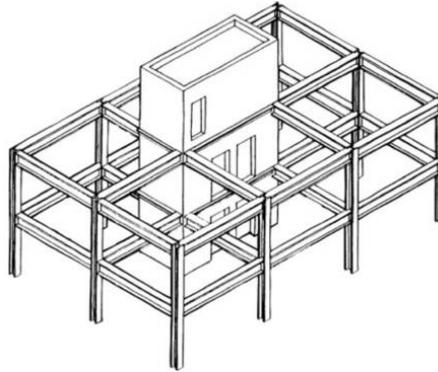
- **Tipo Marco arriostrado:** El conjunto estructural constituido por vigas y columnas cuya estabilidad lateral se proporciona por medio de arriostres diagonales.



**Figura 31.** Sistema estructural de marcos arriostrados de acero.

**Fuente:** FEMA (2002).

- **Tipo dual mixto:** El conjunto estructural constituido por vigas y columnas de acero cuya estabilidad lateral se proporciona por medio de muros de concreto reforzado.



**Figura 32.** Sistema estructural tipo dual de acero con muros de concreto reforzado.

**Fuente:** FEMA (2002).

- **Acero laminado en frío**

Son los elementos formados a partir del doblado en frío de láminas de acero delgadas, de hasta 4.8 mm de espesor en nuestro medio. Los elementos más utilizados son de sección cuadrada, rectangular y tipo canal. Se pueden encontrar como parte del sistema estructural principal en edificios de 1 hasta 3 niveles.



**Figura 33.** Construcción en acero laminado en frío.

**Fuente:** Jorajuria y Servente (2015).

- **Madera**

Los elementos estructurales resistentes son en su totalidad o en su mayoría de madera. El uso de la madera para construcción en Costa Rica ha venido creciendo en la primera mitad del siglo XX, en el cual se desarrollaron productos industrializados, tales como madera laminada y madera contrachapada. En Costa Rica normalmente se trabaja con madera aserrada y en caso especiales se emplean elementos laminados. Se presentan dos categorías para las construcciones con madera dependiendo de los sistemas estructurales:

- **Tipo Marco:** El conjunto estructural conformado por vigas y columnas en madera.
- **Tipo Muro:** El conjunto estructural en que los elementos verticales son muros resistentes a cargas verticales y horizontales, responsables de transmitir dichas cargas compuestos de madera.



**Figura 34.** Construcción en madera.

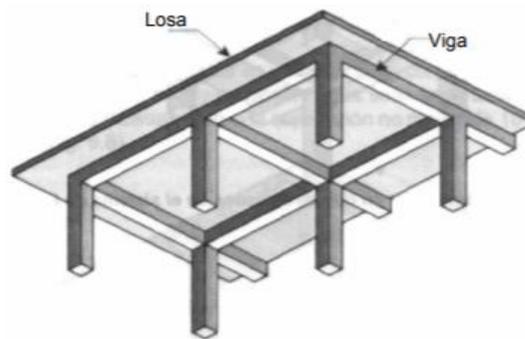
**Fuente:** FEMA (2002).

### 2.5.2. Estructura de entrepiso

Es la combinación de elementos estructurales horizontales, losas y vigas, que contribuyen a la transmisión de las cargas a las columnas. Se debe marcar la casilla que corresponda a la estructura de piso predominante en la edificación entre las opciones que se indican en la Figura 16. Se describe brevemente a continuación las diferentes estructuras de entrepisos de acuerdo con el material predominante de los que puede estar constituida la edificación como ayuda para la identificación:

- **Concreto**

- **Losa monolítica:** Una losa monolítica es una amplia placa plana, generalmente horizontal, cuyas superficies superior e inferior son paralelas o casi paralelas entre sí. Puede estar apoyada en vigas de concreto reforzado (y se vacía por lo general en forma monolítica con estas vigas), en muros de mampostería o de concreto reforzado, en elementos de acero estructural, en forma directa en columnas o en el terreno en forma continua (Valverde, 2005).



**Figura 35.** Sistema de losa monolítica sobre vigas.

**Fuente:** Valverde (2005).

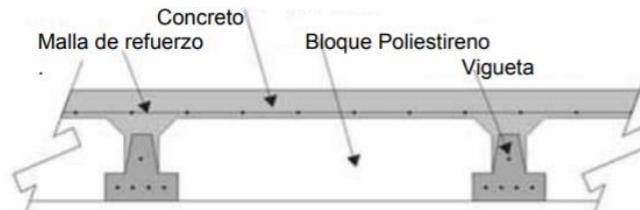
- **Losa nervada en dos direcciones:** Las losas nervadas consisten en la combinación monolítica de nervios espaciados en forma regulada y una losa superior de concreto, se dice que son en dos direcciones cuando la acción principal de la orientación de los nervios a los apoyos es en dos sentidos formando un ángulo recto en un sentido con respecto de otro (Cuyún, 2009).



**Figura 36.** Detalle de una losa nervada en dos direcciones.

**Fuente:** Cuyún (2009).

- **Viguetas:** Consiste en un tipo de losa que cuenta en la parte inferior por viguetas de concreto reforzado, parcial o totalmente prefabricadas y presforzadas, sobre las cuales se coloca una malla de acero de refuerzo y recubrimiento homogéneo de concreto preparado in situ. Entre las viguetas se colocan bloques huecos de concreto o bloques de poliestireno.



**Figura 37.** Detalle de un entrepiso prefabricado.

**Fuente:** Valverde (2005).

- **Losa multitubular:** Este sistema de entrepiso consiste en paneles con secciones huecas de concreto reforzado de poco peralte pretensadas.

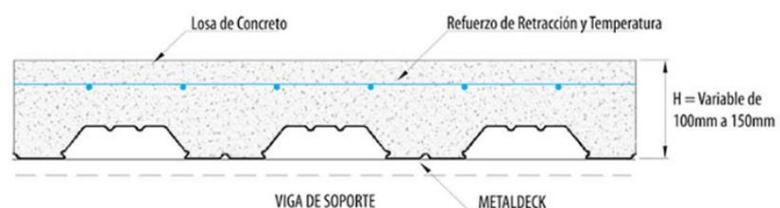


**Figura 38.** Entrepiso de losa multitubular.

**Fuente:** Aragón et al (2011).

- **Acero**

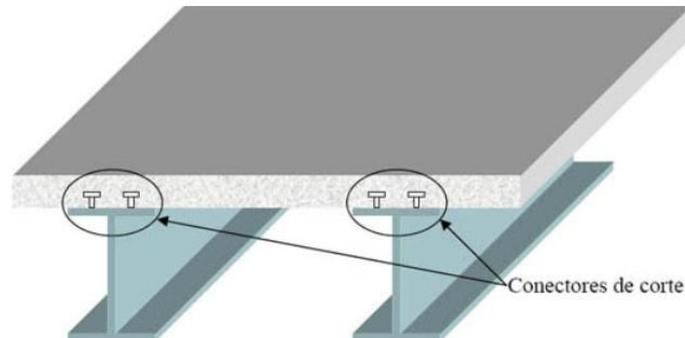
- **Steel deck:** Es un sistema de piso que consiste en una lámina de acero estructural galvanizada acanalada sobre la cual se coloca una capa de concreto con su respectivo refuerzo.



**Figura 39.** Entrepiso de Metaldeck.

**Fuente:** Metalco, (s.f.)

- **Viguetas de acero con losas de concreto (Viga mixta)**: Es un sistema de piso que consiste en una en viguetas de acero unidas a una losa de concreto reforzado mediante la utilización de conectores de corte entre ambos componentes.



**Figura 40.** Entrespacio de viguetas de acero (Steel joist).

**Fuente:** FEMA (2002).

Si la edificación cuenta con un sistema de entrespacio distinto a los anteriormente mencionados, debe seleccionarse la casilla “Otros”, e indicar el sistema en el espacio en blanco.

### 2.5.3. Estructura de techo

La cubierta de techo del edificio en ocasiones presenta características diferentes a las del resto de los sistemas de piso de una estructura, principalmente en el tipo de material del que está constituida. Por esta razón, se debe indicar el material de la estructura de techo entre las opciones que se indican en la Figura 16.

### 2.5.4. Código de tipología

En este recuadro se debe indicar el código de la tipología estructural en la que se puede clasificar la edificación para la asignación posterior de la curva de fragilidad típica tomando algunas de las características estructurales básicas del edificio. Las tipologías constructivas se definieron principalmente por medio de la combinación de propiedades estructurales y geométricas. El material constructivo y el sistema resistente a cargas verticales y horizontales se consideran las propiedades estructurales. El número de pisos se considera como la propiedad geométrica. Con estos valores respectivamente y haciendo uso del anexo 4, se puede indicar la tipología de la edificación. Un error en la asignación de la tipología estructural puede llevar a una estimación incorrecta de los daños probables en la edificación, por tal motivo se insiste en la necesidad de una adecuada asignación de la tipología.

Cuando se marque la casilla de “otro” en la tipología quiere decir que no se puede clasificar en alguna de las tipologías definidas y no se podría asignar una curva de fragilidad típica. En este caso, se debe analizar por qué se decidió marcar esta opción y decidir para esta tipología específica la generación propia de la curva de fragilidad.

## 2.6. Curva de fragilidad

En esta sección del formulario, se debe asignar los parámetros de la curva de fragilidad correspondiente al código de tipología seleccionada en el apartado anterior y el valor del código sísmico seleccionado según el año de construcción o reforzamiento de la edificación. Con el código de tipología y código sísmico se puede hacer la selección de la curva de fragilidad, sin embargo, se debe priorizar los valores de la curva a seleccionar, esto quiere decir, que se debe tomar en cuenta primero las curvas de fragilidad desarrolladas para la región local según el anexo 5 y que esta coincida con el valor del código sísmico, si no es así, se debe proseguir en la selección de una de las curvas de fragilidad desarrolladas por HAZUZ Y RISK-UE del anexo 6.

| N° fragilidad | IM  | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|-----|--------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |     | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| 74            | PGA | 0.0840 | 0.0535  | 0.2952   | 0.1910  | 0.7380 | 0.4775  | 1.3578   | 0.8790  |

**Figura 41.** Datos de la curva de fragilidad.

En el formulario se debe indicar la numeración de la curva de fragilidad, el valor de la medida de intensidad sísmica (IM) y las desviaciones ( $\beta$ ) de la curva de fragilidad seleccionada según el anexo respectivo. Los valores medios ( $\mu$ ) deben ser corregidos antes de colocar su valor en el formulario como se indica más adelante.

### 2.6.1. Ajuste de los valores medios ( $\mu$ ).

Antes de colocar los parámetros de los valores medios ( $\mu$ ) de la curva de fragilidad seleccionada, estos deben ser ajustados considerando que los valores medios de las curvas de fragilidad presentadas en los anexos 5 y 6 fueron desarrollados para un tipo de terreno. Por lo que, en la entrevista realizada con el Ing. Diego Hidalgo del Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS) se debe considerar aplicar el factor de corrección del tipo de suelo indicado anteriormente en el formulario a los valores medios de la curva de fragilidad, como se muestra en la siguiente ecuación:

$$\mu_i = \mu \cdot F_{Ai}$$

Donde:

$\mu_i$ : Los valores medios para el tipo de suelo de sitio i.

$\mu$ : Los valores medios de las curvas de fragilidad según los anexos 5 y 6.

$F_{Ai}$ : Factor de corrección para la clase de sitio i, como se especifica en la Tabla 6 o Tabla 7 para los valores medios.

## 2.7. Registro fotográfico y planos

### 2.7.1. Fotografías

Esta sección permite indicar el tipo de fotografías que fueron posibles obtener de la edificación. En la medida de lo posible se debe tomar fotos de las cuatro fachadas de la edificación para obtener una referencia visual del exterior de la edificación. Cuando sea posible acceder en la edificación, se debe tomar por lo menos una foto del interior de la edificación. Por último, es recomendable tomar fotografías de algunos detalles estructurales de la edificación que permitan verificar la tipología estructural asignada en la edificación.

Se proporciona una hoja electrónica estandarizada elaborada en Excel denominada “registro fotográfico y planos del establecimiento de salud” para agregar electrónicamente las fotografías junto con el formulario. Además, cada fotografía debe contar con un código ID que permita identificar la fotografía en el caso que se requiera indicar alguna particularidad en los comentarios y en alguna otra documentación. El formato del Código ID por foto es N° formulario\_N° foto, por ejemplo, 01.2102-01\_1.

Los edificios grandes son difíciles de fotografiar desde la calle y la lente de la cámara introduce distorsión para edificios de gran altura. Si es posible, la fotografía debe tomarse desde una distancia suficiente para incluir una elevación completa del edificio, de modo que se incluyan las caras adyacentes. Una lente gran angular puede ser útil. Se deben evitar las fachadas fuertes iluminadas por el sol, ya que se introducirán fuertes contrastes entre las sombras y las partes iluminadas por el sol de la fachada. Por último, si es posible, la elevación fotografiada del edificio no debe ser oscurecida por árboles, vehículos u otros objetos, ya que oscurecen los pisos inferiores FEMA (2002).

### 2.7.2. Planos

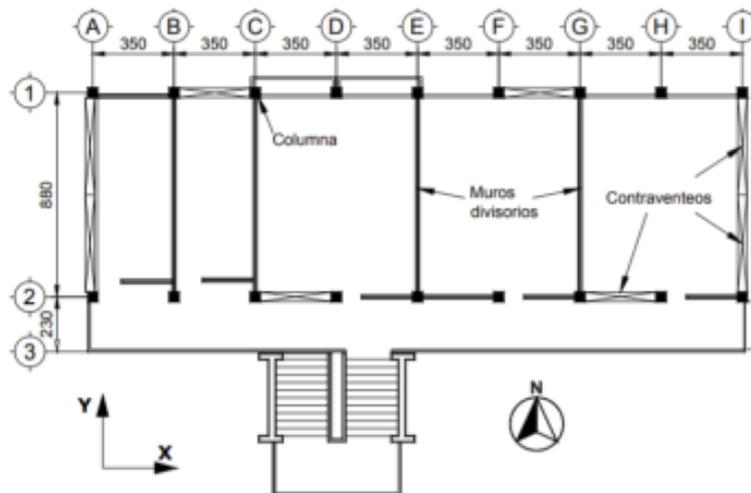
Se marcará la casilla correspondiente si se dispone de planos arquitectónicos, estructurales o electromecánicos de la edificación. En el caso de que no se marque alguna casilla, indicar que no se dispone de planos ya sea que no existen, no se tengan o sea muy complicado conseguirlos.

Para la inspección basta con planos donde se ubiquen los elementos estructurales y que contengan las dimensiones de las áreas, elementos y total de niveles. Se puede tomar notas de información técnica de planos estructurales e indicarlos en el apartado del croquis o comentarios. Cuando no se tenga ningún tipo de plano se recomienda hacer un croquis más detallado cuidando las proporciones y tomar algunas medidas de dimensiones fundamentales: claros, sección de columnas, dimensión total del predio, etc. Si existen planos se debe verificar si concuerdan con la realidad.

## 2.8. Croquis del edificio

Se proporciona un espacio en esta subsección para dibujar un boceto del edificio. Como mínimo, el inspector debe dibujar un boceto en planta. Un boceto de elevación también puede ser útil para indicar características significativas. Dibujar el boceto es una parte importante del procedimiento de selección porque muchos de los atributos del edificio se revelarán al evaluador a medida que el evaluador vea sistemáticamente todos los aspectos del edificio para preparar el boceto. Una fotografía contiene información más detallada que un boceto, pero el boceto puede enfatizar mejor las características importantes (FEMA, 2002).

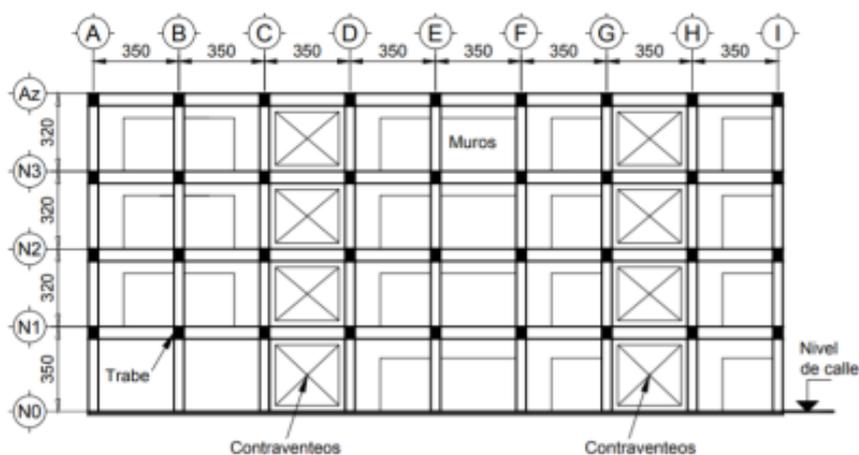
El boceto en planta debe mostrar la forma del edificio desde arriba y cualquier irregularidad en planta. El boceto en planta se puede hacer durante la planificación previa al campo utilizando alguna herramienta como Google Maps. En este caso, el boceto debe verificarse en el campo. Más a menudo, el boceto será dibujado por el inspector en el campo. A los inspectores con acceso a un dispositivo inteligente les resultará útil ver la imagen satelital del edificio mientras realizan la proyección. Esto es especialmente valioso cuando el acceso a los edificios no está disponible.



**Figura 42.** Ejemplo de croquis de planta.

**Fuente:** Aragón, Flores y López (2011).

El boceto de elevación debe mostrar el número de pisos y cualquier irregularidad vertical. Si todos los lados del edificio son diferentes, se puede esbozar una elevación para cada lado. Si todos los lados son similares, el inspector puede notar que el boceto es típico de todos los lados.



**Figura 43.** Ejemplo de croquis de elevación.

**Fuente:** Aragón, Flores y López (2011).

Por último, los inspectores pueden querer dibujar a lápiz en una hoja separada de papel cuadriculado. En este caso, el boceto se puede escanear y agregar al formulario de la misma manera que las fotografías.

## 2.9. Comentarios

En esta esta sección del formulario se debe ampliar la evaluación con observaciones que ayuden a darle claridad al formulario y a explicar los motivos de la selección de la tipología, la calidad de los datos o las circunstancias inusuales de cualquier tipo.

## Capítulo 4: Ejemplo de aplicación

### Aplicación de los formularios

Para mostrar el procedimiento del llenado de los formularios en un establecimiento de salud y la asignación de curvas de fragilidad, se definió como ejemplo de aplicación el Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia ubicado en la ciudad de San José, Costa Rica (ver Figura 44). Se escogieron seis edificaciones del establecimiento, estas son: Torre Sur, Casa de máquinas mecánicas, Torre Este, Torre Norte, Nutrición y Edificios histórico.

La información del formulario 1 sobre el establecimiento de salud y el formulario 2 con la asignación de las curvas de fragilidad correspondientes para cada edificación son presentados en el anexo 7. Posteriormente, se incluye la lista de verificación utilizada previa a la inspección y un registro fotográfico de las fotos tomadas en el sitio con un registro de los planos disponibles por edificación. Este registro se realizó mediante una hoja electrónica disponible en Excel con un formato establecido para que pueda ser utilizada posteriormente en otras inspecciones.



**Figura 44.** Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia.

**Fuente:** Astua, 2020.

### Inventario de edificaciones y curvas de fragilidad

La información recolectada en los formularios de inspección debe ser resumida con las características obtenidas junto con sus parámetros de la curva de fragilidad asignada para poder establecer un inventario en las edificaciones donde se puedan realizar análisis estadísticos de la información y también ser presentada al Laboratorio de Ingeniería Sísmica (LIS).

En el anexo 8 se presenta un ejemplo del inventario con las características resumidas de la información recolectada en los formularios utilizados en el ejemplo de aplicación. Este inventario se realizó mediante una hoja de electrónica disponible en Excel donde se presentan los formularios para ser llenados de la misma forma como si fueran llenados a mano y siguiendo el procedimiento descrito en el capítulo anterior, se brinda en la hoja electrónica (ver Figura 45) tres botones, donde el primer

botón permite al completar el formulario, registrar la información en el inventario de cada formulario; el segundo botón permite generar el pdf de formulario de forma sencilla y el último botón brinda la opción de limpiar la información del formulario para ser usada nuevamente. Esto permite ser utilizado posteriormente en otras inspecciones donde se pueda ir almacenado la información.



**Figura 45.** Botones de uso en la hoja electronica en Excel.

## Bibliografía y anexos

### Referencias bibliográficas

- Acevedo, A., Jaramillo, J., Yepes, C., Silva, S., Osorio, F. Y Villar, M. (2017). Evaluation of the seismic risk of the unreinforced masonry building stock in Antioquia, Colombia. *Nat Hazards*, 86, S31–S54. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2647-8>
- AIS (2002). Guía técnica para la inspección de edificaciones después de un sismo. <https://www.idiger.gov.co/documents/20182/112614/Manual+y+gu%C3%ADa+t%C3%A9cnica+para+inspecci%C3%B3n+de+edificaciones+despu%C3%A9s+de+un+sismo.pdf>
- Alas, R. y Grijalva, S. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental*. [Tesis de maestría, Universidad de El Salvador].
- Aragón, J., Flores, L., & López, Ó. (2011). *Manual Formato Captura de Datos para Evaluación Estructural. Sistema Nacional de Protección Civil*. Obtenido de <https://www.yumpu.com/es/document/read/14391498/manual-del-formato-para-captura-de-datos-para-evaluacion->
- Astua, R. (2020). Hospital Calderón Guardia suministra equipos de protección a funcionarios del servicio de Nutrición Funcionarios reciben todos los equipos de protección como caretas, mascarillas, gabachas desechables. [https://www.ccss.sa.cr/noticias/servicios\\_noticia?hospital-calderon-guardia-suministra-equipos-de-proteccion-a-funcionarios-del-servicio-de-nutricion](https://www.ccss.sa.cr/noticias/servicios_noticia?hospital-calderon-guardia-suministra-equipos-de-proteccion-a-funcionarios-del-servicio-de-nutricion)
- Blanco, S. y Esquivel, L. (2021). Estimación del período de construcción de las edificaciones del cantón de San José por medio de análisis de fotografías aéreas. *Revista Geográfica de América Central*. 67 (2). 61-82. <http://dx.doi.org/10.15359/rgac.67-2.3>
- Calderón, A. y Silva, V. (2019). Probabilistic seismic vulnerability and loss assessment of the residential building stock in Costa Rica. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17,1257-1284. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0499-1>
- Castillo, R. (2018). *Guía de campo: evaluación rápida de viviendas ante una emergencia*. MIVAH. <http://www.mivah.go.cr/Documentos/emergencias/Guia-evaluacion-rapida-de-viviendas.pdf>
- Castro, J. (2017). Guía de evaluación rápida de edificaciones post evento sísmico.
- Climent, A., Rojas, W., Alvarado, G. y Benito, B. (2008). *Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica*. [https://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes\\_sismos/amenaza\\_sismica\\_cr](https://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes_sismos/amenaza_sismica_cr)

- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2016). *Código Sísmico de Costa Rica 2010/ Revisión 2014* (Quinta Ed). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- Crowley, H., & Silva, V. (2013). *OpenQuake Engine Book: Risk v1.0.0*. GEM Foundation, Pavia, Italy.
- Cuyún, Ruth. (2009). *Losa prefabricada sin bovedilla, su aplicación en arquitectura*. [Tesis de licenciatura, Universidad de San Carlos de Guatemala [http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02\\_2460.pdf](http://www.biblioteca.usac.edu.gt/tesis/02/02_2460.pdf)
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1998). *Evaluation of Earthquake Damaged Concrete and Masonry Wall Buildings* (FEMA 306). <https://mitigation.eeri.org/files/fema-306.pdf>
- Federal Emergency Management Agency (FEMA) (1997). *NEHRP Guidelines for the Seismic Rehabilitation of Buildings* (FEMA 273). <https://www.scinc.co.jp/nanken/pdf/fema273.pdf>
- FEMA (2002) "Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards A Handbook". Second edition. FEMA/ATC P-154. *Federal Emergency Management Agency and Applied Technology Council*. Washington, D.C.
- FEMA. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Hazus MH 2.1*. Washington, D.C., USA. [https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-09/fema\\_hazus\\_earthquake-model\\_technical-manual\\_2.1.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/2020-09/fema_hazus_earthquake-model_technical-manual_2.1.pdf)
- Jorajuria, M. y Servente, F. (2015). *Steel Framing y sus principales usos en Uruguay*. [http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2015/12/TESINA\\_Steel-Framing.pdf](http://www.fadu.edu.uy/tesinas/files/2015/12/TESINA_Steel-Framing.pdf)
- Hidalgo, D., Esquivel, L., Calderón, E. y Schmidt, V. (2020). *Estimación del riesgo sísmico en el cantón de san José, Costa Rica*. <https://vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/projects/B7501>
- Internacional Labour Organization (2017). *Handbook for rural mansons*. [https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed\\_emp/---emp\\_ent/documents/instructionalmaterial/wcms\\_649839.pdf](https://www.ilo.org/wcmsp5/groups/public/---ed_emp/---emp_ent/documents/instructionalmaterial/wcms_649839.pdf)
- Lantada, N. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/10803/6259>
- Milutinovic, Z. & Trendafiloski, G. (2003). *Risk-UE An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns*. Contract: EVK4-CT-2000-00014, WP4: Vulnerability of current buildings. [http://www.civil.ist.utl.pt/~mlopes/conteudos/DamageStates/Risk%20UE%20WP04\\_Vulnerability.pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~mlopes/conteudos/DamageStates/Risk%20UE%20WP04_Vulnerability.pdf)
- Moas, M. (1993). *Manual para la construcción de viviendas de un piso con bloques de concreto*. Comisión Nacional de Emergencias. <https://www.cne.go.cr/CEDO-CRID/CEDO-CRID%20v2.0/CEDO/pdf/spa/doc3365/doc3365.htm>

- Moya, A. (2017). *Sistema de monitoreo acelerográfico del Laboratorio de Ingeniería Sísmica*.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/ingenieria/article/download/30874/31525?inline=1>
- Muñoz, J. (2015). *Estudio de vulnerabilidad sísmica de puentes en Costa Rica mediante el uso de curvas de fragilidad*.  
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/624>
- Muñoz, J., Vargas, L., Vargas, S., Ruiz, P. y Vega, P. (2017). *Protocolo para inspección de puentes después de sismo. LM-PIE-UP-I01-2017*. Unidad de puentes LanammeUCR.  
<https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/936>
- Sanabria, K. (2019). *Guía para la evaluación de daños en edificaciones después de un sismo en Costa Rica*. [Tesis de licenciatura, tecnológico de Costa Rica].  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/handle/2238/10986>
- SYNER-G. (2009). D7.1 – *Functional fragility curve archive*. [http://www.vce.at/SYNER-G/pdf/deliverables/D7.01\\_Deliverable\\_7.1\\_FINAL.pdf](http://www.vce.at/SYNER-G/pdf/deliverables/D7.01_Deliverable_7.1_FINAL.pdf)
- Singhal, V. (2017). *Confined Masonry Buildings as LowCost Engineered Housing System*. Indian Institute of Technology Patna. [https://www.iitk.ac.in/ce/test/Noida-Workshop/4\\_CM%20Buildings\\_Vaibhav%20Singhal.pdf](https://www.iitk.ac.in/ce/test/Noida-Workshop/4_CM%20Buildings_Vaibhav%20Singhal.pdf)
- Valcárcel, J. (2013). *Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/10803/116820>
- Valverde, D. (2005). *Matrices comparativas técnico-económicas para los tipos de entresijos más usados en Costa Rica*. [Tesis de licenciatura, tecnológico de Costa Rica].  
<https://repositoriotec.tec.ac.cr/bitstream/handle/2238/263/Proyecto%20de%20Graduaci%C3%B3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- Villar, M., Silva, V., Crowley, H. Y Yepes, C. (2017). Development of a Fragility Model for the Residential Building Stock in South America. *Earthquake Spectra*, 33 (2).  
[https://www.researchgate.net/publication/313801988\\_Development\\_of\\_a\\_Fragility\\_Model\\_for\\_the\\_Residential\\_Building\\_Stock\\_in\\_South\\_America](https://www.researchgate.net/publication/313801988_Development_of_a_Fragility_Model_for_the_Residential_Building_Stock_in_South_America)
- Villalobos, F. (2017). *Estado del arte de la normativa técnica sobre elementos prefabricados de concreto para vivienda unifamiliar en Costa Rica. Metodos y Materiales*.  
<https://revistas.ucr.ac.cr/index.php/materiales/article/view/29706/30370>
- World Bank (WB). (2013). *Evaluación del riesgo sísmico en Costa Rica: Fortalecimiento de capacidades en el sector de agua y saneamiento*. In *Insights in DRM*.  
<https://documents1.worldbank.org/curated/en/436221468019150689/pdf/826140REVISED000INSIGHTS0Issue20SP.pdf>

## Anexos

|         |  |
|---------|--|
| Anexo 1 | Formulario 1: Datos básicos  |
| Anexo 2 | Formulario 2: Datos de la estructura                                 |
| Anexo 3 | Lista de verificación de materiales y equipos                        |
| Anexo 4 | Tipologías estructurales   |
| Anexo 5 | Parámetros curvas de fragilidad desarrolladas a nivel regional       |
| Anexo 6 | Parámetros curvas de fragilidad desarrolladas por HAZUS-MH y RISK-UE |
| Anexo 7 | Ejemplo de aplicación de los formularios                             |
| Anexo 8 | Inventario de edificaciones y curvas de fragilidad                   |

# Anexo 1

Formulario 1: Datos básicos

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 1: DATOS DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD  $\psi$**

**1.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  ID Estab. de salud (\*)

**1.2 INFORMACIÓN GENERAL Y UBICACIÓN**

|   |                      |                      |
|---|----------------------|----------------------|
| Nombre del establecimiento de salud (*) |                      | <input type="text"/> |
| Persona de contacto                     | Nombre (*)           | <input type="text"/> |
|   | Teléfono             | <input type="text"/> |
|   | e-mail (*)           | <input type="text"/> |
| Ubicación                               | Provincia (*)        | <input type="text"/> |
|   | Cantón (*)           | <input type="text"/> |
|   | Distrito (*)         | <input type="text"/> |
|   | Dirección exacta (*) | <input type="text"/> |

**1.3 OFERTA DE SERVICIOS**

|                                      |                      |   |
|--------------------------------------|----------------------|---|
| Tipo de establecimiento de salud (*) |                      | <input type="text"/>  |
| N° edificios del Estab. de salud (*) | <input type="text"/> | Porcentaje de ocupación (%) <input type="text"/>  |
| N° de camas                          | <input type="text"/> | Cuenta con servicios de emergencia <input type="text"/> Sí <input type="text"/> No <input type="text"/> |

**1.4 VISTA EN PLANTA DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD**

Croquis (\*)

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 1 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

# Anexo 2

Formulario 2: Datos de la estructura

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA  $\psi$**

**2.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*):

**2.2 IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**

|                             |                      |                      |                      |
|-----------------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| Nombre del responsable (*): |                      | <input type="text"/> |                      |
| Unidad (*):                 | <input type="text"/> |                      |                      |
| Teléfono:                   | <input type="text"/> | Firma (*):           | <input type="text"/> |
| Correo (*):                 | <input type="text"/> |                      |                      |
| Personal de apoyo:          |                      |                      |                      |

**2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

|                                      |                           |                            |                      |
|--------------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------|
| Nombre del edificio (*):             | <input type="text"/>      |                            |                      |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*): | Lat: <input type="text"/> | Long: <input type="text"/> | <input type="text"/> |
| N° de plano catastrado               | <input type="text"/>      |                            |                      |

| Importancia(*)<br><input type="radio"/> A<br><input type="radio"/> B<br><input type="radio"/> C<br><input type="radio"/> D<br><input type="radio"/> E | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*)<br><br><input type="radio"/> Antes 1974 <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011<br><input type="radio"/> Entre 1974 y 1986 <input type="radio"/> Después del 2011<br><input type="radio"/> Entre 1986 y 2003 <input type="radio"/> Sin información | Propiedades geométricas |                            |
|---|--|-------------------------|----------------------------|
|   |  | N° de niveles (*)       | <input type="text"/>       |
|   |  | N° de sótanos (*)       | <input type="text"/>       |
|   |  | Altura por piso (m)     | <input type="text"/>       |
|   |  | Frente (m)              | <input type="text"/>       |
|   |  | Fondo (m)               | <input type="text"/>       |
| Código sísmico  |  | <input type="text"/>    | Área (m <sup>2</sup> ) (*) |

**2.4 TERRENO (\*)**

|   |  |                             |
|---|--|-----------------------------|
| Sitio de cimentación<br><input type="radio"/> S1 <input type="radio"/> S2 <input type="radio"/> S3 <input type="radio"/> S4 | Zonificación Sísmica<br><input type="radio"/> Zona II <input type="radio"/> Zona III <input type="radio"/> Zona IV | Fai<br><input type="text"/> |
|---|--|-----------------------------|

**2.5 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL (\*)**

| Material  |  |  |                             |
|---|--|--|-----------------------------|
| Concreto reforzado  | Mampostería                                  | Acero  | Madera                      |
| Sistema estructural   |  |  |                             |
| <input type="radio"/> Marco   | <input type="radio"/> No reforzada (simple)  | <input type="radio"/> Marco  | <input type="radio"/> Marco |
| <input type="radio"/> Muro  | <input type="radio"/> No reforzada confinada | <input type="radio"/> Marco arriostrado  | <input type="radio"/> Muro  |
| <input type="radio"/> Dual  | <input type="radio"/> Reforzada (integral)   | <input type="radio"/> Dual mixto   |                             |
|   | <input type="radio"/> Reforzada confinada    |  |                             |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado   |  | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frio   |                             |
| <input type="radio"/> Otro:   | Material <input type="text"/>                | Sistema estructural <input type="text"/>   | <input type="text"/>        |
| Estructura de entrepiso (*)(**)<br>Concreto <input type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |  | Estructura de techo (*)(**)<br><input type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |                             |
| Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta   |  | Código tipología   |                             |
| <input type="radio"/> Otros: <input type="text"/>   |  |  |                             |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

## 2.6 CURVA DE FRAGILIDAD

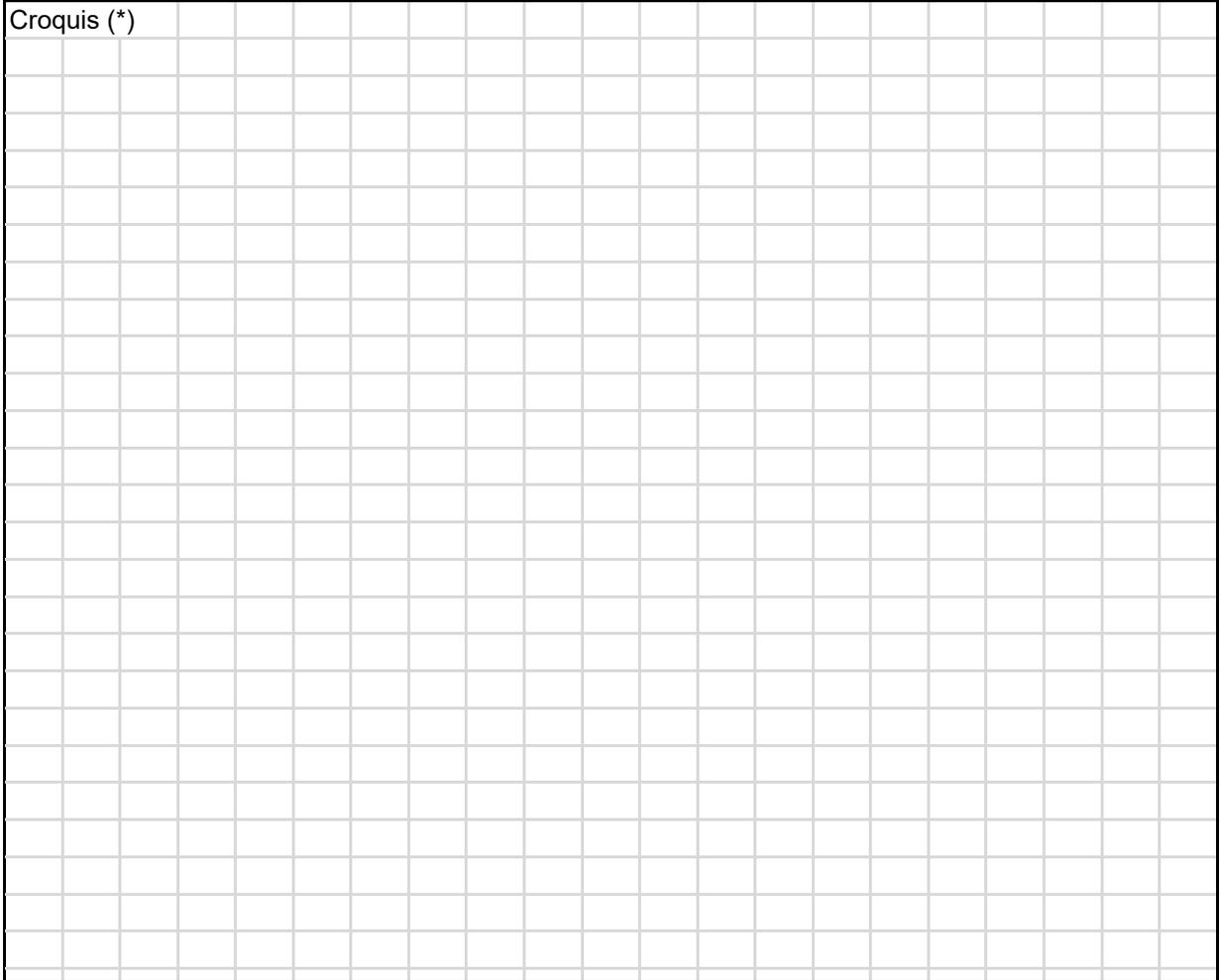
| N° fragilidad | IM | Leve  |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|----|-------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |    | $\mu$ | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
|               |    |       |         |          |         |        |         |          |         |

## 2.7 REGISTRO FOTOGRAFICO Y PLANOS

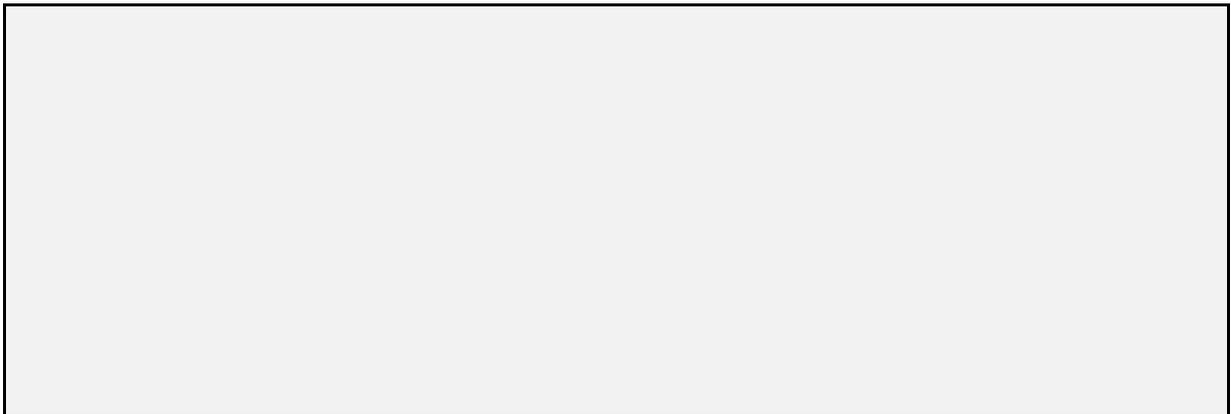
|             |  |                 |  |                |  |                        |
|-------------|--|-----------------|--|----------------|--|------------------------|
| Fotografías |  | Fachadas        |  | Vista interior |  | Detalles estructurales |
| Planos      |  | Arquitectónicos |  | Estructurales  |  | Electromecánicos       |

## 2.8 CROQUIS DEL EDIFICIO

Croquis (\*)



## 2.9 COMENTARIOS (Amplíe con observaciones)



ψ Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

# Anexo 3

Lista de verificación de materiales y equipos

## LISTA DE VERIFICACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

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

|   |  |
|---|--|
| Nombre del Inspector (*):               |  |
| Nombre del establecimiento de salud (*) |  |

| Elementos  | Lista de verificación (✓) o no aplica (NA) |
|--|--|
| <b>Artículos personales</b>  |  |
| Cédula de identidad  |  |
| Carné institucional  |  |
| Equipo de seguridad básico (casco, chaleco reflectante, zapatos de seguridad y anteojos)                   |  |
| <b>Material y equipo</b>   |  |
| Planos de la zona a inspeccionar   |  |
| Copia de la "Guía para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura hospitalaria" |  |
| Copia de los formularios 1 y 2   |  |
| Lápiz o lapicero   |  |
| Tabla de apoyo con pinza para papelería  |  |
| Libreta para anotar  |  |
| Teléfono celular   |  |
| Equipo GPS o teléfono inteligente con función GPS  |  |
| Cinta métrica  |  |
| Cámara, preferiblemente digital y baterías de repuesto   |  |
| Binoculares (Opcional)   |  |
| Regla (Opcional)   |  |
| Linterna y baterías extras (Opcional)  |  |

# Anexo 4

Tipologías estructurales

| Código tipología | GEM Taxonomía                     | Material                   | Sistema estructural    | Altura                |       |     |
|------------------|-----------------------------------|----------------------------|------------------------|-----------------------|-------|-----|
|                  |                                   |                            |                        | Nombre                | Pisos |     |
| CR-M-B           | CR/LFM/H_BET:1:3/IRRE/FC          | Concreto reforzado         | Marco                  | Baja                  | 1-3   |     |
| CR-M-M           | CR/LFM/H_BET:4:7/IRRE/FC          |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| CR-M-A           | CR/LFM/H_BET:8:+/IRRE/FC          |                            |                        | Alta                  | 8+    |     |
| CR-MU-B          | CR/LWAL/H_BET:1:3/IRRE/FC         |                            | Muro                   | Baja                  | 1-3   |     |
| CR-MU-M          | CR/LWAL/H_BET:4:7/IRRE/FC         |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| CR-MU-A          | CR/LWAL/H_BET:8:+/IRRE/FC         |                            |                        | Alta                  | 8+    |     |
| CR-D-B           | CR/LDUAL/H_BET:1:3/IRRE/EWC/FC    |                            | Dual                   | Baja                  | 1-3   |     |
| CR-D-M           | CR/LDUAL/H_BET:4:7/IRRE/EWC/FC    |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| CR-D-A           | CR/LDUAL/H_BET:8:+/IRRE/EWC/FC    |                            |                        | Alta                  | 8+    |     |
| CR-P-B           | CR+PC/LWAL/H_BET:1:3/IRRE/FC      |                            | Prefabricado           | Baja                  | 1-3   |     |
| CR-P-M           | CR+PC/LWAL/H_BET:4:7/IRRE/FC      |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| M-NR-B           | MUR+CBH/LWAL/H_BET:1:3/IRRE/FC    |                            | Mampostería            | No reforzada (simple) | Baja  | 1-3 |
| M-NR-M           | MUR+CBH/LWAL/H_BET:4:+/IRRE/FC    | Media                      |                        |                       | 4+    |     |
| M-NRC-B          | CR/LINF/H_BET:1:3/IRRE/EWMA/FC    | No reforzada confinada     |                        | Baja                  | 1-3   |     |
| M-NRC-M          | CR/LINF/H_BET:4:7/IRRE/EWMA/FC    |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| M-NRC-A          | CR/LINF/H_BET:8:+/IRRE/EWMA/FC    |                            |                        | Alta                  | 8+    |     |
| M-RI-B           | MR+CBH/LWAL/H_BET:1:3/IRRE/FC     | Reforzada (integral)       |                        | Baja                  | 1-3   |     |
| M-RI-M           | MR+CBH/LWAL/H_BET:4:7/IRRE/FC     |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| M-RC-B           | MCF+CBR/LWAL/H_BET:1:3/IRRE/FC    | Reforzada confinada        |                        | Baja                  | 1-3   |     |
| M-RC-M           | MCF+CBR/LWAL/H_BET:4:7/IRRE/FC    |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| M-RC-A           | MCF+CBR/LWAL/H_BET:8:+/IRRE/FC    |                            |                        | Alta                  | 8+    |     |
| S-M-B            | S+SR/LFM/H_BET:1:3/IRRE/FME       | Acero laminado en caliente |                        | Marco                 | Baja  | 1-3 |
| S-M-M            | S+SR/LFM/H_BET:4:7/IRRE/FME       |                            |                        |                       | Media | 4-7 |
| S-M-A            | S+SR/LFM/H_BET:8:+/IRRE/FME       |                            | Alta                   |                       | 8+    |     |
| S-MU-B           | S+SR/LWAL/H_BET:1:3/IRRE/FME      |                            | Marco arriostrado      | Baja                  | 1-3   |     |
| S-MU-M           | S+SR/LWAL/H_BET:4:7/IRRE/FME      |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| S-MU-A           | S+SR/LWAL/H_BET:8:+/IRRE/FME      |                            |                        | Alta                  | 8+    |     |
| S-D-B            | S+SR/LDUAL/H_BET:1:3/IRRE/EWC/FME |                            | Dual mixto             | Baja                  | 1-3   |     |
| S-D-M            | S+SR/LDUAL/H_BET:4:7/IRRE/EWC/FME |                            |                        | Media                 | 4-7   |     |
| S-D-A            | S+SR/LDUAL/H_BET:8:+/IRRE/EWC/FME |                            |                        | Alta                  | 8+    |     |
| SL-M-B           | S+SL/LFM/H_BET:1:3/IRRE/FME       |                            | Acero laminado en frío | Marco                 | Baja  | 1-3 |
| W-M-B            | W/LFM/H_BET:1:3/IRRE/FW           |                            | Madera                 | Marco                 | Baja  | 1-3 |
| W-MU-M           | W/LWAL/H_BET:1:3/IRRE/FW          |                            |                        | Muro                  | Baja  | 1-3 |

# Anexo 5

Parámetros de curvas de fragilidad desarrolladas a nivel regional

| N° fragilidad | Código tipología | Valor medio según el IM ( $\mu$ ) y desviación estándar del logaritmo ( $\beta$ ) |       |         |          |         |        |         |          |         | Código sísmico | Fuente                   | Notas   |
|---------------|------------------|---|-------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|----------------|--------------------------|---|
|               |                  | IM  | Leve  |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |                |                          |   |
|               |                  |   | $\mu$ | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |                |                          |   |
| 1             | CR-M-B           | Sa (0.4)  | 1.280 | 1.150   | 3.680    | 3.420   | 4.530  | 3.290   | 6.100    | 4.000   | Alto           | Calderón y Silva (2019). | Corresponde a la tipología CR/LFM+DUC/H:1-2.    |
| 2             | CR-M-M           | PGA   | 0.079 | 0.331   | 0.113    | 0.310   | 0.440  | 1.140   | 1.625    | 1.206   | Alto           | Hidalgo et al (2020)     | Corresponde a la tipología Cr-M-[4~7].          |
| 3             | CR-M-A           | PGA   | 0.100 | 0.332   | 0.142    | 0.304   | 0.550  | 1.134   | 2.017    | 1.201   |                |                          | Corresponde a la tipología Cr-M-[10].           |
| 4             | CR-MU-B          |   |       |         |          |         |        |         |          |         |                |                          |   |
| 5             | CR-MU-M          | PGA   | 0.776 | 0.321   | 1.143    | 0.400   | 1.869  | 0.551   | 3.901    | 0.695   | Alto           | Hidalgo et al (2020)     | Corresponde a la tipología Cr-Mu-[6~8].         |
| 6             | CR-MU-A          | PGA   | 0.466 | 0.338   | 0.701    | 0.420   | 1.147  | 0.537   | 2.240    | 0.630   |                |                          | Corresponde a la tipología Cr-Mu-[9].           |
| 7             | CR-D-B           |   |       |         |          |         |        |         |          |         |                |                          |   |
| 8             | CR-D-M           | PGA   | 0.097 | 0.330   | 0.139    | 0.300   | 0.616  | 1.210   | 2.245    | 1.160   | Alto           | Hidalgo et al (2020)     | Corresponde a la tipología Cr-D-[4~7].          |
| 9             | CR-D-A           | PGA   | 0.126 | 0.340   | 0.180    | 0.310   | 0.584  | 1.030   | 2.012    | 1.160   |                |                          | Corresponde a la tipología Cr-D-[8~18].         |
| 10            | CR-P-B           | PGA (g)   | 0.410 | 0.170   | 0.750    | 0.340   | 1.150  | 0.700   | 1.580    | 1.000   | Alto           | Calderón y Silva (2019). | Corresponde a la tipología CR+PC/LWAL+DUC/H:1   |
| 11            | CR-P-M           | Sa (0.8 s)  | 0.390 | 0.220   | 0.680    | 0.370   | 0.950  | 0.400   | 1.410    | 0.460   |                |                          | Corresponde a la tipología CR+PC/LWAL+DUC/H:2-6 |
| 12            | M-NR-B           | PGA (g)   | 0.379 | 0.147   | 0.755    | 0.289   | 0.710  | 0.326   | 1.088    | 0.361   | Alto           | Acevedo et al (2017)     | Corresponde a la tipología MUR/H:1-3.           |
| 13            | M-NR-M           | Sa (0.4 s)  | 0.232 | 0.058   | 0.285    | 0.073   | 0.348  | 0.109   | 0.458    | 0.119   | Alto           | Acevedo et al (2017)     | Corresponde a la tipología MUR/H:4-6.           |
| 14            | M-NRC-B          | PGA (g)   | 0.728 | 0.311   | 1.747    | 0.709   | 2.139  | 0.804   | 2.872    | 1.215   | Alto           | Villar-Vega (2014).      | Corresponde a la tipología CR/LFINF/H:1         |
| 15            | M-NRC-M          | Sa (1 s)  | 0.164 | 0.066   | 0.568    | 0.296   | 0.958  | 0.562   | 1.866    | 1.309   |                |                          | Corresponde a la tipología CR/LFINF/H:4-6       |
| 16            | M-NRC-A          | Sa (1 s)  | 0.234 | 0.071   | 0.703    | 0.290   | 1.191  | 0.668   | 2.437    | 1.898   |                |                          | Corresponde a la tipología CR/LFINF/H:7         |
| 17            | M-RI-B           | PGA   | 0.338 | 0.320   | 0.479    | 0.320   | 0.668  | 0.360   | 1.043    | 0.420   | Alto           | Hidalgo et al (2020)     | Corresponde a la tipología M-M-[2].             |

|    |        |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
|----|--------|------------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-----------------------------|---|
| 18 | M-RI-M | Sa<br>(1 s)      | 0.144 | 0.059 | 0.431 | 0.225 | 0.696 | 0.389 | 0.919 | 0.806 | Alto | Villar-Vega<br>(2014).      | Corresponde a la tipología<br>MR/LWAL/H:4-6                 |
| 19 | M-RC-B | PGA              | 0.625 | 0.170 | 1.030 | 0.235 | 1.240 | 0.260 | 1.410 | 0.325 | Alto | Calderón y<br>Silva (2019). | Corresponde a la tipología<br>MCF/LWAL+DUC/H:1-2            |
| 20 | M-RC-M | Sa<br>(0.4<br>s) | 0.250 | 0.120 | 0.480 | 0.220 | 0.710 | 0.310 | 1.200 | 0.450 |      |                             | Corresponde a la tipología<br>MCF/LWAL+DUC/H:3-6            |
| 21 | M-RC-A |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
| 22 | S-M-B  | Sa<br>(0.4<br>s) | 1.030 | 0.230 | 1.430 | 0.350 | 1.930 | 0.610 | 2.570 | 0.790 | Alto | Calderón y<br>Silva (2019). | Corresponde a la tipología<br>S+SR/LFM+DUC/H:1-2            |
| 23 | S-M-M  | PGA              | 0.419 | 0.334 | 0.653 | 0.502 | 1.249 | 0.724 | 3.321 | 0.923 | Alto | Hidalgo et al<br>(2020)     | Corresponde a la tipología<br>Acero-[4].                    |
| 24 | S-M-A  |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
| 25 | S-MU-B |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
| 26 | S-MU-M |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
| 27 | S-MU-A |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
| 28 | S-D-B  |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
| 29 | S-D-M  |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
| 30 | S-D-A  |                  |       |       |       |       |       |       |       |       |      |                             |   |
| 31 | SL-M-B | PGA              | 0.267 | 0.326 | 0.382 | 0.280 | 0.488 | 0.352 | 0.848 | 0.474 | Alto | Hidalgo et al<br>(2020)     | Corresponde a la tipología Acero<br>laminado en frío-[2~3]. |
| 32 | W-M-B  | Sa<br>(0.3)      | 1.207 | 0.506 | 2.597 | 1.231 | 3.473 | 1.641 | 5.804 | 3.618 | Alto | Villar-Vega<br>(2014).      | Corresponde a la tipología<br>W+WLI/H1                      |
| 33 | W-MU-M | Sa<br>(0.3)      | 1.207 | 0.506 | 2.597 | 1.231 | 3.473 | 1.641 | 5.804 | 3.618 | Alto | Villar-Vega<br>(2014).      | Corresponde a la tipología<br>W+WLI/H1                      |

# Anexo 6

Parámetros de curvas de fragilidad desarrolladas por HAZUZ Y RISK-UE

| N° fragilidad | Código tipología | Código Alto   |         |          |         |        |         |          |         | HAZUS-MH (2003) | RISK-UE (2003) |
|---------------|------------------|---|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|-----------------|----------------|
|               |                  | Valor medio en PGA ( $\mu$ ) y desviación estándar del logaritmo ( $\beta$ )<br>IM= PGA |         |          |         |        |         |          |         |                 |                |
|               |                  | Leve  |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |                 |                |
|               |                  | $\mu$   | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |                 |                |
| 34            | CR-M-B           | 0.2577  | 0.1834  | 0.4295   | 0.3056  | 0.8591 | 0.6112  | 1.6814   | 1.1963  | C1L             |                |
| 35            | CR-M-M           | 0.1841  | 0.1310  | 0.3314   | 0.2358  | 0.8959 | 0.6374  | 1.9759   | 1.4058  | C1M             |                |
| 36            | CR-M-A           | 0.1350  | 0.0961  | 0.2700   | 0.1921  | 0.7609 | 0.5414  | 1.6568   | 1.1788  | C1H             |                |
| 37            | CR-MU-B          | 0.2945  | 0.2096  | 0.5523   | 0.3929  | 1.1046 | 0.7859  | 1.9023   | 1.3535  | C2L             |                |
| 38            | CR-MU-M          | 0.2086  | 0.1484  | 0.4418   | 0.3144  | 1.0677 | 0.7597  | 2.3932   | 1.7027  | C2M             |                |
| 39            | CR-MU-A          | 0.1473  | 0.1048  | 0.3559   | 0.2532  | 1.0064 | 0.7160  | 2.2950   | 1.6329  | C2H             |                |
| 40            | CR-D-B           | 0.2690  | 0.2320  | 0.6030   | 0.5210  | 1.6340 | 1.4110  | 1.9900   | 1.7180  |                 | RC4L           |
| 41            | CR-D-M           | 0.1190  | 0.0910  | 0.3400   | 0.2610  | 0.8410 | 0.6460  | 1.5220   | 1.1680  |                 | RC4M           |
| 42            | CR-D-A           | 0.1540  | 0.1180  | 0.8980   | 0.6890  | 2.3510 | 1.8050  | 4.2400   | 3.2540  |                 | RC4H           |
| 43            | CR-P-B           | 0.2455  | 0.1746  | 0.4295   | 0.3056  | 0.8836 | 0.6287  | 1.5341   | 1.0915  | PC1L            |                |
| 44            | CR-P-M           | 0.2455  | 0.1746  | 0.4295   | 0.3056  | 0.8836 | 0.6287  | 1.5341   | 1.0915  | PC1M            |                |
| 45            | M-NR-B           |   |         |          |         |        |         |          |         | URML            |                |
| 46            | M-NR-M           |   |         |          |         |        |         |          |         | URMM            |                |
| 47            | M-NRC-B          |   |         |          |         |        |         |          |         | C3L             |                |
| 48            | M-NRC-M          |   |         |          |         |        |         |          |         | C3M             |                |
| 49            | M-NRC-A          |   |         |          |         |        |         |          |         | C3H             |                |
| 50            | M-RI-B           | 0.3191  | 0.2270  | 0.5155   | 0.3667  | 1.0677 | 0.7597  | 1.8286   | 1.3011  | RM2L            |                |
| 51            | M-RI-M           | 0.2086  | 0.1484  | 0.4050   | 0.2882  | 0.9205 | 0.6549  | 2.2459   | 1.5979  | RM2M            |                |
| 52            | M-RC-B           | 0.3191  | 0.2270  | 0.5155   | 0.3667  | 1.0677 | 0.7597  | 1.8286   | 1.3011  | RM2L            |                |
| 53            | M-RC-M           | 0.2086  | 0.1484  | 0.4050   | 0.2882  | 0.9205 | 0.6549  | 2.2459   | 1.5979  | RM2M            |                |
| 54            | M-RC-A           | 0.1473  | 0.1048  | 0.2945   | 0.2096  | 0.8223 | 0.5850  | 2.1846   | 1.5543  | RM2H            |                |
| 55            | S-M-B            | 0.2332  | 0.1659  | 0.3805   | 0.2707  | 0.7855 | 0.5588  | 1.8286   | 1.3011  | S1L             |                |
| 56            | S-M-M            | 0.1718  | 0.1222  | 0.3191   | 0.2270  | 0.7609 | 0.5414  | 1.7550   | 1.2487  | S1M             |                |
| 57            | S-M-A            | 0.1227  | 0.0873  | 0.2577   | 0.1834  | 0.6382 | 0.4541  | 1.6077   | 1.1439  | S1H             |                |
| 58            | S-MU-B           | 0.2945  | 0.2096  | 0.5032   | 0.3580  | 0.9327 | 0.6636  | 1.7918   | 1.2749  | S2L             |                |
| 59            | S-MU-M           | 0.1718  | 0.1222  | 0.3314   | 0.2358  | 0.8959 | 0.6374  | 1.9882   | 1.4146  | S2M             |                |
| 60            | S-MU-A           | 0.1350  | 0.0961  | 0.2700   | 0.1921  | 0.7977 | 0.5676  | 1.9636   | 1.3971  | S2H             |                |
| 61            | S-D-B            | 0.2945  | 0.2096  | 0.4786   | 0.3405  | 0.8714 | 0.6200  | 1.6323   | 1.1613  | S4L             |                |
| 62            | S-D-M            | 0.1964  | 0.1397  | 0.3436   | 0.2445  | 0.8959 | 0.6374  | 1.9146   | 1.3622  | S4M             |                |
| 63            | S-D-A            | 0.1595  | 0.1135  | 0.3068   | 0.2183  | 0.8468 | 0.6025  | 2.0005   | 1.4233  | S4H             |                |
| 64            | SL-M-B           | 0.1841  | 0.1310  | 0.3191   | 0.2270  | 0.6627 | 0.4715  | 1.2273   | 0.8732  | S3              |                |
| 65            | W-M-B            | 0.3191  | 0.2270  | 0.6750   | 0.4803  | 1.5709 | 1.1177  | 2.4668   | 1.7551  | W1              |                |
| 66            | W-MU-M           | 0.3191  | 0.2270  | 0.6750   | 0.4803  | 1.5709 | 1.1177  | 2.4668   | 1.7551  | W1              |                |

| N° fragilidad | Código tipología | Código Moderado   |         |          |         |        |         |          |         | HAZUS-MH (2003) | RISK-UE (2003) |
|---------------|------------------|---|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|-----------------|----------------|
|               |                  | Valor medio en PGA ( $\mu$ ) y desviación estándar del logaritmo ( $\beta$ )<br>IM= PGA |         |          |         |        |         |          |         |                 |                |
|               |                  | Leve  |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |                 |                |
|               |                  | $\mu$   | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |                 |                |
| 67            | CR-M-B           | 0.1964  | 0.1397  | 0.2823   | 0.2008  | 0.5032 | 0.3580  | 0.9450   | 0.6724  | C1L             |                |
| 68            | CR-M-M           | 0.1595  | 0.1135  | 0.2577   | 0.1834  | 0.6014 | 0.4279  | 1.0923   | 0.7771  | C1M             |                |
| 69            | CR-M-A           | 0.1350  | 0.0961  | 0.2209   | 0.1572  | 0.5032 | 0.3580  | 0.9082   | 0.6462  | C1H             |                |
| 70            | CR-MU-B          | 0.2209  | 0.1572  | 0.3682   | 0.2620  | 0.6014 | 0.4279  | 1.0677   | 0.7597  | C2L             |                |
| 71            | CR-MU-M          | 0.1841  | 0.1310  | 0.3191   | 0.2270  | 0.6750 | 0.4803  | 1.2518   | 0.8907  | C2M             |                |
| 72            | CR-MU-A          | 0.1473  | 0.1048  | 0.2823   | 0.2008  | 0.6995 | 0.4977  | 1.3132   | 0.9343  | C2H             |                |
| 73            | CR-D-B           | 0.1520  | 0.1320  | 0.4075   | 0.3550  | 1.0025 | 0.8710  | 1.2985   | 1.1295  |                 | RC4L           |
| 74            | CR-D-M           | 0.0700  | 0.0535  | 0.2460   | 0.1910  | 0.6150 | 0.4775  | 1.1315   | 0.8790  |                 | RC4M           |
| 75            | CR-D-A           | 0.0830  | 0.0640  | 0.5110   | 0.3940  | 1.3870 | 1.0710  | 3.3635   | 2.6165  |                 | RC4H           |
| 76            | CR-P-B           | 0.2209  | 0.1572  | 0.2945   | 0.2096  | 0.5400 | 0.3842  | 0.8714   | 0.6200  | PC1L            |                |
| 77            | CR-P-M           | 0.2209  | 0.1572  | 0.2945   | 0.2096  | 0.5400 | 0.3842  | 0.8714   | 0.6200  | PC1M            |                |
| 78            | M-NR-B           |   |         |          |         |        |         |          |         | URML            |                |
| 79            | M-NR-M           |   |         |          |         |        |         |          |         | URMM            |                |
| 80            | M-NRC-B          |   |         |          |         |        |         |          |         | C3L             |                |
| 81            | M-NRC-M          |   |         |          |         |        |         |          |         | C3M             |                |
| 82            | M-NRC-A          |   |         |          |         |        |         |          |         | C3H             |                |
| 83            | M-RI-B           | 0.2455  | 0.1746  | 0.3436   | 0.2445  | 0.5768 | 0.4104  | 0.9941   | 0.7073  | RM2L            |                |
| 84            | M-RI-M           | 0.1964  | 0.1397  | 0.2823   | 0.2008  | 0.5891 | 0.4191  | 1.2150   | 0.8645  | RM2M            |                |
| 85            | M-RC-B           | 0.2455  | 0.1746  | 0.3436   | 0.2445  | 0.5768 | 0.4104  | 0.9941   | 0.7073  | RM2L            |                |
| 86            | M-RC-M           | 0.1964  | 0.1397  | 0.2823   | 0.2008  | 0.5891 | 0.4191  | 1.2150   | 0.8645  | RM2M            |                |
| 87            | M-RC-A           | 0.1473  | 0.1048  | 0.2455   | 0.1746  | 0.5891 | 0.4191  | 1.2396   | 0.8819  | RM2H            |                |
| 88            | S-M-B            | 0.1841  | 0.1310  | 0.2700   | 0.1921  | 0.5155 | 0.3667  | 0.9818   | 0.6986  | S1L             |                |
| 89            | S-M-M            | 0.1595  | 0.1135  | 0.2577   | 0.1834  | 0.5400 | 0.3842  | 1.0064   | 0.7160  | S1M             |                |
| 90            | S-M-A            | 0.1227  | 0.0873  | 0.2209   | 0.1572  | 0.4786 | 0.3405  | 0.9573   | 0.6811  | S1H             |                |
| 91            | S-MU-B           | 0.2455  | 0.1746  | 0.3191   | 0.2270  | 0.5645 | 0.4017  | 1.0309   | 0.7335  | S2L             |                |
| 92            | S-MU-M           | 0.1718  | 0.1222  | 0.2700   | 0.1921  | 0.6505 | 0.4628  | 1.1905   | 0.8470  | S2M             |                |
| 93            | S-MU-A           | 0.1350  | 0.0961  | 0.2332   | 0.1659  | 0.6014 | 0.4279  | 1.2518   | 0.8907  | S2H             |                |
| 94            | S-D-B            | 0.2332  | 0.1659  | 0.3191   | 0.2270  | 0.5032 | 0.3580  | 0.9573   | 0.6811  | S4L             |                |
| 95            | S-D-M            | 0.1718  | 0.1222  | 0.2700   | 0.1921  | 0.6259 | 0.4453  | 1.1291   | 0.8033  | S4M             |                |
| 96            | S-D-A            | 0.1473  | 0.1048  | 0.2577   | 0.1834  | 0.6259 | 0.4453  | 1.1905   | 0.8470  | S4H             |                |
| 97            | SL-M-B           | 0.1595  | 0.1135  | 0.2332   | 0.1659  | 0.4050 | 0.2882  | 0.7364   | 0.5239  | S3              |                |
| 98            | W-M-B            | 0.2945  | 0.2096  | 0.5277   | 0.3755  | 1.1168 | 0.7946  | 1.6446   | 1.1701  | W1              |                |
| 99            | W-MU-M           | 0.2945  | 0.2096  | 0.5277   | 0.3755  | 1.1168 | 0.7946  | 1.6446   | 1.1701  | W1              |                |

| N° fragilidad | Código tipología | Código Bajo   |         |          |         |        |         |          |         | HAZUS-MH (2003) | RISK-UE (2003) |
|---------------|------------------|---|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|-----------------|----------------|
|               |                  | Valor medio en PGA ( $\mu$ ) y desviación estándar del logaritmo ( $\beta$ )<br>IM= PGA |         |          |         |        |         |          |         |                 |                |
|               |                  | Leve  |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |                 |                |
|               |                  | $\mu$   | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |                 |                |
| 100           | CR-M-B           | 0.1473  | 0.1048  | 0.1841   | 0.1310  | 0.3314 | 0.2358  | 0.5523   | 0.3929  | C1L             |                |
| 101           | CR-M-M           | 0.1473  | 0.1048  | 0.2086   | 0.1484  | 0.3927 | 0.2794  | 0.6627   | 0.4715  | C1M             |                |
| 102           | CR-M-A           | 0.1227  | 0.0873  | 0.1841   | 0.1310  | 0.3314 | 0.2358  | 0.5400   | 0.3842  | C1H             |                |
| 103           | CR-MU-B          | 0.1718  | 0.1222  | 0.2332   | 0.1659  | 0.3682 | 0.2620  | 0.6382   | 0.4541  | C2L             |                |
| 104           | CR-MU-M          | 0.1473  | 0.1048  | 0.2332   | 0.1659  | 0.4664 | 0.3318  | 0.7732   | 0.5501  | C2M             |                |
| 105           | CR-MU-A          | 0.1350  | 0.0961  | 0.2332   | 0.1659  | 0.4664 | 0.3318  | 0.7977   | 0.5676  | C2H             |                |
| 106           | CR-D-B           | 0.0350  | 0.0320  | 0.2120   | 0.1890  | 0.3710 | 0.3310  | 0.6070   | 0.5410  |                 | RC4L           |
| 107           | CR-D-M           | 0.0210  | 0.0160  | 0.1520   | 0.1210  | 0.3890 | 0.3090  | 0.7410   | 0.5900  |                 | RC4M           |
| 108           | CR-D-A           | 0.0120  | 0.0100  | 0.1240   | 0.0990  | 0.4230 | 0.3370  | 2.4870   | 1.9790  |                 | RC4H           |
| 109           | CR-P-B           | 0.1595  | 0.1135  | 0.2086   | 0.1484  | 0.3068 | 0.2183  | 0.5523   | 0.3929  | PC1L            |                |
| 110           | CR-P-M           | 0.1595  | 0.1135  | 0.2086   | 0.1484  | 0.3068 | 0.2183  | 0.5523   | 0.3929  | PC1M            |                |
| 111           | M-NR-B           | 0.1718  | 0.1222  | 0.2455   | 0.1746  | 0.3927 | 0.2794  | 0.5645   | 0.4017  | URML            |                |
| 112           | M-NR-M           | 0.1227  | 0.0873  | 0.1964   | 0.1397  | 0.3314 | 0.2358  | 0.5645   | 0.4017  | URMM            |                |
| 113           | M-NRC-B          | 0.1473  | 0.1048  | 0.2086   | 0.1484  | 0.3191 | 0.2270  | 0.5400   | 0.3842  | C3L             |                |
| 114           | M-NRC-M          | 0.1105  | 0.0786  | 0.1718   | 0.1222  | 0.3068 | 0.2183  | 0.5032   | 0.3580  | C3M             |                |
| 115           | M-NRC-A          | 0.0982  | 0.0699  | 0.1595   | 0.1135  | 0.3314 | 0.2358  | 0.5277   | 0.3755  | C3H             |                |
| 116           | M-RI-B           | 0.1718  | 0.1222  | 0.2209   | 0.1572  | 0.3436 | 0.2445  | 0.6259   | 0.4453  | RM2L            |                |
| 117           | M-RI-M           | 0.1473  | 0.1048  | 0.2086   | 0.1484  | 0.4173 | 0.2969  | 0.7364   | 0.5239  | RM2M            |                |
| 118           | M-RC-B           | 0.1718  | 0.1222  | 0.2209   | 0.1572  | 0.3436 | 0.2445  | 0.6259   | 0.4453  | RM2L            |                |
| 119           | M-RC-M           | 0.1473  | 0.1048  | 0.2086   | 0.1484  | 0.4173 | 0.2969  | 0.7364   | 0.5239  | RM2M            |                |
| 120           | M-RC-A           | 0.1350  | 0.0961  | 0.2086   | 0.1484  | 0.4295 | 0.3056  | 0.7609   | 0.5414  | RM2H            |                |
| 121           | S-M-B            | 0.1473  | 0.1048  | 0.2086   | 0.1484  | 0.3682 | 0.2620  | 0.5891   | 0.4191  | S1L             |                |
| 122           | S-M-M            | 0.1473  | 0.1048  | 0.2209   | 0.1572  | 0.3559 | 0.2532  | 0.6014   | 0.4279  | S1M             |                |
| 123           | S-M-A            | 0.1227  | 0.0873  | 0.1841   | 0.1310  | 0.3436 | 0.2445  | 0.5891   | 0.4191  | S1H             |                |
| 124           | S-MU-B           | 0.1595  | 0.1135  | 0.2086   | 0.1484  | 0.3682 | 0.2620  | 0.6136   | 0.4366  | S2L             |                |
| 125           | S-MU-M           | 0.1473  | 0.1048  | 0.2209   | 0.1572  | 0.4295 | 0.3056  | 0.7118   | 0.5065  | S2M             |                |
| 126           | S-MU-A           | 0.1350  | 0.0961  | 0.2086   | 0.1484  | 0.4418 | 0.3144  | 0.7732   | 0.5501  | S2H             |                |
| 127           | S-D-B            | 0.1595  | 0.1135  | 0.1964   | 0.1397  | 0.3191 | 0.2270  | 0.5645   | 0.4017  | S4L             |                |
| 128           | S-D-M            | 0.1473  | 0.1048  | 0.2086   | 0.1484  | 0.3805 | 0.2707  | 0.6627   | 0.4715  | S4M             |                |
| 129           | S-D-A            | 0.1473  | 0.1048  | 0.2086   | 0.1484  | 0.4050 | 0.2882  | 0.7241   | 0.5152  | S4H             |                |
| 130           | SL-M-B           | 0.1227  | 0.0873  | 0.1595   | 0.1135  | 0.2455 | 0.1746  | 0.4664   | 0.3318  | S3              |                |
| 131           | W-M-B            | 0.2455  | 0.1746  | 0.4173   | 0.2969  | 0.7486 | 0.5326  | 1.1659   | 0.8295  | W1              |                |
| 132           | W-MU-M           | 0.2455  | 0.1746  | 0.4173   | 0.2969  | 0.7486 | 0.5326  | 1.1659   | 0.8295  | W1              |                |

| N° fragilidad | Código tipología | Pre-Código  |         |          |         |        |         |          |         | HAZUS-MH (2003) | RISK-UE (2003) |
|---------------|------------------|---|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|-----------------|----------------|
|               |                  | Valor medio en PGA ( $\mu$ ) y desviación estándar del logaritmo ( $\beta$ )<br>IM= PGA |         |          |         |        |         |          |         |                 |                |
|               |                  | Leve  |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |                 |                |
|               |                  | $\mu$   | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |                 |                |
| 133           | CR-M-B           | 0.1227  | 0.0873  | 0.1473   | 0.1048  | 0.2577 | 0.1834  | 0.4418   | 0.3144  | C1L             |                |
| 134           | CR-M-M           | 0.1105  | 0.0786  | 0.1595   | 0.1135  | 0.3191 | 0.2270  | 0.5277   | 0.3755  | C1M             |                |
| 135           | CR-M-A           | 0.0982  | 0.0699  | 0.1473   | 0.1048  | 0.2577 | 0.1834  | 0.4295   | 0.3056  | C1H             |                |
| 136           | CR-MU-B          | 0.1350  | 0.0961  | 0.1841   | 0.1310  | 0.2945 | 0.2096  | 0.5155   | 0.3667  | C2L             |                |
| 137           | CR-MU-M          | 0.1227  | 0.0873  | 0.1841   | 0.1310  | 0.3682 | 0.2620  | 0.6136   | 0.4366  | C2M             |                |
| 138           | CR-MU-A          | 0.1105  | 0.0786  | 0.1841   | 0.1310  | 0.3805 | 0.2707  | 0.6382   | 0.4541  | C2H             |                |
| 139           | CR-D-B           |   |         |          |         |        |         |          |         |                 | RC4L           |
| 140           | CR-D-M           |   |         |          |         |        |         |          |         |                 | RC4M           |
| 141           | CR-D-A           |   |         |          |         |        |         |          |         |                 | RC4H           |
| 142           | CR-P-B           | 0.1350  | 0.0961  | 0.1718   | 0.1222  | 0.2577 | 0.1834  | 0.4295   | 0.3056  | PC1L            |                |
| 143           | CR-P-M           | 0.1350  | 0.0961  | 0.1718   | 0.1222  | 0.2577 | 0.1834  | 0.4295   | 0.3056  | PC1M            |                |
| 144           | M-NR-B           | 0.1595  | 0.1135  | 0.2086   | 0.1484  | 0.3191 | 0.2270  | 0.4541   | 0.3231  | URML            |                |
| 145           | M-NR-M           | 0.1105  | 0.0786  | 0.1595   | 0.1135  | 0.2577 | 0.1834  | 0.4664   | 0.3318  | URMM            |                |
| 146           | M-NRC-B          | 0.1227  | 0.0873  | 0.1718   | 0.1222  | 0.2577 | 0.1834  | 0.4295   | 0.3056  | C3L             |                |
| 147           | M-NRC-M          | 0.1105  | 0.0786  | 0.1718   | 0.1222  | 0.3068 | 0.2183  | 0.5032   | 0.3580  | C3M             |                |
| 148           | M-NRC-A          | 0.0982  | 0.0699  | 0.1595   | 0.1135  | 0.3314 | 0.2358  | 0.5277   | 0.3755  | C3H             |                |
| 149           | M-RI-B           | 0.1473  | 0.1048  | 0.1841   | 0.1310  | 0.2700 | 0.1921  | 0.5032   | 0.3580  | RM2L            |                |
| 150           | M-RI-M           | 0.1227  | 0.0873  | 0.1718   | 0.1222  | 0.3191 | 0.2270  | 0.5768   | 0.4104  | RM2M            |                |
| 151           | M-RC-B           | 0.1473  | 0.1048  | 0.1841   | 0.1310  | 0.2700 | 0.1921  | 0.5032   | 0.3580  | RM2L            |                |
| 152           | M-RC-M           | 0.1227  | 0.0873  | 0.1718   | 0.1222  | 0.3191 | 0.2270  | 0.5768   | 0.4104  | RM2M            |                |
| 153           | M-RC-A           | 0.1105  | 0.0786  | 0.1595   | 0.1135  | 0.3314 | 0.2358  | 0.6136   | 0.4366  | RM2H            |                |
| 154           | S-M-B            | 0.1105  | 0.0786  | 0.1595   | 0.1135  | 0.2700 | 0.1921  | 0.4664   | 0.3318  | S1L             |                |
| 155           | S-M-M            | 0.1105  | 0.0786  | 0.1718   | 0.1222  | 0.2823 | 0.2008  | 0.4786   | 0.3405  | S1M             |                |
| 156           | S-M-A            | 0.0982  | 0.0699  | 0.1473   | 0.1048  | 0.2700 | 0.1921  | 0.4664   | 0.3318  | S1H             |                |
| 157           | S-MU-B           | 0.1350  | 0.0961  | 0.1718   | 0.1222  | 0.2823 | 0.2008  | 0.4786   | 0.3405  | S2L             |                |
| 158           | S-MU-M           | 0.1227  | 0.0873  | 0.1718   | 0.1222  | 0.3436 | 0.2445  | 0.5768   | 0.4104  | S2M             |                |
| 159           | S-MU-A           | 0.1105  | 0.0786  | 0.1595   | 0.1135  | 0.3559 | 0.2532  | 0.6136   | 0.4366  | S2H             |                |
| 160           | S-D-B            | 0.1227  | 0.0873  | 0.1595   | 0.1135  | 0.2455 | 0.1746  | 0.4418   | 0.3144  | S4L             |                |
| 161           | S-D-M            | 0.1105  | 0.0786  | 0.1595   | 0.1135  | 0.3068 | 0.2183  | 0.5277   | 0.3755  | S4M             |                |
| 162           | S-D-A            | 0.1105  | 0.0786  | 0.1718   | 0.1222  | 0.3314 | 0.2358  | 0.5768   | 0.4104  | S4H             |                |
| 163           | SL-M-B           | 0.0982  | 0.0699  | 0.1227   | 0.0873  | 0.1964 | 0.1397  | 0.3682   | 0.2620  | S3              |                |
| 164           | W-M-B            | 0.2209  | 0.1572  | 0.3559   | 0.2532  | 0.6259 | 0.4453  | 0.9450   | 0.6724  | W1              |                |
| 165           | W-MU-M           | 0.2209  | 0.1572  | 0.3559   | 0.2532  | 0.6259 | 0.4453  | 0.9450   | 0.6724  | W1              |                |

# Anexo 7

Ejemplo de aplicación de los formularios

# FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES

## FORMULARIO 1: DATOS DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD $\psi$

### 1.1 ENCABEZADO

Fecha:  Hora:  ID Estab. de salud (\*):

### 1.2 INFORMACIÓN GENERAL Y UBICACIÓN

|   |                      |   |  |
|---|----------------------|---|--|
| Nombre del establecimiento de salud (*) |                      | Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia                                    |  |
| Persona de contacto                     | Nombre (*)           | Arq. Selma Perera Salazar   |  |
|   | Teléfono             |   |  |
|   | e-mail (*)           | <a href="mailto:sperara@ccss.sa.cr">sperara@ccss.sa.cr</a>                |  |
| Ubicación                               | Provincia (*)        | San José  |  |
|   | Cantón (*)           | San José  |  |
|   | Distrito (*)         | El Carmen   |  |
|   | Dirección exacta (*) | Entre las avenidas 7° y 9° y entre las calles 17 y 19. En Barrio Aranjuez |  |

### 1.3 OFERTA DE SERVICIOS

|                                      |     |                                    |                                     |    |      |
|--------------------------------------|-----|------------------------------------|-------------------------------------|----|------|
| Tipo de establecimiento de salud (*) |     | Hospital nacional general          |                                     |    |      |
| N° edificios del Estab. de salud (*) |     | 6                                  | Porcentaje de ocupación (%)         |    | >85% |
| N° de camas                          | 414 | Cuenta con servicios de emergencia | <input checked="" type="checkbox"/> | Sí | No   |

### 1.4 VISTA EN PLANTA DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD

Croquis (\*)



El establecimiento cuenta con mas edificaciones que requieren ser caracterizadas, en este caso, solo se va a realizar en seis edificaciones.

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 1 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA  $\psi$**

**2.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*): 1.2101

**2.2 IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**

|   |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| Nombre del responsable (*):   | Ing. Javier Castro Gutiérrez                                   |            |  |
| Unidad (*):   | Dirección de Administración de Proyectos Especiales            |            |  |
| Teléfono:   |  | Firma (*): |  |
| Correo (*):   | <a href="mailto:jacastrog@ccss.sa.cr">jacastrog@ccss.sa.cr</a> |            |  |
| Personal de apoyo: Esteban Campos Masis, estudiante de último año de ingeniería en construcción |  |            |  |

**2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

|                                     |  |         |       |           |
|-------------------------------------|--|---------|-------|-----------|
| Nombre del edificio (*):            | Torre Sur  |         |       |           |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*) | Lat:   | 9.93608 | Long: | -84.06943 |
| N° de plano catastrado              | SJ / 331887-79 / 281687-77 / 21463-75 / 50717-83 |         |       |           |

|  |   |                            |         |
|--|---|----------------------------|---------|
| Importancia(*)<br><input checked="" type="radio"/> A<br><input type="radio"/> B<br><input type="radio"/> C<br><input type="radio"/> D<br><input type="radio"/> E | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*)<br><br><input type="radio"/> Antes 1974 <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011<br><input type="radio"/> Entre 1974 y 1986 <input type="radio"/> Después del 2011<br><input checked="" type="radio"/> Entre 1986 y 2003 <input type="radio"/> Sin información | Propiedades geométricas    |         |
|  |   | N° de niveles (*)          | 4       |
|  |   | N° de sótanos (*)          | 1       |
|  |   | Altura por piso (m)        | 4.3     |
|  |   | Frente (m)                 | 48.00   |
|  |   | Fondo (m)                  | 44.75   |
|  |   | Área (m <sup>2</sup> ) (*) | 2148.00 |
| Código sísmico   | Moderado  |                            |         |

**2.4 TERRENO (\*)**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Sitio de cimentación   | Zonificación Sísmica  | Fai |
| <input type="radio"/> S1 <input type="radio"/> S2 <input checked="" type="radio"/> S3 <input type="radio"/> S4 | <input type="radio"/> Zona II <input checked="" type="radio"/> Zona III <input type="radio"/> Zona IV | 1.2 |

**2.5 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL (\*)**

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Material  |  |  |   |
| <input type="radio"/> Concreto reforzado  | <input type="radio"/> Mampostería  | <input type="radio"/> Acero  | <input type="radio"/> Madera                              |
| Sistema estructural   |  |  |   |
| <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Muro<br><input checked="" type="radio"/> Dual  | <input type="radio"/> No reforzada (simple)<br><input type="radio"/> No reforzada confinada<br><input type="radio"/> Reforzada (integral)<br><input type="radio"/> Reforzada confinada | <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Marco arriostrado<br><input type="radio"/> Dual mixto                                   | <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Muro |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado   |  | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frío   |   |
| <input type="radio"/> Otro:   | Material   | Sistema estructural  |   |
| Estructura de entrepiso (*)(**)   |  | Estructura de techo (*)(**)  |   |
| Concreto <input type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input checked="" type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |  | <input checked="" type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |   |
| Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta<br><input type="radio"/> Otros:   |  | Código tipología   |   |
|   |  | CR-D-M   |   |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

## 2.6 CURVA DE FRAGILIDAD

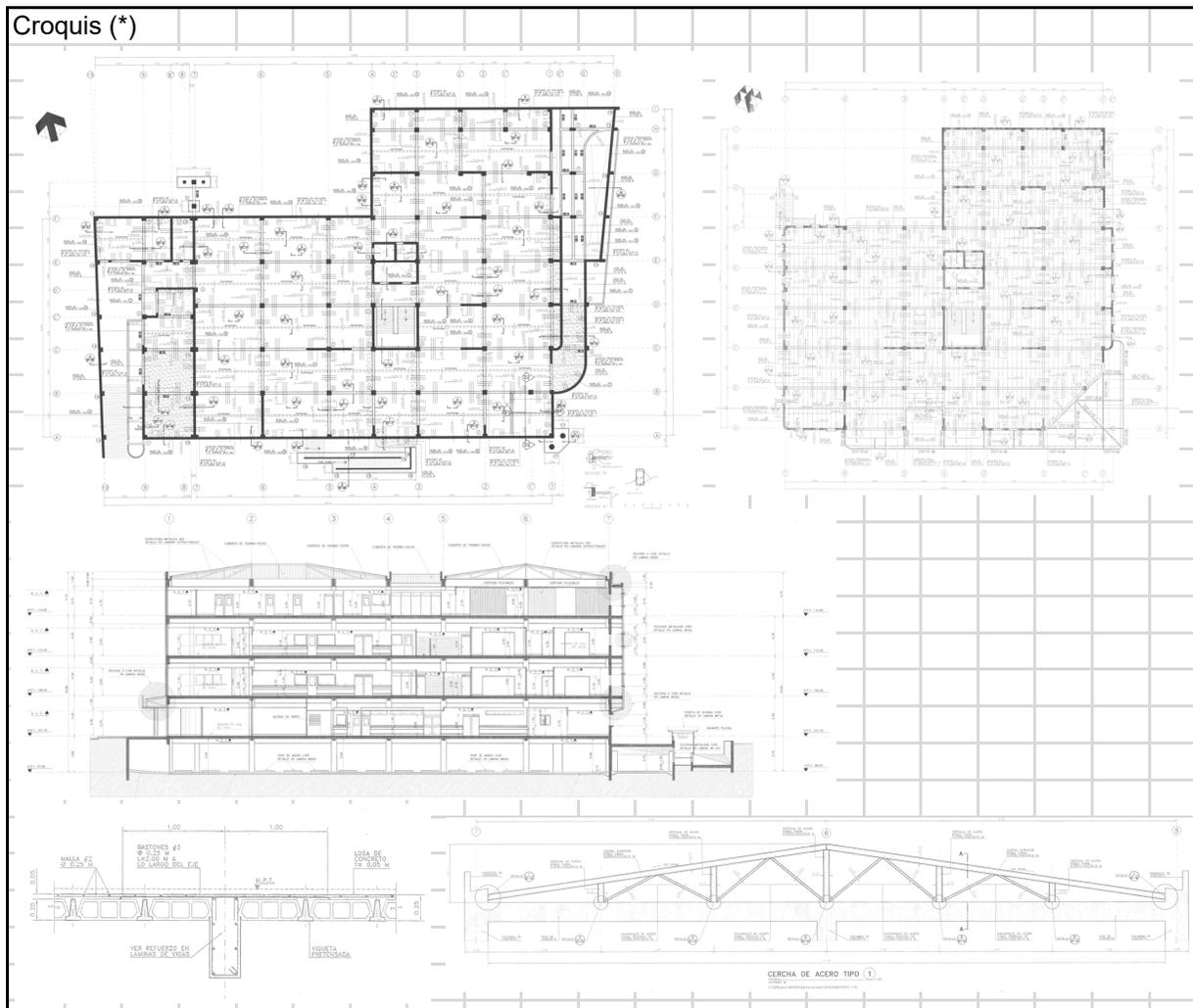
| N° fragilidad | IM  | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|-----|--------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |     | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| 74            | PGA | 0.0840 | 0.0535  | 0.2952   | 0.1910  | 0.7380 | 0.4775  | 1.3578   | 0.8790  |

## 2.7 REGISTRO FOTOGRAFICO Y PLANOS

|             |   |                 |   |                |   |                        |
|-------------|---|-----------------|---|----------------|---|------------------------|
| Fotografías | X | Fachadas        |   | Vista interior |   | Detalles estructurales |
| Planos      | X | Arquitectónicos | X | Estructurales  | X | Electromecánicos       |

## 2.8 CROQUIS DEL EDIFICIO

Croquis (\*)



## 2.9 COMENTARIOS (Amplíe con observaciones)

-No se ingreso a la edificación debido a que esta cuenta planos constructivos tanto arquitectónicos, estructurales y mecánicos, por lo que, la identificación de las características se realizo haciendo uso de los planos.

-Se indican dos croquis de plantas estructurales obtenidas de los planos estructurales donde la primera corresponde a la planta del primer nivel y la siguiente la del segundo nivel ambas con la presencia de columnas, vigas y muros de concreto reforzado. Además se incluye una elevación con el número de niveles y detalles de la estructura de piso y techo.

-El sitio de cimentación fue asumido de S3, aunque existen estudios de suelos alrededor del edificio Histórico donde lo consideran S3.

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA  $\psi$**

**2.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*): 1.2101

**2.2 IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**

|   |   |            |  |
|---|---|------------|--|
| Nombre del responsable (*):   | Ing. Javier Castro Gutiérrez                        |            |  |
| Unidad (*):   | Dirección de Administración de Proyectos Especiales |            |  |
| Teléfono:   |   | Firma (*): |  |
| Correo (*):   | jacastrog@ccss.sa.cr                                |            |  |
| Personal de apoyo: Esteban Campos Masis, estudiante de último año de ingeniería en construcción |   |            |  |

**2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

|                                      |                            |         |                 |
|--------------------------------------|----------------------------|---------|-----------------|
| Nombre del edificio (*):             | Casa de maquinas mecánicas |         |                 |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*): | Lat:                       | 9.93669 | Long: -84.06904 |
| N° de plano catastrado               |                            |         |                 |

| Importancia(*)                     | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*)   | Propiedades geométricas    |        |
|------------------------------------|---|----------------------------|--------|
|                                    |   | N° de niveles (*)          | 1      |
| <input checked="" type="radio"/> A | <input type="radio"/> Antes 1974 <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011<br><input type="radio"/> Entre 1974 y 1986 <input type="radio"/> Después del 2011<br><input type="radio"/> Entre 1986 y 2003 <input type="radio"/> Sin información | N° de sótanos (*)          | -      |
| <input type="radio"/> B            |   | Altura por piso (m)        | -      |
| <input type="radio"/> C            |   | Frente (m)                 | 10.50  |
| <input type="radio"/> D            |   | Fondo (m)                  | 34.00  |
| <input type="radio"/> E            |   | Área (m <sup>2</sup> ) (*) | 357.00 |
| Código sísmico                     |   | Bajo                       |        |

**2.4 TERRENO (\*)**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Sitio de cimentación   | Zonificación Sísmica  | Fai |
| <input type="radio"/> S1 <input type="radio"/> S2 <input checked="" type="radio"/> S3 <input type="radio"/> S4 | <input type="radio"/> Zona II <input checked="" type="radio"/> Zona III <input type="radio"/> Zona IV | 1.2 |

**2.5 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL (\*)**

| Material   |  |  |                              |
|--|--|--|------------------------------|
| <input type="radio"/> Concreto reforzado   | <input type="radio"/> Mampostería                    | <input type="radio"/> Acero  | <input type="radio"/> Madera |
| Sistema estructural  |  |  |                              |
| <input type="radio"/> Marco  | <input type="radio"/> No reforzada (simple)          | <input type="radio"/> Marco  | <input type="radio"/> Marco  |
| <input type="radio"/> Muro   | <input type="radio"/> No reforzada confinada         | <input type="radio"/> Marco arriostrado  | <input type="radio"/> Muro   |
| <input type="radio"/> Dual   | <input type="radio"/> Reforzada (integral)           | <input type="radio"/> Dual mixto   |                              |
|  | <input checked="" type="radio"/> Reforzada confinada |  |                              |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado  |  | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frio   |                              |
| <input type="radio"/> Otro:  | Material   | Sistema estructural  |                              |
| Estructura de entrepiso (*)(**)  |  | Estructura de techo (*)(**)  |                              |
| <input type="radio"/> Concreto <input type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |  | <input checked="" type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |                              |
| <input type="radio"/> Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta  |  | Código tipología   |                              |
| <input checked="" type="radio"/> Otros:  |  | No tiene   |                              |
|  |  | M-RC-B   |                              |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

## 2.6 CURVA DE FRAGILIDAD

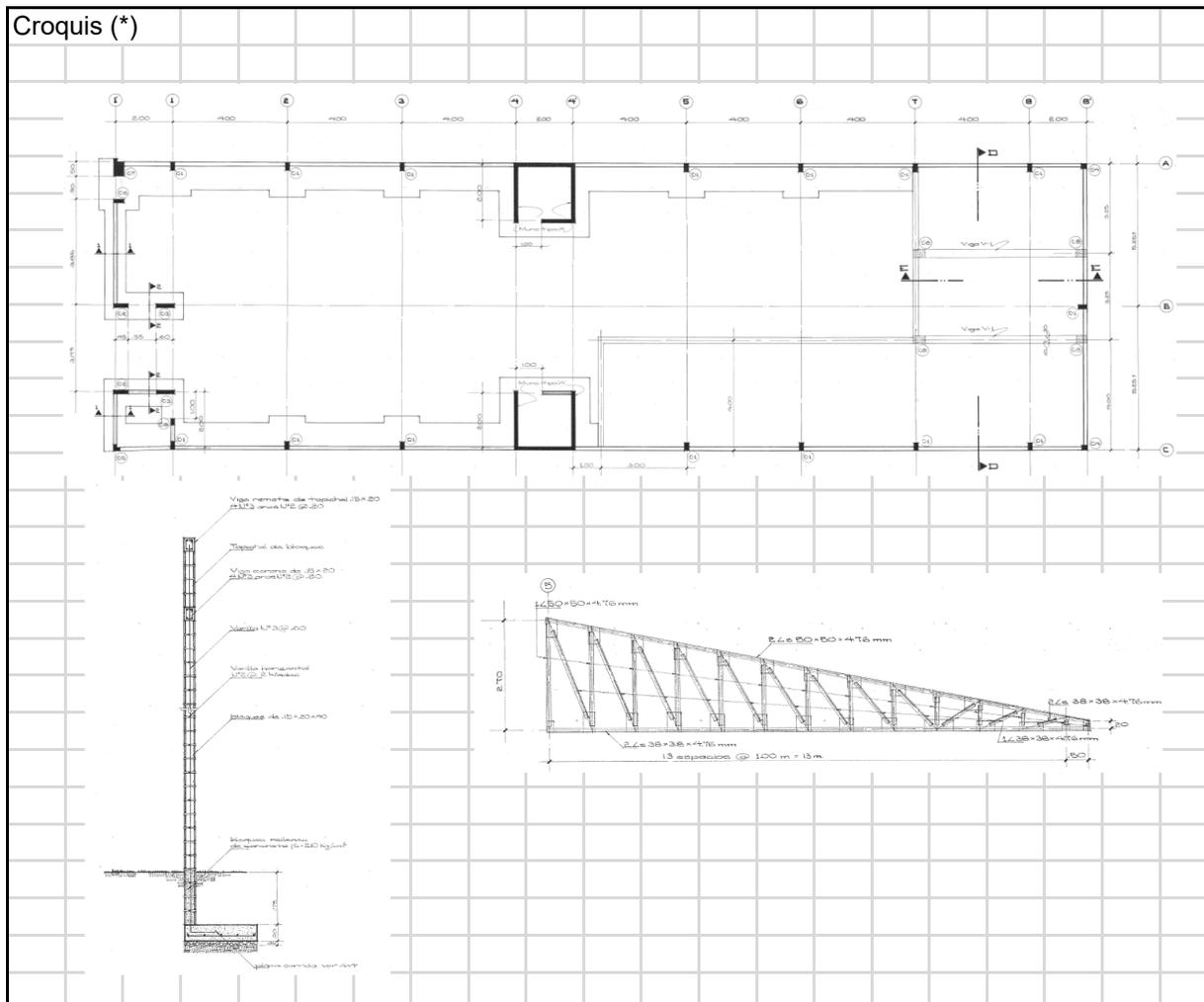
| N° fragilidad | IM  | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|-----|--------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |     | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| 118           | PGA | 0.2062 | 0.1222  | 0.2651   | 0.1572  | 0.4123 | 0.2445  | 0.7511   | 0.4453  |

## 2.7 REGISTRO FOTOGRAFICO Y PLANOS

|             |   |                 |   |                |   |                        |
|-------------|---|-----------------|---|----------------|---|------------------------|
| Fotografías | X | Fachadas        | X | Vista interior | X | Detalles estructurales |
| Planos      | X | Arquitectónicos | X | Estructurales  | X | Electromecánicos       |

## 2.8 CROQUIS DEL EDIFICIO

Croquis (\*)



## 2.9 COMENTARIOS (Amplíe con observaciones)

-Se tuvo permiso para ingresar a la edificación y poder tomar fotos del interior (01.2101-02\_02 y 03) donde se muestran los equipos mecánicos para las instalaciones esenciales, por lo que, la importancia se consideró en el grupo A. Se tomó fotos del sistema estructural (01.2101-02\_04).

-La edificación cuenta con nuevas construcciones aldañas que no se consideraron para el selección de la tipología estructural. También, el año de la edificación fue consultada con la persona de contacto que atendió la visita y además, se pudo verificar en planos constructivos.

-El croquis fue tomado de los planos constructivos y también se incluyó un detalle de pared y parte de la estructura de techo.

-El sitio de cimentación fue asumido de S3, aunque existen estudios de suelos alrededor del edificio Histórico donde lo consideran S3.

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA  $\psi$**

**2.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*): 1.2101

**2.2 IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**

|   |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| Nombre del responsable (*):   | Ing. Javier Castro Gutiérrez                                   |            |  |
| Unidad (*):   | Dirección de Administración de Proyectos Especiales            |            |  |
| Teléfono:   |  | Firma (*): |  |
| Correo (*):   | <a href="mailto:jacastrog@ccss.sa.cr">jacastrog@ccss.sa.cr</a> |            |  |
| Personal de apoyo: Esteban Campos Masis, estudiante de último año de ingeniería en construcción |  |            |  |

**2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

|                                     |                 |        |           |
|-------------------------------------|-----------------|--------|-----------|
| Nombre del edificio (*):            | Torre Este      |        |           |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*) | Lat:            | 9.9371 | Long:     |
|                                     |                 |        | -84.06902 |
| N° de plano catastrado              | SJ-1130846-2007 |        |           |

|  |   |                            |         |
|--|---|----------------------------|---------|
| Importancia(*)<br><input checked="" type="radio"/> A<br><input type="radio"/> B<br><input type="radio"/> C<br><input type="radio"/> D<br><input type="radio"/> E | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*)<br><input type="radio"/> Antes 1974 <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011<br><input type="radio"/> Entre 1974 y 1986 <input checked="" type="radio"/> Después del 2011<br><input type="radio"/> Entre 1986 y 2003 <input type="radio"/> Sin información | Propiedades geométricas    |         |
|  |   | N° de niveles (*)          | 6       |
|  |   | N° de sótanos (*)          | 1       |
|  |   | Altura por piso (m)        | 4.5     |
|  |   | Frente (m)                 | 49.05   |
|  |   | Fondo (m)                  | 61.35   |
|  |   | Área (m <sup>2</sup> ) (*) | 3009.22 |
| Código sísmico   | Alto  |                            |         |

**2.4 TERRENO (\*)**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Sitio de cimentación   | Zonificación Sísmica  | Fai |
| <input type="radio"/> S1 <input type="radio"/> S2 <input checked="" type="radio"/> S3 <input type="radio"/> S4 | <input type="radio"/> Zona II <input checked="" type="radio"/> Zona III <input type="radio"/> Zona IV | 1   |

**2.5 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL (\*)**

|   |  |  |   |
|---|--|--|---|
| Material  |  |  |   |
| <input type="radio"/> Concreto reforzado  | <input type="radio"/> Mampostería  | <input type="radio"/> Acero  | <input type="radio"/> Madera                              |
| Sistema estructural   |  |  |   |
| <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Muro<br><input checked="" type="radio"/> Dual  | <input type="radio"/> No reforzada (simple)<br><input type="radio"/> No reforzada confinada<br><input type="radio"/> Reforzada (integral)<br><input type="radio"/> Reforzada confinada | <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Marco arriostrado<br><input type="radio"/> Dual mixto                                   | <input type="radio"/> Marco<br><input type="radio"/> Muro |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado   |  | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frio   |   |
| <input type="radio"/> Otro:   | Material   | Sistema estructural  |   |
| Estructura de entrepiso (*)(**)   |  | Estructura de techo (*)(**)  |   |
| Concreto <input type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input checked="" type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |  | <input checked="" type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |   |
| Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta<br><input type="radio"/> Otro:  |  | Código tipología   |   |
|   |  | CD-D-M   |   |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

## 2.6 CURVA DE FRAGILIDAD

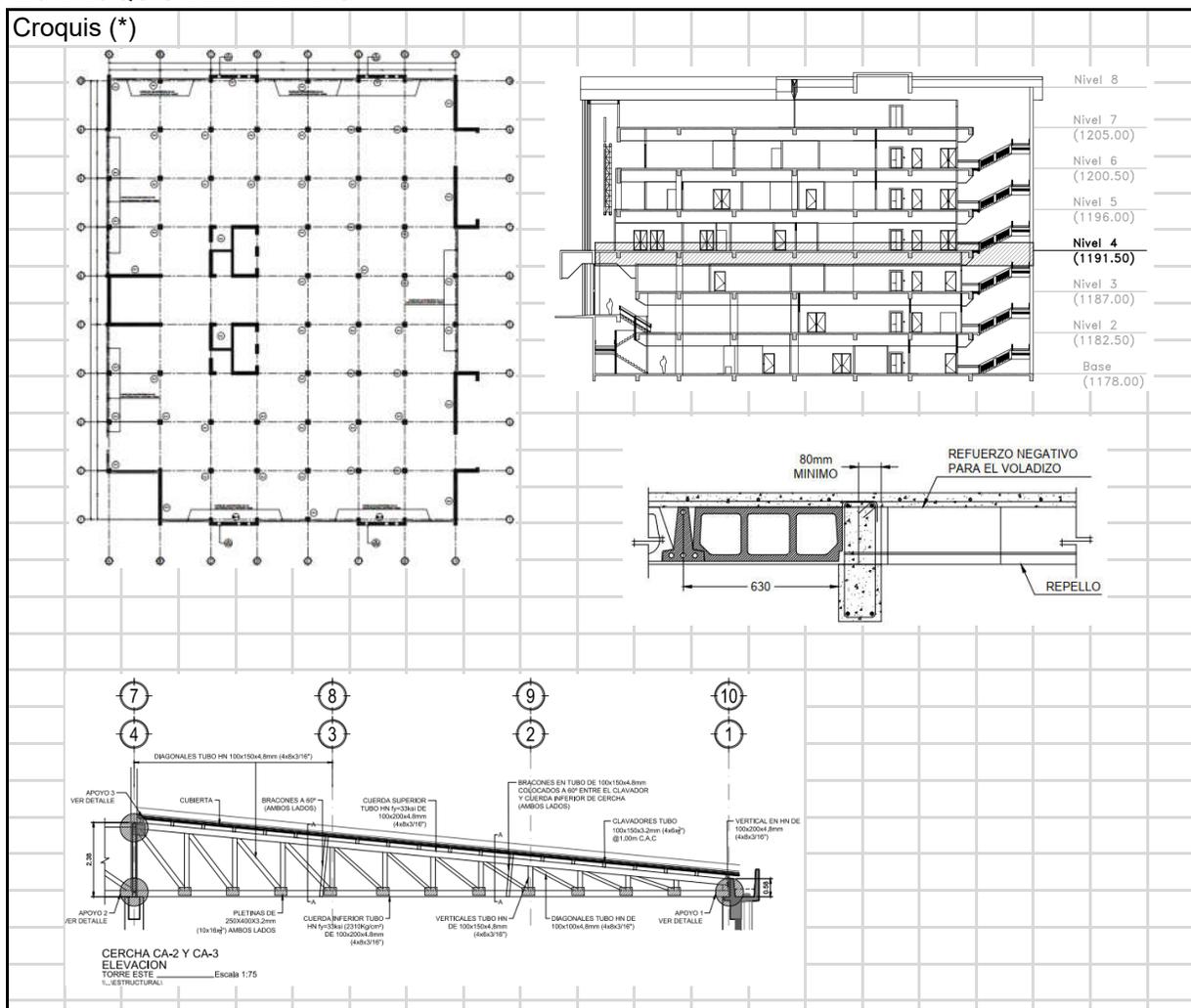
| N° fragilidad | IM  | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|-----|--------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |     | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| 8             | PGA | 0.0970 | 0.3300  | 0.1390   | 0.3000  | 0.6160 | 1.2100  | 2.2450   | 1.1600  |

## 2.7 REGISTRO FOTOGRAFICO Y PLANOS

|             |   |                 |   |                |   |                        |
|-------------|---|-----------------|---|----------------|---|------------------------|
| Fotografías | X | Fachadas        |   | Vista interior |   | Detalles estructurales |
| Planos      | X | Arquitectónicos | X | Estructurales  | X | Electromecánicos       |

## 2.8 CROQUIS DEL EDIFICIO

Croquis (\*)



## 2.9 COMENTARIOS (Amplíe con observaciones)

-No se ingreso a la edificación debido a que esta cuenta planos constructivos tanto arquitectónicos, estructurales y mecánicos, por lo que, la identificación de las características se realizo haciendo uso de los planos.

-Se indican dos croquis, uno de la planta estructural obtenida de los planos estructurales donde se muestra el tercer piso con la presencia de columnas, vigas y muros de concreto reforzado. Además se incluye una elevación con el número de niveles y detalles de la estructura de piso y techo.

-El sitio de cimentación fue asumido de S3, aunque existen estudios de suelos alrededor del edificio Historico donde lo consideran S3.

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA  $\psi$**

**2.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*): 1.2101

**2.2 IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**

|   |   |            |  |
|---|---|------------|--|
| Nombre del responsable (*):   | Ing. Javier Castro Gutiérrez                        |            |  |
| Unidad (*):   | Dirección de Administración de Proyectos Especiales |            |  |
| Teléfono:   |   | Firma (*): |  |
| Correo (*):   | jacastrog@ccss.sa.cr                                |            |  |
| Personal de apoyo: Esteban Campos Masis, estudiante de último año de ingeniería en construcción |   |            |  |

**2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

|                                     |             |         |       |           |
|-------------------------------------|-------------|---------|-------|-----------|
| Nombre del edificio (*):            | Torre Norte |         |       |           |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*) | Lat:        | 9.93739 | Long: | -84.06961 |
| N° de plano catastrado              |             |         |       |           |

| Importancia(*)                     | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*)   | Propiedades geométricas    |         |
|------------------------------------|---|----------------------------|---------|
|                                    |   | N° de niveles (*)          | 5       |
| <input checked="" type="radio"/> A | <input type="radio"/> Antes 1974 <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011<br><input type="radio"/> Entre 1974 y 1986 <input type="radio"/> Después del 2011<br><input type="radio"/> Entre 1986 y 2003 <input type="radio"/> Sin información | N° de sótanos (*)          | 0       |
| <input type="radio"/> B            |   | Altura por piso (m)        | 4       |
| <input type="radio"/> C            |   | Frente (m)                 | 37.50   |
| <input type="radio"/> D            |   | Fondo (m)                  | 72.00   |
| <input type="radio"/> E            |   | Área (m <sup>2</sup> ) (*) | 2700.00 |
| Código sísmico                     |   | Bajo                       |         |

**2.4 TERRENO (\*)**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Sitio de cimentación   | Zonificación Sísmica  | Fai |
| <input type="radio"/> S1 <input type="radio"/> S2 <input checked="" type="radio"/> S3 <input type="radio"/> S4 | <input type="radio"/> Zona II <input checked="" type="radio"/> Zona III <input type="radio"/> Zona IV | 1.2 |

**2.5 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL (\*)**

| Material  |  |  |                              |
|---|--|--|------------------------------|
| <input type="radio"/> Concreto reforzado  | <input type="radio"/> Mampostería            | <input type="radio"/> Acero  | <input type="radio"/> Madera |
| Sistema estructural   |  |  |                              |
| <input checked="" type="radio"/> Marco  | <input type="radio"/> No reforzada (simple)  | <input type="radio"/> Marco  | <input type="radio"/> Marco  |
| <input type="radio"/> Muro  | <input type="radio"/> No reforzada confinada | <input type="radio"/> Marco arriostrado  | <input type="radio"/> Muro   |
| <input type="radio"/> Dual  | <input type="radio"/> Reforzada (integral)   | <input type="radio"/> Dual mixto   |                              |
|   | <input type="radio"/> Reforzada confinada    |  |                              |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado   |  | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frío   |                              |
| <input type="radio"/> Otro:   | Material                                     | Sistema estructural  |                              |
| Estructura de entrepiso (*)(**)   |  | Estructura de techo (*)(**)  |                              |
| <input type="radio"/> Concreto <input type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input checked="" type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |  | <input checked="" type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |                              |
| <input type="radio"/> Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta<br><input type="radio"/> Otros:   |  | Código tipología   |                              |
|   |  | CR-M-M   |                              |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

## 2.6 CURVA DE FRAGILIDAD

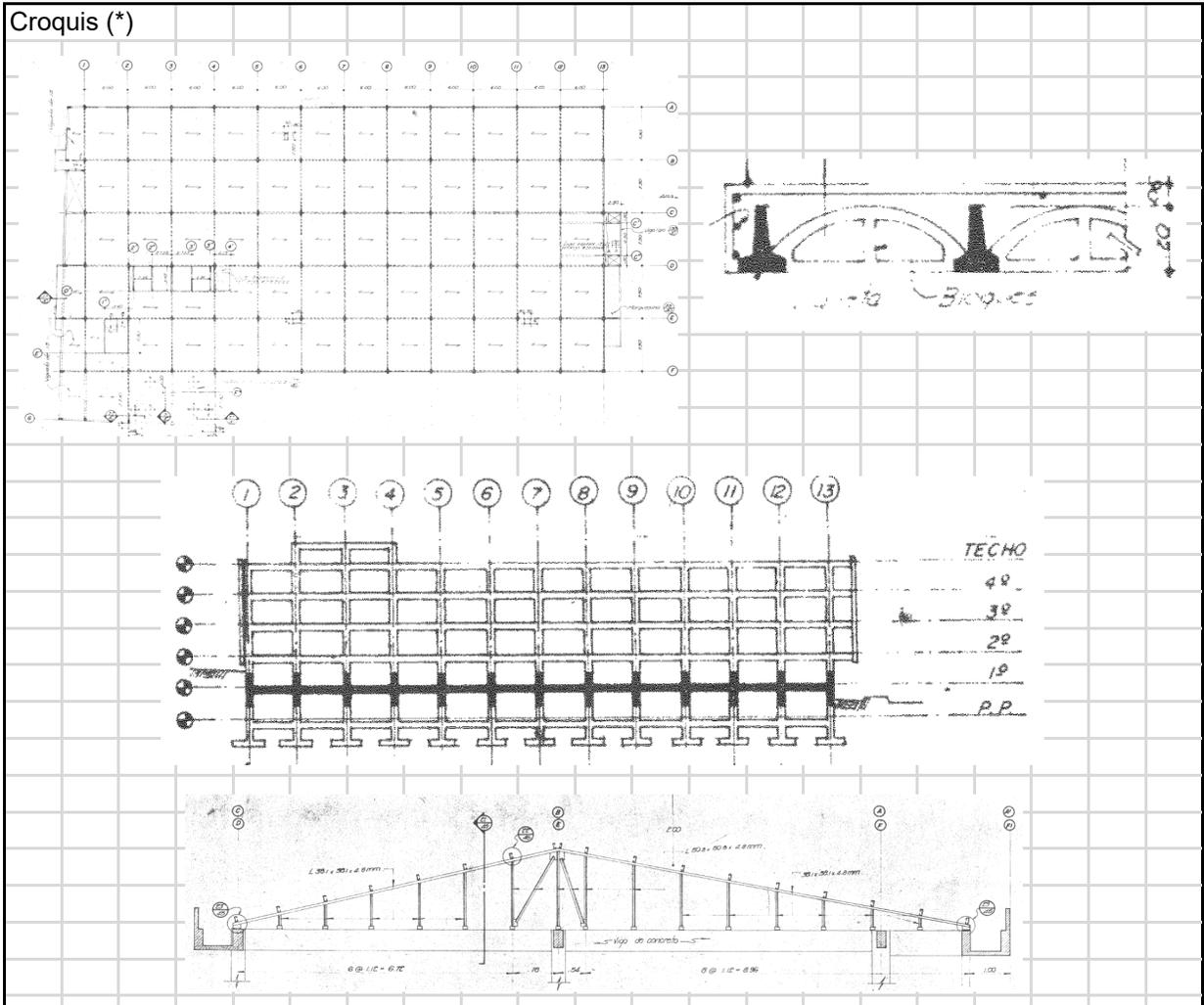
| N° fragilidad | IM  | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|-----|--------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |     | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| 101           | PGA | 0.1768 | 0.1048  | 0.2503   | 0.1484  | 0.4712 | 0.2794  | 0.7952   | 0.4715  |

## 2.7 REGISTRO FOTOGRAFICO Y PLANOS

|             |   |                 |   |                |   |                        |
|-------------|---|-----------------|---|----------------|---|------------------------|
| Fotografías | X | Fachadas        |   | Vista interior |   | Detalles estructurales |
| Planos      | X | Arquitectónicos | X | Estructurales  | X | Electromecánicos       |

## 2.8 CROQUIS DEL EDIFICIO

Croquis (\*)



## 2.9 COMENTARIOS (Amplíe con observaciones)

-No se ingreso a la edificación debido a que esta cuenta planos constructivos tanto arquitectónicos, estructurales y mecánicos, por lo que, la identificación de las características se realizo haciendo uso de los planos.

-Se indican dos croquis, uno de la planta estructural obtenida de los planos estructurales donde se muestra el tercer piso con la presencia de columnas y vigas. Además se incluye una elevación con el número de niveles y detalles de la estructura de piso y techo.

-El sitio de cimentación fue asumido de S3, aunque existen estudios de suelos alrededor del edificio Historico donde lo consideran S3.

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA  $\psi$**

**2.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*): 1.2101

**2.2 IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**

|   |  |            |  |
|---|--|------------|--|
| Nombre del responsable (*):   | Ing. Javier Castro Gutiérrez                                   |            |  |
| Unidad (*):   | Dirección de Administración de Proyectos Especiales            |            |  |
| Teléfono:   |  | Firma (*): |  |
| Correo (*):   | <a href="mailto:jacastrog@ccss.sa.cr">jacastrog@ccss.sa.cr</a> |            |  |
| Personal de apoyo: Esteban Campos Masis, estudiante de último año de ingeniería en construcción |  |            |  |

**2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

|                                     |                 |         |       |           |
|-------------------------------------|-----------------|---------|-------|-----------|
| Nombre del edificio (*):            | Nutrición       |         |       |           |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*) | Lat:            | 9.93619 | Long: | -84.07005 |
| N° de plano catastrado              | SJ-0887072-2003 |         |       |           |

|  |   |   |                            |            |       |
|--|---|---|----------------------------|------------|-------|
| Importancia(*)<br><input checked="" type="radio"/> A<br><input type="radio"/> B<br><input type="radio"/> C<br><input type="radio"/> D<br><input type="radio"/> E | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*) |   | Propiedades geométricas    |            |       |
|  | <input type="radio"/> Antes 1974                                      | <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011           | N° de niveles (*)          | 3          |       |
|  | <input type="radio"/> Entre 1974 y 1986                               | <input checked="" type="radio"/> Después del 2011 | N° de sótanos (*)          | 0          |       |
|  | <input type="radio"/> Entre 1986 y 2003                               | <input type="radio"/> Sin información             | Altura por piso (m)        | 4.2        |       |
|  | Código sísmico  |   | Alto                       | Frente (m) | 35.12 |
|  |   |   |                            | Fondo (m)  | 56.72 |
|  |   |   | Área (m <sup>2</sup> ) (*) | 1992.01    |       |

**2.4 TERRENO (\*)**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Sitio de cimentación   | Zonificación Sísmica  | Fai |
| <input type="radio"/> S1 <input type="radio"/> S2 <input checked="" type="radio"/> S3 <input type="radio"/> S4 | <input type="radio"/> Zona II <input checked="" type="radio"/> Zona III <input type="radio"/> Zona IV | 1.2 |

**2.5 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL (\*)**

|   |  |  |                              |
|---|--|--|------------------------------|
| Material  |  |  |                              |
| <input type="radio"/> Concreto reforzado  | <input type="radio"/> Mampostería            | <input type="radio"/> Acero  | <input type="radio"/> Madera |
| Sistema estructural   |  |  |                              |
| <input type="radio"/> Marco   | <input type="radio"/> No reforzada (simple)  | <input type="radio"/> Marco  | <input type="radio"/> Marco  |
| <input type="radio"/> Muro  | <input type="radio"/> No reforzada confinada | <input type="radio"/> Marco arriostrado  | <input type="radio"/> Muro   |
| <input checked="" type="radio"/> Dual   | <input type="radio"/> Reforzada (integral)   | <input type="radio"/> Dual mixto   |                              |
|   | <input type="radio"/> Reforzada confinada    |  |                              |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado   |  | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frío   |                              |
| <input type="radio"/> Otro:   | Material                                     | Sistema estructural  |                              |
| Estructura de entrepiso (*)(**)   |  | Estructura de techo (*)(**)  |                              |
| <input type="radio"/> Concreto <input type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input checked="" type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |  | <input checked="" type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |                              |
| <input type="radio"/> Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta<br><input type="radio"/> Otros:   |  | Código tipología   |                              |
|   |  | CR-D-B   |                              |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

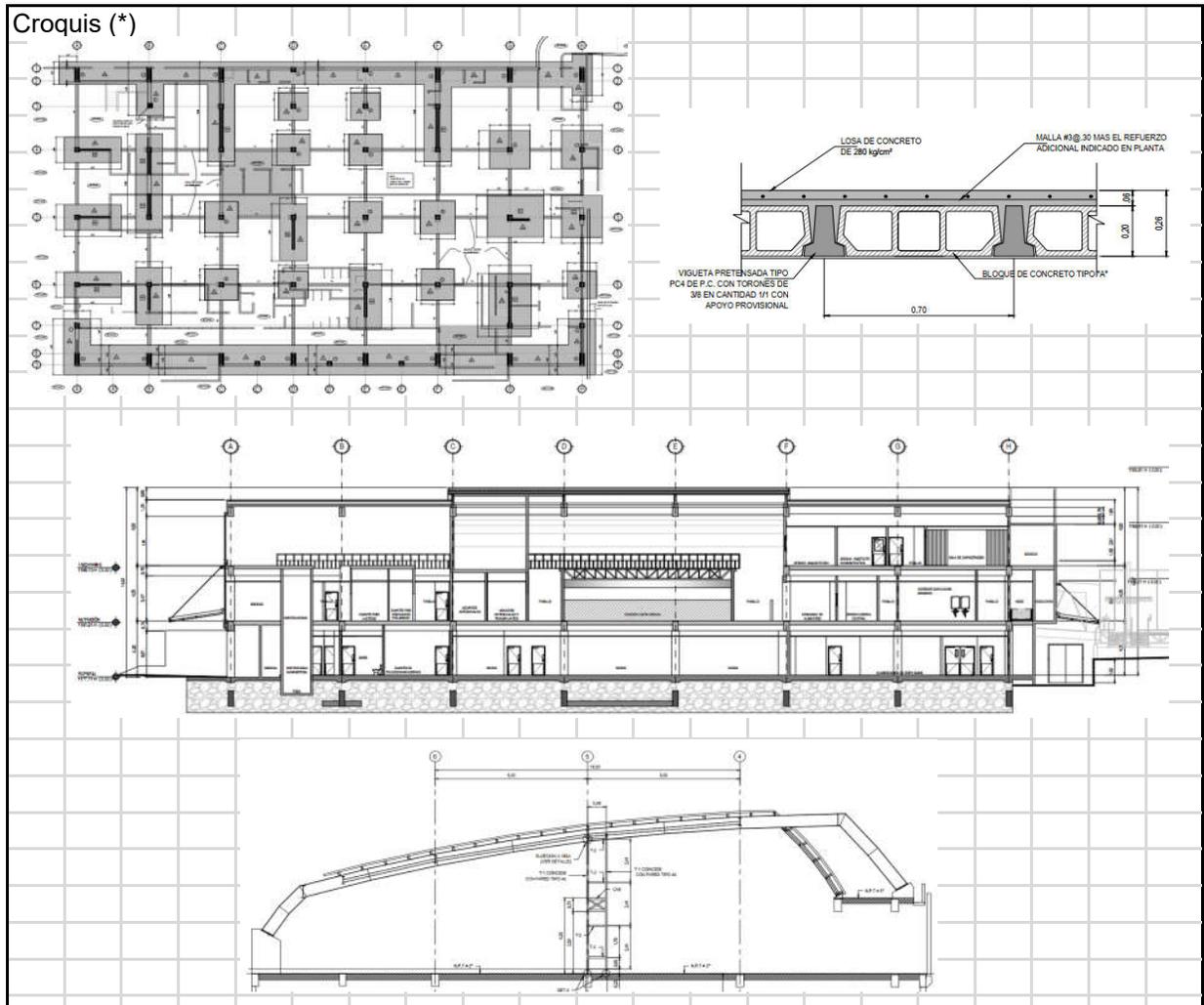
## 2.6 CURVA DE FRAGILIDAD

| N° fragilidad | IM  | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|-----|--------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |     | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| 40            | PGA | 0.3228 | 0.2320  | 0.7236   | 0.5210  | 1.9608 | 1.4110  | 2.3880   | 1.7180  |

## 2.7 REGISTRO FOTOGRAFICO Y PLANOS

|             |   |                 |   |                |   |                        |
|-------------|---|-----------------|---|----------------|---|------------------------|
| Fotografías | X | Fachadas        |   | Vista interior |   | Detalles estructurales |
| Planos      | X | Arquitectónicos | X | Estructurales  | X | Electromecánicos       |

## 2.8 CROQUIS DEL EDIFICIO



## 2.9 COMENTARIOS (Amplíe con observaciones)

- No se ingreso a la edificación debido a que esta cuenta planos constructivos tanto arquitectónicos y estructurales, por lo que, la identificación de las características se realizo haciendo uso de los planos.
- Se indican dos croquis, uno de la planta estructural obtenida de los planos estructurales donde se muestra el tercer piso con la presencia de columnas, vigas y muros. Además se incluye una elevación con el número de niveles y detalles de la estructura de piso y techo.
- El sitio de cimentación fue asumido de S3, aunque existen estudios de suelos alrededor del edificio Historico donde lo consideran S3.

**FORMULARIOS PARA LA CARACTERIZACIÓN DE LA VULNERABILIDAD SÍSMICA DE EDIFICACIONES**

**FORMULARIO 2: DATOS DE LA ESTRUCTURA  $\psi$**

**2.1 ENCABEZADO**

Fecha:  Hora:  N° formulario (\*): 1.2101

**2.2 IDENTIFICACIÓN DEL INSPECTOR**

|   |   |            |  |
|---|---|------------|--|
| Nombre del responsable (*):   | Ing. Javier Castro Gutiérrez                        |            |  |
| Unidad (*):   | Dirección de Administración de Proyectos Especiales |            |  |
| Teléfono:   |   | Firma (*): |  |
| Correo (*):   | jacastrog@ccss.sa.cr                                |            |  |
| Personal de apoyo: Esteban Campos Masis, estudiante de último año de ingeniería en construcción |   |            |  |

**2.3 IDENTIFICACIÓN DE LA EDIFICACIÓN**

|                                     |           |         |       |          |
|-------------------------------------|-----------|---------|-------|----------|
| Nombre del edificio (*):            | Histórico |         |       |          |
| Coordenadas geográficas (WGS 84)(*) | Lat:      | 9.93678 | Long: | -84.0695 |
| N° de plano catastrado              |           |         |       |          |

| Importancia(*)                     | Año o periodo de construcción (o del último año de reforzamiento) (*)               | Propiedades geométricas    |         |
|------------------------------------|---|----------------------------|---------|
|                                    |   | N° de niveles (*)          | 2       |
| <input checked="" type="radio"/> A | <input checked="" type="radio"/> Antes 1974 <input type="radio"/> Entre 2003 y 2011 | N° de sótanos (*)          | 0       |
| <input type="radio"/> B            | <input type="radio"/> Entre 1974 y 1986 <input type="radio"/> Después del 2011      | Altura por piso (m)        | 3.8     |
| <input type="radio"/> C            | <input type="radio"/> Entre 1986 y 2003 <input type="radio"/> Sin información       | Frente (m)                 |         |
| <input type="radio"/> D            |   | Fondo (m)                  |         |
| <input type="radio"/> E            |   | Área (m <sup>2</sup> ) (*) | 2600.00 |
| Código sísmico                     |   | Pre-código                 |         |

**2.4 TERRENO (\*)**

|  |   |     |
|--|---|-----|
| Sitio de cimentación   | Zonificación Sísmica  | Fai |
| <input type="radio"/> S1 <input type="radio"/> S2 <input checked="" type="radio"/> S3 <input type="radio"/> S4 | <input type="radio"/> Zona II <input checked="" type="radio"/> Zona III <input type="radio"/> Zona IV | 1.2 |

**2.5 TIPOLOGÍA ESTRUCTURAL (\*)**

| Material  |   |  |                              |
|---|---|--|------------------------------|
| <input type="radio"/> Concreto reforzado  | <input type="radio"/> Mampostería                       | <input type="radio"/> Acero  | <input type="radio"/> Madera |
| Sistema estructural   |   |  |                              |
| <input type="radio"/> Marco   | <input type="radio"/> No reforzada (simple)             | <input type="radio"/> Marco  | <input type="radio"/> Marco  |
| <input type="radio"/> Muro  | <input checked="" type="radio"/> No reforzada confinada | <input type="radio"/> Marco arriostrado  | <input type="radio"/> Muro   |
| <input type="radio"/> Dual  | <input type="radio"/> Reforzada (integral)              | <input type="radio"/> Dual mixto   |                              |
|   | <input type="radio"/> Reforzada confinada               |  |                              |
| <input type="radio"/> Estructura de concreto prefabricado   |   | <input type="radio"/> Estructura de acero laminado en frío   |                              |
| <input type="radio"/> Otro:   | Material  | Sistema estructural  |                              |
| Estructura de entrepiso (*)(**)   |   | Estructura de techo (*)(**)  |                              |
| Concreto <input checked="" type="radio"/> Losa monolítica<br><input type="radio"/> Losa nervada en dos direcciones<br><input type="radio"/> Viguetas<br><input type="radio"/> Losa multitubular |   | <input checked="" type="radio"/> Estructura metálica<br><input type="radio"/> Estructura de madera<br><input type="radio"/> Losa de concreto |                              |
| Acero <input type="radio"/> Steel deck <input type="radio"/> Viga mixta   |   | Código tipología   |                              |
| <input type="radio"/> Otros:  |   | M-NRC-B  |                              |

$\psi$  Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

## 2.6 CURVA DE FRAGILIDAD

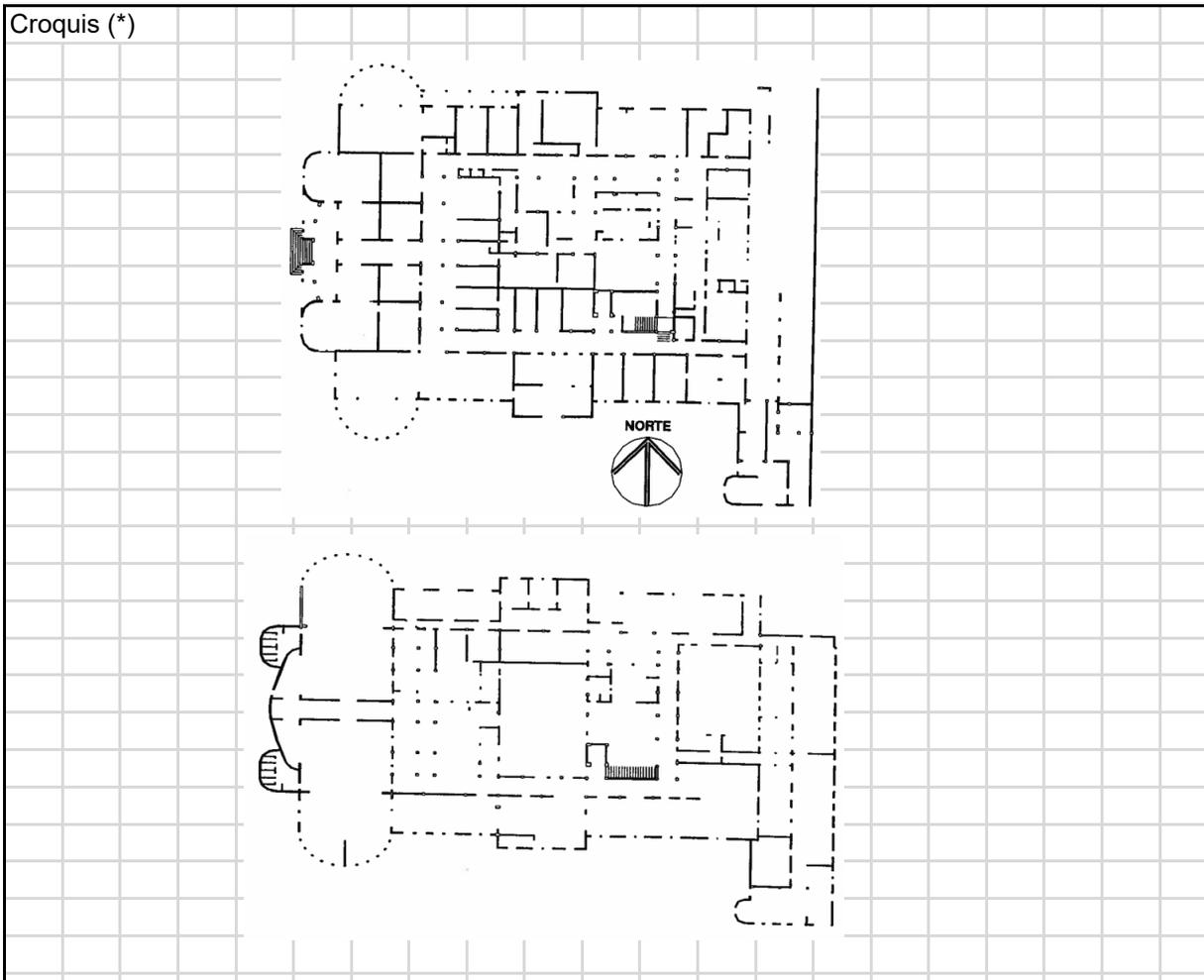
| N° fragilidad | IM  | Leve   |         | Moderado |         | Severo |         | Completo |         |
|---------------|-----|--------|---------|----------|---------|--------|---------|----------|---------|
|               |     | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ | $\mu$  | $\beta$ | $\mu$    | $\beta$ |
| 146           | PGA | 0.1472 | 0.0873  | 0.2062   | 0.1222  | 0.3092 | 0.1834  | 0.5154   | 0.3056  |

## 2.7 REGISTRO FOTOGRAFICO Y PLANOS

|             |   |                 |   |                |   |                        |
|-------------|---|-----------------|---|----------------|---|------------------------|
| Fotografías | X | Fachadas        | X | Vista interior | X | Detalles estructurales |
| Planos      |   | Arquitectónicos |   | Estructurales  |   | Electromecánicos       |

## 2.8 CROQUIS DEL EDIFICIO

Croquis (\*)



## 2.9 COMENTARIOS (Amplíe con observaciones)

-La edificación no cuenta con planos estructurales, sin embargo cuenta con un estudio de vulnerabilidad sísmica (N EMER-009-2006) realizado en el 2002 donde se extrajo los croquis de las plantas del primer y segundo nivel. Además, se ingreso a la edificación con el personal de contacto para la verificación de la tipología estructural.

-El estudio de vulnerabilidad sísmica indica que el sistema sismorresistente principal es de muros de marcos de concreto reforzado rellenos de mampostería de arcilla sólida (Fotos 01.2101-06\_06 y 07). El tipo de suelo corresponde a S3. El entrepiso esta conformado principalmente por losas macizas de concreto reforzado y la estructura de techo era de madera, pero ha ido cambiando por metálica.

-Se han realizado varias trabajos de remodelación y ampliaciones donde se han abierto buques de ventanas y puertas en las paredes de mampostería, sin afectar el sistema estructural indicado por la persona de contacto.

ψ Ver las instrucciones para rellenar en la sección 2 del capítulo 3 de la guía.

(\*) Campos obligatorios a rellenar.

## LISTA DE VERIFICACIÓN DE MATERIALES Y EQUIPOS

Fecha: 13 / 12 / 2021 Hora: 1:30

|  |  |
|--|--|
| Nombre del Inspector (*):                | Ing. Javier Castro Gutiérrez           |
| Nombre del establecimiento de salud (*): | Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia |

| Elementos  | Lista de verificación (✓) o no aplica (NA) |
|--|--|
| <b>Artículos personales</b>  |  |
| Cédula de identidad  | ✓  |
| Carné institucional  | NA   |
| Equipo de seguridad básico (casco, chaleco reflectante, zapatos de seguridad y anteojos)                   | NA   |
| <b>Material y equipo</b>   |  |
| Planos de la zona a inspeccionar   | ✓  |
| Copia de la "Guía para la caracterización de la vulnerabilidad sísmica de la infraestructura hospitalaria" | ✓  |
| Copia de los formularios 1 y 2   | ✓  |
| Lápiz o lapicero   | ✓  |
| Tabla de apoyo con pinza para papelería  | ✓  |
| Libreta para anotar  | ✓  |
| Teléfono celular   | ✓  |
| Equipo GPS o teléfono inteligente con función GPS  | NA   |
| Cinta métrica  | NA   |
| Cámara, preferiblemente digital y baterías de repuesto   | NA   |
| Binoculares (Opcional)   | NA   |
| Regla (Opcional)   | NA   |
| Linterna y baterías extras (Opcional)  | NA   |

## REGISTRO FOTOGRAFICO DE LOS EDIFICIOS DEL ESTABLECIMIENTO DE SALUD

|            |                            |
|------------|----------------------------|
| Edificio 1 | Torre Sur                  |
| Edificio 2 | Casa de maquinas mecánicas |
| Edificio 3 | Torre Este                 |
| Edificio 4 | Torre Norte                |
| Edificio 5 | Nutrición                  |
| Edificio 6 | Histórico                  |

|                 |                        |
|-----------------|------------------------|
| Código ID fotos | N° formulario_ N° foto |
|-----------------|------------------------|

### Edificio 1

| ID foto       | Descripción                |
|---------------|----------------------------|
| 01.2101-01_01 | Fachada principal          |
| 01.2101-01_02 | Fachada esquinera          |
| 01.2101-01_03 | Fachada esquinera ampliada |

### Edificio 2

| ID foto       | Descripción                               |
|---------------|---|
| 01.2101-02_01 | Fachada central                           |
| 01.2101-02_02 | Vista interior del equipo mecanico        |
| 01.2101-02_03 | Vista interior del equipo mecanico        |
| 01.2101-02_04 | Detalle de pared de mamposteria confinada |
| 01.2101-02_05 | Detalle de estructura de techo metalica   |

### Edificio 3

| ID foto       | Descripción       |
|---------------|-------------------|
| 01.2101-03_01 | Fachada esquinera |
| 01.2101-03_02 | Fachada principal |

### Edificio 4

| ID foto       | Descripción       |
|---------------|-------------------|
| 01.2101-04_01 | Fachada principal |
| 01.2101-04_02 | Fachada esquinera |

### Edificio 5

| ID foto       | Descripción                             |
|---------------|---|
| 01.2101-05_01 | Fachada principal                       |
| 01.2101-05_02 | Fachada lateral                         |
| 01.2101-05_03 | Detalle de estructura de techo metalica |

### Edificio 6

| ID foto       | Descripción  |
|---------------|--|
| 01.2101-06_01 | Fachada principal                                    |
| 01.2101-06_02 | Fachada principal                                    |
| 01.2101-06_03 | Vista interior de ampliaciones y estructura metalica |
| 01.2101-06_04 | Vista interior de ampliaciones y estructura metalica |
| 01.2101-06_05 | Detalle de viga estructural de concreto reforzado    |
| 01.2101-06_06 | Detalle de columna estructural de concreto reforzado |
| 01.2101-06_07 | Detalle de muro de mamposteria de arcilla solida     |



01.2101-01\_01



01.2101-01\_02



01.2101-01\_03



01.2101-02\_01



01.2101-02\_02



01.2101-02\_03



01.2101-02\_04



01.2101-02\_05



01.2101-03\_01



01.2101-03\_02



01.2101-04\_01



01.2101-04\_02



01.2101-05\_01



01.2101-05\_02



01.2101-05\_03



01.2101-06\_01



01.2101-06\_02



01.2101-06\_03



01.2101-06\_04



01.2101-06\_05



01.2101-06\_06



01.2101-06\_07

# Anexo 8

Inventario de edificaciones y curvas de fragilidad

## Inventario del formulario 1

| ID     | Fecha      | Hora     | Nombre del establecimiento de salud    | Nombre                    | Teléfono | E-mail             | Provincia | Cantón   | Distrito  | Dirección Exacta   | Tipo de establecimiento   | Servicios de emergencia | N° de edificios | N° de camas | % de ocupación |
|--------|------------|----------|--|---------------------------|----------|--------------------|-----------|----------|-----------|--|---------------------------|-------------------------|-----------------|-------------|----------------|
| 1.2101 | 13/12/2021 | 01:30 PM | Hospital Rafael Ángel Calderón Guardia | Arq. Selma Perera Salazar | 0        | sperara@ccss.sa.cr | San José  | San José | El Carmen | Entre las avenidas 7° y 9° y entre las calles 17 y 19. En Barrio Aranjuez. | Hospital nacional general | Sí                      | 8               | 414         | >85%           |

## Inventario del formulario 2

| N° formulario | Fecha      | Hora     | Nombre del responsable       | Unidad  | Teléfono | Correo               | Nombre del edificio        | Lat.    | Long.     | N° de plano catastrado                           | Imp. | Fecha código | Código sísmico | N° de niveles | N° de sótanos | Altura por piso | Frete | Fondo | Área (m²) |
|---------------|------------|----------|------------------------------|---|----------|----------------------|----------------------------|---------|-----------|--|------|--------------|----------------|---------------|---------------|-----------------|-------|-------|-----------|
| 1.2101.1      | 13/12/2021 | 01:30 PM | Ing. Javier Castro Gutiérrez | Dirección de Administración de Proyectos Especiales | 0        | jacastrog@ccss.sa.cr | Torre Sur                  | 9.93608 | -84.06943 | SI / 331887-79 / 281687-77 / 21463-75 / 50717-83 | A    | 1986 - 2003  | Moderado       | 4             | 1             | 4.30            | 48.00 | 44.75 | 4148.00   |
| 1.2101.2      | 13/12/2021 | 01:30 PM | Ing. Javier Castro Gutiérrez | Dirección de Administración de Proyectos Especiales | 0        | jacastrog@ccss.sa.cr | Casa de maquinas mecánicas | 9.93669 | -84.06904 | 0  | A    | 1974 - 1986  | Bajo           | 1             | 0             | 0.00            | 10.50 | 34.00 | 357.00    |
| 1.2101.3      | 13/12/2021 | 01:30 PM | Ing. Javier Castro Gutiérrez | Dirección de Administración de Proyectos Especiales | 0        | jacastrog@ccss.sa.cr | Torre Este                 | 9.93710 | -84.06902 | SI-1130846-2007                                  | A    | > 2011       | Alto           | 6             | 1             | 4.50            | 49.05 | 61.35 | 3009.22   |
| 1.2101.4      | 13/12/2021 | 01:30 PM | Ing. Javier Castro Gutiérrez | Dirección de Administración de Proyectos Especiales | 0        | jacastrog@ccss.sa.cr | Torre Norte                | 9.93739 | -84.06961 | 0  | A    | 1974 - 1986  | Bajo           | 5             | 0             | 4.00            | 37.50 | 72.00 | 2700.00   |
| 1.2101.5      | 13/12/2021 | 01:30 PM | Ing. Javier Castro Gutiérrez | Dirección de Administración de Proyectos Especiales | 0        | jacastrog@ccss.sa.cr | Nutrición                  | 9.93619 | -84.07005 | SI-0887072-2003                                  | A    | > 2011       | Alto           | 3             | 0             | 4.20            | 35.12 | 56.72 | 1992.01   |
| 1.2101.6      | 13/12/2021 | 01:30 PM | Ing. Javier Castro Gutiérrez | Dirección de Administración de Proyectos Especiales | 0        | jacastrog@ccss.sa.cr | Histórico                  | 9.93678 | -84.06990 | 0  | A    | < 1974       | Pre-código     | 2             | 0             | 3.80            | 0.00  | 0.00  | 2600.00   |

| Tipo de suelo | Zona sísmica | Factor Fai | Material           | Sistema estructural    | Estructura de piso | Estructura de techo | Tipología estructural | N° fragilidad | IM  | (μ) Leve | (β) Leve | (μ) Moderado | (β) Moderado | (μ) Severo | (β) Severo | (μ) Completo | (β) Completo | Registro fotográfico | Registro planos |
|---------------|--------------|------------|--------------------|------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------|---------------|-----|----------|----------|--------------|--------------|------------|------------|--------------|--------------|----------------------|-----------------|
| S3            | Zona III     | 1.20       | Concreto reforzado | Dual                   | Viguetas           | Estructura metálica | CD-D-M                | 74            | PGA | 0.084    | 0.0535   | 0.2952       | 0.191        | 0.738      | 0.4775     | 1.3578       | 0.879        | Sí                   | Sí              |
| S3            | Zona III     | 1.20       | Mampostería        | Reforzada confinada    | No tiene           | Estructura metálica | M-RC-B                | 118           | PGA | 0.2062   | 0.1222   | 0.2651       | 0.1572       | 0.4123     | 0.2445     | 0.7511       | 0.4453       | Sí                   | Sí              |
| S3            | Zona III     | 1.00       | Concreto reforzado | Dual                   | Viguetas           | Estructura metálica | CR-D-M                | 8             | PGA | 0.0970   | 0.3300   | 0.1390       | 0.3000       | 0.6160     | 1.2100     | 2.2450       | 1.1600       | Sí                   | Sí              |
| S3            | Zona III     | 1.20       | Concreto reforzado | Marco                  | Viguetas           | Estructura metálica | CR-M-M                | 101           | PGA | 0.1768   | 0.1048   | 0.2503       | 0.1484       | 0.4712     | 0.2794     | 0.7952       | 0.4715       | Sí                   | Sí              |
| S3            | Zona III     | 1.20       | Concreto reforzado | Dual                   | Viguetas           | Estructura metálica | CR-D-B                | 40            | PGA | 0.3228   | 0.2320   | 0.7236       | 0.5210       | 1.9608     | 1.4110     | 2.3880       | 1.7180       | Sí                   | Sí              |
| S3            | Zona III     | 1.20       | Mampostería        | No reforzada confinada | Losa monolítica    | Estructura metálica | M-NRC-B               | 146           | PGA | 0.1472   | 0.0873   | 0.2062       | 0.1222       | 0.3092     | 0.1834     | 0.5154       | 0.3056       | Sí                   | No              |

# Referencias

- Acevedo, A., Jaramillo, J., Yepes, C., Silva, S., Osorio, F. Y Villar, M. (2017). *Evaluation of the seismic risk of the unreinforced masonry building stock in Antioquia, Colombia*. *Nat Hazards*, 86, S31– S54. <https://doi.org/10.1007/s11069-016-2647-8>
- Alas, R. y Grijalva, S. (2018). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica, por medio de curvas de fragilidad, utilizando el análisis dinámico no lineal incremental*. [Tesis de maestría, Universidad de El Salvador].
- Applied Technology Council (ATC). (1985). *ATC-13: Earthquake Damage Evaluation Data for California*. Redwood, California
- Applied Technology Council (ATC). (2012). *FEMA P58-1: Seismic Performance Assessment of Buildings - Methodology*. Redwood, California.
- Arce, S. (2011). *Aplicación de la metodología HAZUS MH en análisis de riesgo sísmico en la infraestructura del anillo metropolitano de transporte de electricidad*. [http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal13/Proceso sambientales/Proteccioncivil/02.pdf](http://www.observatoriogeograficoamericalatina.org.mx/egal13/Proceso%20sambientales/Proteccioncivil/02.pdf)
- Baena, G. (2017). *Metodología de la investigación*. (3 ed.). Grupo Editorial Patria. [http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales\\_de\\_consulta/Drogas\\_de\\_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf](http://www.biblioteca.cij.gob.mx/Archivos/Materiales_de_consulta/Drogas_de_Abuso/Articulos/metodologia%20de%20la%20investigacion.pdf)
- Barbat, H., Oller, S. y Vielma, J. (2005). *Cálculo y diseño sismorresistente de edificios. Aplicación de la norma NCSE-02*. Monografía CIMNE.
- Behar, D. (2008). *Metodología de la investigación*. <https://es.calameo.com/read/004416166f1d9df980e62>
- Blanco, S. y Esquivel, L. (2020). Estimación del periodo de construcción de las edificaciones del cantón de San José por medio de análisis de fotografías aéreas. *Revista Geográfica de América Central*. 67 (2). 61-82.
- Bojórquez, E., Chávez, R., Ruiz, S. y Reyes, A. (2014). *Una medida de intensidad sísmica que predice el comportamiento no lineal y el efecto de los modos superiores*. [http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0185-092X2014000100001](http://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0185-092X2014000100001)
- Bonett, R. (2004). *Vulnerabilidad y riesgo sísmico de edificios. Aplicación a entornos urbanos en zonas de amenaza alta y moderada*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6230;jsessionid=8F92CABC12F6A46136B21AE65589A95C#page=1>
- Brzev, S., Scawthorn, C., Charleson, A y Allen, L. *GEM building Taxonomy version 2.0*. GEM Technical report. <https://storage.globalquakemodel.org/resources/publications/technical-reports/gem-building-taxonomy-report/>
- Calderón, A. y Silva, V. (2019). Probabilistic seismic vulnerability and loss assessment of the residential building stock in Costa Rica. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 17, 1257-1284. <https://doi.org/10.1007/s10518-018-0499-1>

- Calderón, E. (2018). *Curvas de fragilidad según el método del espectro de capacidad para tipologías estructurales definidas en el Código Sísmico de Costa Rica*. [Tesis de Licenciatura, Universidad de Costa Rica].  
<http://repositorio.sibdi.ucr.ac.cr:8080/jspui/handle/123456789/7467>
- Castro, J. (2017). *Guía de evaluación rápida de edificaciones post evento sísmico*.
- Chavarría, A. y Castillo, R. (2016). *Evaluación del riesgo sísmico del cantón de San José*. Boletín estructural, LANNAME.
- Colegio Federado de Ingenieros y Arquitectos (CFIA). (2016). *Código Sísmico de Costa Rica 2010/ Revisión 2014* (Quinta Ed). Cartago, Costa Rica: Editorial Tecnológica de Costa Rica.
- D'Ayala, D., Meslem, A., Vamvatsikos, D., Porter, K., Rossetto, T., & Silva, V. (2014). *Guidelines for Analytical Vulnerability Assessment of Low/Mid-Rise Buildings, Vulnerability Global Component Project*.
- Esquivel, L. (2020). Avance del inventario estructural de edificaciones del cantón de San José. *Ingeniería*, 30 (2), 103-119.
- Esquivel, L. (2020). *Inventario de edificaciones del cantón de San José para el caso específico de amenaza sísmica utilizando el método de mapeo ambiental rápido*. [Tesis maestría, Universidad de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/10669/81229>
- FEMA (2002) "Rapid Visual Screening of Buildings for Potential Seismic Hazards A Handbook". Second edition. FEMA/ATC P-154. Federal Emergency Management Agency and Applied Technology Council. Washington, D.C
- FEMA. (2003). *Multi-hazard Loss Estimation Methodology Hazus MH 2.1*. [https://www.fema.gov/sites/default/files/202009/fema\\_hazus\\_earthquakemodel\\_technical-manual\\_2.1.pdf](https://www.fema.gov/sites/default/files/202009/fema_hazus_earthquakemodel_technical-manual_2.1.pdf)
- Global Program for Safer Schools. (2019). *Taxonomy Guide*. <https://gps.worldbank.org/sites/gps/files/2019-10/GLOSI%20taxonomy%20guide.pdf>
- Grünthal, G., Musson, R., Schwarz, J., & Stucchi, M. (1998). *European macro seismic scale 1998*. Cahiers du Centre Europeen de Geodynamique et de Seismologie
- Herrera, I. (2016). *Vulnerabilidad y daño sísmico de edificios porticados de hormigón armado, irregulares en planta, en Barquisimeto – Venezuela*. [Tesis doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña].  
<https://upcommons.upc.edu/bitstream/217/107951/1/TRIHG1de1.pdf>
- Hidalgo, D., Esquivel, L., Calderón, E. y Schmidt, V. (2020). *Estimación del riesgo sísmico en el cantón de san José, Costa Rica*. <https://vinv.ucr.ac.cr/sigpro/web/projects/B7501>
- Hidalgo, D., Schmidt, V. y Cruz, M. (2016). Evaluación de la vulnerabilidad sísmica de hospitales de Costa Rica con la aplicación de índices de vulnerabilidad. *Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras*. Vol, 21(4), 437 – 452. <https://hdl.handle.net/10669/74604>
- INDECI (2018). *Los movimientos sísmicos*. <https://www.indeci.gob.pe/wp-content/uploads/2018/09/movimientos-sismicos.pdf>
- Japan Building Disaster Prevention Association. (2001). *Seismic Evaluation of Existing Reinforced Concrete Buildings*. JBDDPA, 320
- Kaynia, A. M., Iunio, I., Fabio, T., & Ufuk, H. (2013). *Guidelines for deriving seismic fragility functions of elements at risk: Buildings, lifelines, transportation networks and critical facilities*. <https://doi.org/10.2788/19605>

- Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2018). *Espectros de Respuesta*. Recuperado el 4 de enero de 2022. <http://www.lis.ucr.ac.cr/mapas/2018-03-23-01:38:03/espectros.php>
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2016). *Probabilidad de daño*. Recuperado el 4 de enero de 2022. <http://www.lis.ucr.ac.cr/index.php?id=1851>
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2015). *Laboratorio de Ingeniería Sísmica*. Recuperado el 4 de enero de 2022. <http://www.lis.ucr.ac.cr/>
- Laboratorio de Ingeniería Sísmica (2011). *Casas y edificios*. Recuperado el 4 de enero de 2022. <http://www.lis.ucr.ac.cr/20>
- Lantada, N. (2007). *Evaluación del riesgo sísmico mediante métodos avanzados y técnicas GIS. Aplicación a la ciudad de Barcelona*. [Tesis Doctoral, Universidad Politécnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/10803/6259>
- Lagomarsino, S., & Giovinazzi, S. (2006). *Macro seismic and mechanical models for the vulnerability and damage assessment of current buildings*. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 4(4), 415-443.
- López, A. y Villacañas, J. (1999). Metodología Simplificada para el Análisis del Riesgo Sísmico. *Física de la tierra*, 11(269-284).
- Mena, H. (2002). *Evaluación del riesgo sísmico en zonas urbanas*. [Tesis de maestría, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6222#page=1>
- Milutinovic, Z. & Trendafiloski, G. (2003). *Risk-UE An advanced approach to earthquake risk scenarios with applications to different European towns. Contract: EVK4-CT 2000-00014, WP4: Vulnerability of current buildings*. [http://www.civil.ist.utl.pt/~mlopes/conteudos/DamageStates/Risk%20UE%20WP04\\_Vulnerability.pdf](http://www.civil.ist.utl.pt/~mlopes/conteudos/DamageStates/Risk%20UE%20WP04_Vulnerability.pdf)
- Moreno, R. y Bairán, J. (2012). *Evaluación sísmica de los edificios de mampostería típicos de Barcelona aplicando la metodología Risk-UE*. *Revista Internacional de Métodos Numéricos para Cálculo y Diseño en Ingeniería*, 28(3), 161-169.
- Muñoz, D. (1989). Conceptos básicos en riesgo sísmico. *Física de la tierra*, 1(199-216).
- Muñoz, J. (2015). *Estudio de vulnerabilidad sísmica de puentes en Costa Rica mediante el uso de curvas de fragilidad*. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/624>
- Muñoz, J., Vargas, L., Ruiz, P. y Vega, P. (2017). *Protocolo para inspección de puentes después de sismo*. LANNAME. <https://www.lanamme.ucr.ac.cr/repositorio/handle/50625112500/936>
- Navarro, A. (2019). *Evaluación de la fragilidad ante cargas laterales de tres edificios tipo marco de concreto reforzado, diseñados de acuerdo con el Código Sísmico de Costa Rica 2010*. [Tesis de Maestría, Universidad de Costa Rica].
- Organización Panamericana de la Salud. (OPS) (2010) *Guía para la evaluación de establecimientos de salud de mediana y baja complejidad*. [https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv\\_publica/docs/estudios\\_documentos/documentos/hs\\_frente\\_desastres/guias\\_pdfs/indice.pdf](https://www.mef.gob.pe/contenidos/inv_publica/docs/estudios_documentos/documentos/hs_frente_desastres/guias_pdfs/indice.pdf)
- Pitilakis, K., Crowley, H. y Kaynia, A. (2014). *SYNER-G: Typology Definition and Fragility Functions for Physical Elements at Seismic Risk*. Geotechnical, geological and earthquake engineering. DOI 10.1007/978-94-007-7872-6

- Pittore, M., Haas, M., & Megalooikonomou, K. G. (2018). *Risk-Oriented, Bottom-Up Modeling of Building Portfolios with Faceted Taxonomies*. *Frontiers in Built Environment*, 4, 1–14. <https://doi.org/10.3389/fbuil.2018.00041>
- Rossetto, T., Ioannou, I. & Grant, N. (2015). *Existing Empirical fragility and Vulnerability*. GEM Technical Report. [https://storage.globalquakemodel.org/media/publication/VULN-MOD-Fragility-Compendium-201501-v03\\_1.pdf](https://storage.globalquakemodel.org/media/publication/VULN-MOD-Fragility-Compendium-201501-v03_1.pdf)
- Safina, S. (2003). *Vulnerabilidad sísmica de edificaciones esenciales. Análisis de su contribución al riesgo sísmico*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña]. <https://www.tdx.cat/handle/10803/6226#page=1>
- Schmidt, V. (2010). *Avances para estudios del riesgo sísmico a escala regional y local: aplicación a América Central y a la Bahía de Cádiz*. [Tesis Doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña, Barcelona].
- SEAO (1995) “*Performance based seismic engineering of buildings*”. VISION 2000 Committee. Structural Engineering Association of California. Sacramento, CA.
- SERGISAI, S. R. evaluation through integrated use of G. I. S. and A. I. techniques. (1998). Sergisai Home.
- Servicio Geológico Mexicano. (2017). *Causas, características e impactos*. <https://www.sgm.gob.mx/Web/MuseoVirtual/Riesgos-geologicos/Causascaracteristicas-e-impactos.html>
- Solórzano, L. (2005). *Vulnerabilidad sísmica de estructuras de viviendas de uno y dos pisos en una zona piloto del Valle Central*. [Tesis de licenciatura, Universidad de Costa Rica]. <http://hdl.handle.net/10669/16676>
- Tancara, C. (1993). *La investigación documental*. [http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0040-29151993000100008](http://www.scielo.org.bo/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0040-29151993000100008)
- Valcárcel, J. (2013). *Análisis y gestión del riesgo sísmico de edificios y sistemas esenciales*. [Tesis de doctorado, Universidad Politécnica de Cataluña]. <http://hdl.handle.net/10803/116820>
- Vargas, F. (2016). *Evaluación de la vulnerabilidad sísmica en viviendas y edificios comerciales menores en el área central de Pérez Zeledón, Costa Rica*. [Tesis Licenciatura, Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/6672>
- Velásquez, J. (2006). *Estimación de pérdidas por sismo en edificios peruanos mediante Curvas de Fragilidad analíticas*. [Tesis de maestría, Pontificia Universidad católica del Perú].
- Villanueva, J. (2016). *Evaluación de la Vulnerabilidad Sísmica de la Ciudad de Cartago en los Distritos Oriental y Occidental, Costa Rica*. [Tesis Licenciatura, Tecnológico de Costa Rica]. <https://hdl.handle.net/2238/6717>
- Villar, M., Silva, V., Crowley, H. Y Yepes, C. (2017). *Development of a Fragility Model for the Residential Building Stock in South America*. *Earthquake Spectra*, 33 (2). [https://www.researchgate.net/publication/313801988\\_Development\\_of\\_a\\_Fragility\\_Model\\_for\\_the\\_Residential\\_Building\\_Stock\\_in\\_South\\_America](https://www.researchgate.net/publication/313801988_Development_of_a_Fragility_Model_for_the_Residential_Building_Stock_in_South_America)
- World Bank (WB). (2013). *Evaluación del riesgo sísmico en Costa Rica: Fortalecimiento de capacidades en el sector de agua y saneamiento*. In *Insights in DRM*. <https://documents1.worldbank.org/curated/en/436221468019150689/pdf/826140REVISED0000INSIGHTS0Issue20SP.pdf>