



Evaluación del riesgo sísmico del cantón de San José

Andrey Chavarría Mesén, Asistente de Ingeniería
Rolando Castillo Barahona, Coordinador

Correo electrónico: rolando.castillo@ucr.ac.cr

Programa de Ingeniería Estructural



Introducción

Costa Rica es un país sísmicamente activo y por lo tanto propenso a terremotos (CNE&ICE, 2003) ya que está ubicado muy cerca de la zona de subducción de las placas tectónicas del Coco y del Caribe y porque en el territorio nacional existe una vasta red de fallas locales activas (Romero, s.f). Las fuerzas acumuladas en estas zonas y la sucesiva liberación de energía son las responsables de los sismos que experimenta el país.

Los terremotos son eventos extremos con una gran capacidad destructiva que pueden tener un gran

impacto social y económico debido a las pérdidas materiales y las víctimas mortales que se presentan después del evento. Algunos ejemplos de terremotos que han dejado su huella en el país fueron: Los terremotos de Cartago del 13 de Abril y 10 de Mayo 1910 que destruyeron prácticamente todas las edificaciones del cantón (RSN, s.f). El terremoto de Limón de 1991 que produjo graves daños materiales en viviendas y edificios, además de provocar el colapso de puentes, grietas en carreteras y daños a la vía férrea de la provincia (Morales, 1994) y más recientemente el terremoto de Cinchona de 2009 que provocó la destrucción del 90% de su infraestructura y cambios



Figura 1: Deslizamientos en Cinchona producto del terremoto del 2009
Fuente <https://www.pinterest.com/pin/343188434078864724/>

del relieve local debido a los deslizamientos de las laderas como se observa en la figura 1 (RSN, 2009).

Los terremotos son eventos que ocurren debido a la liberación de energía causada por el movimiento de placas tectónicas y fallas locales. Lastimosamente, estos eventos no son predecibles (Ludwin, 2010) y tampoco hay forma de evitarlos. A pesar de esta realidad, lo que sí se puede hacer es mitigar sus efectos sobre la infraestructura civil, puesto que al proteger las edificaciones se salvaguarda la vida de sus ocupantes y con ello la inversión económica y social del país. Es por ello que la creación de planes de respuesta ante terremotos, la regulación de la construcción mediante el uso del Código Sísmico de Costa Rica, la implementación de planes de emergencia y evacuación, la evaluación del riesgo de colapso de estructuras, la identificación de amenazas y el entrenamiento de cuerpos de rescate resultan ser acciones importantes para mitigar pérdidas materiales y proteger la vida humana.

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. Para comprender que es el riesgo sísmico se deben entender los conceptos de amenaza(o peligro) y vulnerabilidad sísmica.

La amenaza sísmica se refiere a la probabilidad de ocurrencia de un sismo con cierta intensidad (o aceleración del suelo) en un determinado sitio durante un periodo determinado (Funvisis, 2016). Por otro lado, la vulnerabilidad sísmica se define como la susceptibilidad de una edificación o un grupo de edificaciones a sufrir daños estructurales en caso de un evento sísmico determinado (Bonnet, 2003). Por lo tanto, el riesgo sísmico resulta ser la probabilidad de pérdidas o daños en una estructura o grupo de estructuras. El cálculo del riesgo sísmico suele expresarse como una función de la amenaza y la vulnerabilidad (EFEHR, s.f):

$$\text{Riesgo} = \text{Vulnerabilidad} \times \text{Amenaza}$$

Es por lo anterior, que el presente boletín tiene como objetivo brindar información a los lectores sobre el estudio de riesgo sísmico del cantón de San José que está realizando la empresa Miyamoto International con financiamiento de USAID/OFDA y con el apoyo logístico y técnico de varias instituciones públicas con el fin de mejorar la capacidad de respuesta y resiliencia en caso de un terremoto.

Descripción del Cantón de San José

San José es el cantón N°1 de la provincia de San José. Fue reconocido como municipalidad en 1812 y como sede de la capital en 1838. Se ubica en el centro de la Gran Área Metropolitana y consta de una extensión aproximada de 44,63 km².

El cantón limita al Sur con los cantones de Alajuelita y Desamparados, al Oeste con el cantón de Escazú, al Este con los cantones de Curridabat y Montes de Oca y al Norte con el cantón de Tibás y la Provincia de Heredia (MSJ, 2011)(Ver figura 3). Geográficamente, el cantón de San José está rodeado por el río Tiribí al Sur y al Oeste mientras que hacia el Norte el río Virilla lo separa de la provincia de Heredia. Presenta una inclinación del terreno en dirección este-oeste y una altura promedio de entre 1.100 a 1.250 msnm.

En cuanto a amenaza sísmica se refiere, no existen fallas locales activas dentro de los límites del cantón, sin embargo, si se encuentra rodeado por varias fallas activas con registros históricos de actividad y que han generado eventos sísmicos que han afectado en diferente grado la ciudad capital (CNE, s.f)

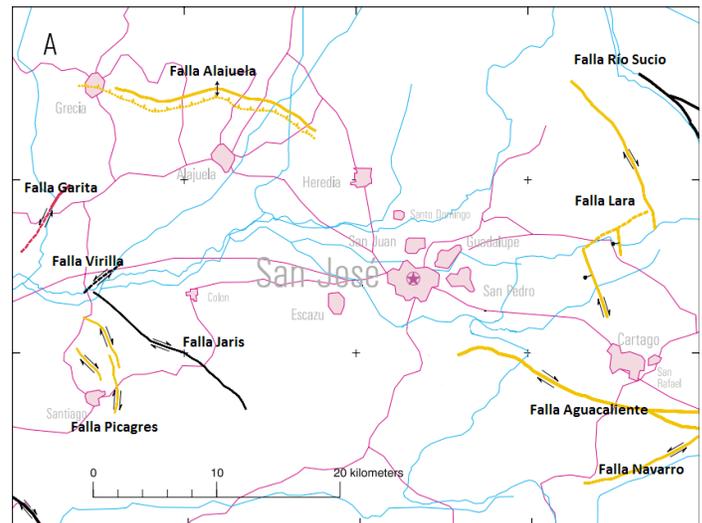


Figura 2: Fallas Geológicas activas GAM

Fuente: <http://mapasdecostarica.info/mapas-de-fallas-geologicas/>

(Ver Figura 2). Entre las fallas que rodean el cantón se tienen la falla de Agucaliente responsable del terremoto de 1910 en Cartago, la falla de Alajuela, la falla de Navarro, la falla de Virilla, la falla Lara, la falla Jaris, la falla Picagres y la falla de la Garita(Montero & Rojas, 2001).

El cantón de San José, como se muestra en la figura 3, está dividido en 11 distritos: 1.Carmen, 2.Merced, 3.Hospital, 4.Catedral, 5.Zapote, 6.San Francisco de Dos Ríos, 7.Uruca, 8.Mata Redonda, 9.Pavas, 10.Hatillo y 11.San Sebastián.

De acuerdo con los resultados del décimo censo nacional del 2011 (INEC, 2011), el cantón de San José cuenta con aproximadamente 288mil habitantes. Este valor correspondiente al 6,7% de la población nacional, para una

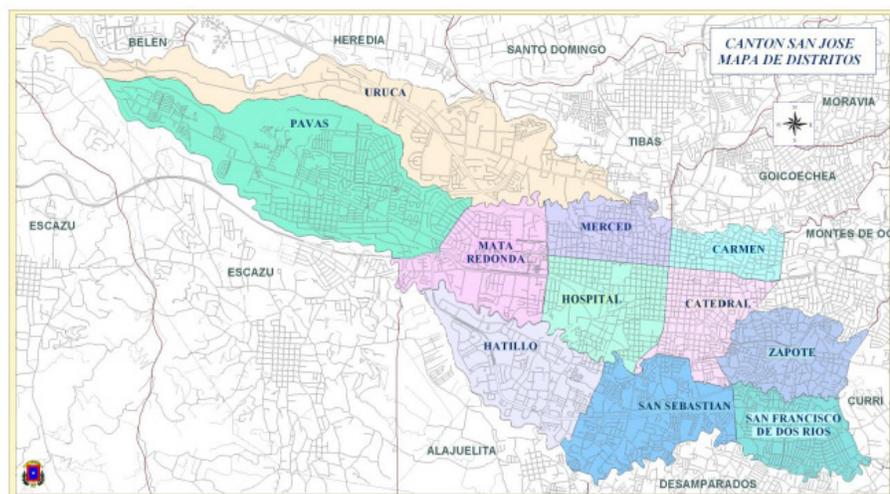


Figura 3: Distritos de San José

Fuente: Municipalidad de San José

densidad poblacional de 6.456 habitantes por kilómetro cuadrado. Esta información indica que el cantón es el más poblado del país y el segundo más densamente poblado después de Tibás (7.956 habitantes por kilómetro cuadrado). En el cuadro 1 se muestra la distribución de la población y densidad por distrito. Es evidente que los distritos de Hatillo y San Sebastián tienen la mayor densidad de población, incluso más que la densidad de población del cantón de Tibás.

Cuadro 1. Población por distrito del cantón central de San José

Fuente: BIPM, 2014

Número	Distrito	Extensión (km ²)	Población (habitantes)	Densidad poblacional (habitantes/km ²)
1	Carmen	1,5	2.702	1.801
2	Merced	2,29	12.257	5.352
3	Hospital	3,38	19.270	5.701
4	Catedral	2,31	12.936	5.600
5	Zapote	2,85	18.679	6.554
6	San Francisco de Dos Ríos	2,68	20.209	7.541
7	Uruca	8,35	31.728	3.800
8	Mata Redonda	3,68	8.313	2.259
9	Pavas	9,34	71.384	7.643
10	Hatillo	4,27	50.511	11.829
11	San Sebastián	3,98	40.065	10.067
Total		44,63	288.054	6.456

Programa PREPARE: Evaluación del riesgo sísmico del cantón de San José.

El programa PREPARE (Preparing Rescue and Emergency Personnel to Ameliorate the Response to Earthquakes), es una iniciativa del gobierno de los EEUU para la reducción del riesgo sísmico en las ciudades de San José, Costa Rica y El Pasto, Colombia. Esta iniciativa es canalizada a través de la oficina USAID/OFDA y realizada por la empresa Miyamoto Internacional con el objetivo de reducir el impacto socioeconómico y el número de víctimas mortales en el cantón de San José en caso de un terremoto mediante el análisis de riesgo sísmico (Huyck, Lanning, Miyamoto, Ubico, 2016).

La Agencia para el Desarrollo Internacional de los Estados Unidos (USAID) es la principal agencia gubernamental de los Estados Unidos encargada de administrar el apoyo internacional para la erradicación de la pobreza y la promoción del desarrollo de sociedades democráticas, mediante la promoción de la salud, educación, los derechos humanos y ayuda humanitaria. Entre sus dependencias se encuentra la oficina de asistencia para desastres en el extranjero (OFDA por sus siglas en inglés),

la cual se encarga de la dirección del apoyo internacional en caso de desastres naturales así como el fortalecimiento de las capacidades de respuesta.

Por otro lado, Miyamoto Internacional, es una empresa privada norteamericana de consultores de ingeniería estructural con sede en California especializada en respuesta y evaluación ante desastres e ingeniería de riesgo, la cual cuenta con experiencia en la valoración de infraestructura después de sismos. Esta empresa ha realizado estudios de riesgo sísmico, en varias ciudades de Haití que no fueron dañadas por el terremoto del 2010, específicamente en Cap Haitien, Ft. Liberté, Ouanaminthe y Port de Paix. (Huyck, Lanning, Miyamoto, Ubico, 2016).

Miyamoto Internacional, como responsable del programa PREPARE, ha realizado grandes esfuerzos para involucrar a varias entidades públicas del país para que participen y conozcan sobre los procesos que conlleva un estudio de riesgo sísmico. Estas entidades públicas son: la Municipalidad de San José, la Comisión Nacional de Emergencias, el Cuerpo de Bomberos de Costa Rica, el Ministerio de Educación Pública (MEP), la Caja Costarricense del Seguro Social (CCSS) y la Universidad de Costa Rica.

La empresa Miyamoto junto con USAID/OFDA fue la encargada de escoger al cantón de San José para la realización del estudio. Se escoge este cantón debido a que se ubica en una zona de alta amenaza sísmica (ver figura 4), presenta la segunda densidad de población más alta del país (INEC, 2011) y porque existe una fuerte voluntad política para la disminución del riesgo ante desastres naturales como es un terremoto.

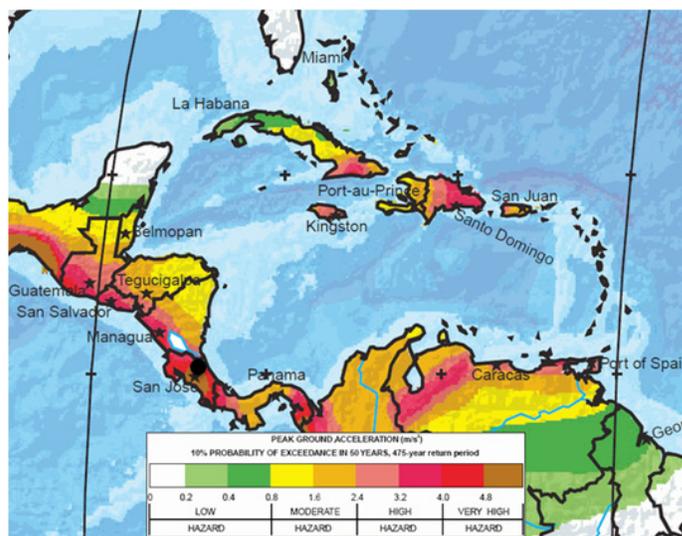


Figura 4: Amenaza sísmica en América Central y el Caribe

Fuente: Miyamoto Int.

Para realizar el análisis de riesgo sísmico es necesario conocer ciertas características específicas del cantón, como lo son: clase de suelo, ubicación de fallas geológicas activas, población y tipos de estructuras que existen en el cantón. Para el análisis de las edificaciones se requirió contar con información respecto al uso de estas (ya sea habitacional, comercial o de otra índole), tránsito de personas, número de ocupantes, tipología constructiva, edad de la construcción, irregularidad estructural, respuesta a cargas laterales y finalmente el número de pisos bajo y sobre el nivel de calle.

Los resultados obtenidos del análisis de riesgo serán divulgados a instituciones participantes tal como la Municipalidad de San José, Comisión Nacional de Emergencias, Cuerpo de Bomberos y cuerpos de búsqueda y rescate urbano. Estos entes podrán hacer uso de esta información para preparar planes de acción que permitan reducir víctimas humanas y pérdidas económicas y sociales, mediante la reducción de la vulnerabilidad y una gestión más eficiente de los recursos disponibles.

Entre los productos que van a surgir a raíz de este proyecto está la elaboración de mapas de riesgo del cantón de San José donde se pretende mostrar aquellas zonas identificadas como de mayor riesgos sísmico y de probabilidad de colapso de edificaciones. Esta información será de mucha utilidad ya que permitirá realizar una estimación de las posibles pérdidas humanas (USAID, 2016). Contar con estos mapas previo a un terremoto facilitaría la labor de los equipos de emergencia, para definir prioridades, establecer planes de respuesta y coordinar esfuerzos ante un terremoto (USAID, 2016).

Gracias a que se conocerá la probabilidad de colapso de edificios debido a un terremoto y las diferentes tipologías constructivas de las estructuras, será posible estimar el volumen de los escombros que deberían ser desechados después del terremoto. El manejo de los escombros es un aspecto de vital importancia para la recuperación de la ciudad ya que estos pueden dificultar las labores de rescate y pueden ser un riesgo para la salud (USAID, 2016).

Phil Gelman concejero regional de USAID/OFDA para la región, ha indicado que el programa PREPARE también tiene como objetivo principal establecer sistemas y recursos (humano y tecnológico) que permitan evaluar la habitabilidad de las edificaciones una vez pasado el desastre (USAID, 2016).

Fases del Programa PREPARE

El programa PREPARE se divide en tres fases (Huyck, Lanning, Miyamoto, Ubico, 2016):

- A. Fase I: Identificación del riesgo sísmico de las edificaciones de San José.
- B. Fase II: Análisis de escenarios.
- C. Fase III: Planeación de respuesta

A continuación se describe cada una de las fases:

La primera fase consiste en la creación del modelo de riesgo sísmico para el cantón de San José. Esta fase iniciará con la recopilación de información existente relacionada con la amenaza sísmica y la identificación de la vulnerabilidad de las edificaciones del cantón.

La información respecto al análisis de la amenaza sísmica es proporcionada por instituciones nacionales que poseen estudios previos. Un ejemplo de estos estudios es el Proyecto Resis II, realizado en colaboración por el ICE, RSN, Escuela Centroamericana de Geología y la Universidad Politécnica de Madrid, el cual presenta la amenaza sísmica de Costa Rica.

En Costa Rica no se cuenta con un inventario preciso de las características estructurales de las edificaciones (Huyck et al, 2016) que permita determinar su vulnerabilidad sísmica. Es por ello que se decide realizar un inventario y caracterización de las edificaciones del cantón de San José mediante visitas al campo y la aplicación de técnicas de análisis remoto como son las fotografías satelitales.

Una vez recopilada la información mencionada anteriormente, se hará uso del software de código abierto "OpenQuake" elaborado por el Global Earthquake Model (GEM). GEM es un foro internacional dedicado a la mitigación de los daños producto de los terremotos donde diferentes organizaciones y personas se reúnen, comparten y usan herramientas y recursos para la evaluación del riesgo sísmico (GEM, 2016). Por otro lado, OpenQuake es una herramienta capaz de analizar las pérdidas potenciales económicas, de vidas humanas y edificaciones producto de un único terremoto de magnitud determinada o llevar a cabo un análisis de riesgo y peligro probabilístico para un periodo determinado de tiempo (GEM, 2016). Sin embargo, el estudio de las pérdidas económicas no es parte del alcance del proyecto.

La segunda fase del proyecto consiste en la creación de los escenarios de daño. Estos escenarios consisten en realizar un análisis de los efectos de un terremoto debido a la aceleración máxima de suelo estimada para el cantón de San José a diferentes horas del día. (Huyck, Lanning, Miyamoto, Ubico, 2016).

Los escenarios de daño permiten la descripción y evaluación de los posibles efectos del sismo de forma determinística (López & Villacañas, 1999). Por ejemplo, permiten estimar la cantidad de edificios colapsados, las posibles víctimas mortales y la cantidad y concentración de escombros generados como consecuencia del colapso de estructuras. Los resultados se van a presentar de forma similar al mostrado en la Figura 5, obtenido del análisis de riesgo para el poblado de Cap Haitien.

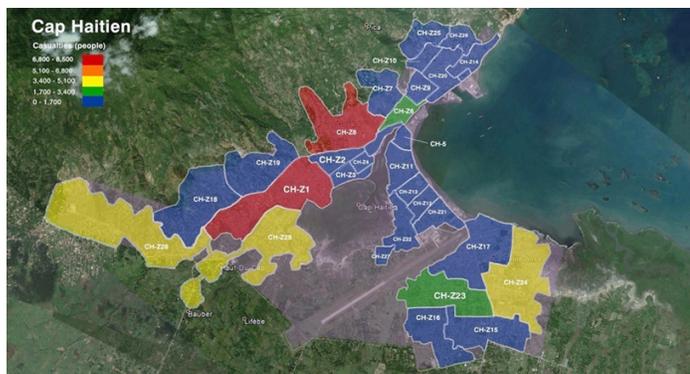


Figura 5: Mapa de posibles víctimas en Cap Haitien
Fuente: Miyamoto Int.

Los resultados obtenidos en esta fase serán facilitados a los cuerpos de búsqueda y rescate del país para mejorar la capacidad de respuesta y coordinación de ayuda nacional e internacional después de un terremoto al identificar las zonas críticas que requerirían más atención y las estructuras más vulnerables y propensas a colapsar (USAID, 2016)

Para *la tercera fase* se propone generar recomendaciones para que aquellas instituciones públicas que brindan una respuesta activa después de un terremoto desarrollen planes de manejo de escombros, evaluación de daños y reducción del riesgo. También se busca que dichas instituciones se organicen y asignen responsabilidades para el adecuado accionar después de un sismo en lo referente al trabajo de los cuerpos de rescate y la evaluación de la habitabilidad de las estructuras post-terremoto.

Estas instituciones deberían identificar aspectos logísticos relacionados con la remoción de escombros tales como identificar a la institución que se encargaría de gestionar los recursos necesarios para realizar limpieza y disposición de escombros, contratación de empresas para el adecuado tratamiento y remoción de escombros y disposición de residuos peligrosos en sitios identificados como aptos para su depósito.

También es necesario que el gobierno identifique de antemano la institución o instituciones responsables de evaluar la habitabilidad de las estructuras después del terremoto. Dichas instituciones deberían contar con un equipo de ingenieros debidamente capacitados para realizar la evaluación mediante el uso de una metodología específica (USAID, 2016).

Conclusiones

El programa PREPARE utiliza una metodología reconocida y utilizada a nivel mundial para la determinación de riesgo sísmico. Hace uso de tecnología de punta en técnicas de análisis remoto y software especializado en el análisis de riesgo sísmico, como por ejemplo el programa "OpenQuake" de GEM.

La ejecución del programa PREPARE en el país es posible gracias a la cooperación internacional provisto por la agencia USAID/OFDA de los EEUU, a través de la empresa Miyamoto y la participación de instituciones públicas y el gobierno central de Costa Rica quienes han mostrado interés en la mitigación de desastres y reducción del riesgo en el país.

Debido a la importancia del cantón de San José como sede del gobierno central de la República de Costa Rica, y como el cantón más poblado del país, la implementación de las recomendaciones que surjan gracias al programa PREPARE permitirá a instituciones públicas del cantón elaborar planes para iniciar labores de recuperación tales como la remoción de escombros y la evaluación de la habitabilidad de edificaciones dañadas.

El estudio de riesgo sísmico del cantón central de San José permitirá identificar debilidades en la infraestructura y en los sistemas de respuesta ante un terremoto. Sin embargo, debe existir el compromiso de la Municipalidad de San José, los Cuerpos de Emergencia y toda institución responsable de planificar e implementar medidas de mitigación para verdaderamente reducir las pérdidas materiales y las víctimas mortales como consecuencia de un terremoto.

Bibliografía

- Bonnet,R.(2003). VULNERABILIDAD Y RIESGO SISMICO DE EDIFICIOS. APLICACIÓN A ENTORNOS URBANOS EN ZONAS DE AMENAZA ALTA Y MODERADA. Barcelona, España. Universidad Politecnica de Cataluña.
- Concejo Nacional de Emergencias; Instituto Costarricense de Electricidad. (2003). Amenaza Sísmica y Vulnerabilidad en la ciudad de Cañas, Guanacaste, Costa Rica. San Jose Costa Rica
- Consejo Nacional de Emergencias, (s.f). Amenazas Naturales del Cantón de San José. [en línea] Recuperado el 23 de Junio del 2016 de <http://www.cne.go.cr/Atlas%20de%20Amenazas/sanjose1.htm>
- European Facility for Earthquake Hazard and Risk EFEHR. Seismic Risk. Recuperado el 23 de Junio del 2016 de <http://www.efehr.org:8080/jetspeed/portal/jsessionid=C7C0CA65CB4F816ED303F53BE57EEC43>
- Fundación Venezolana de Investigacion Sismologica, FUNVISIS. (2016). Glosario Sismologico. Recuperado el 23 de Junio de 2016 de <http://www.funvisis.gob.ve/glosario.php>
- GLOBALQUAKEMODEL.ORG. GEM. (2016). Mision. [en línea] Recuperado el 23 de Junio del 2016 de <https://www.globalquakemodel.org/gem/mission/>
- GLOBALQUAKEMODEL.ORG, GEM. (s.f) Istanbul Handout. [en línea] Recuperado el 23 de Junio del 2016 de https://www.globalquakemodel.org/media/cms_page_media/417/Istanbul-handout-v03.pdf
- Huyck, C., Ubico, D., Lanning, F., & Miyamoto, K. (2016). Seminario Tecnico: Análisis de riesgo sísmico[CONFERENCIA DEL PROGRAMA PREPARE]. CTT LanameUCR. San José, Costa Rica.
- Instituto Costarricense de Electricidad, Red Sismológica Nacional, Escuela Centroamericana de Geología, Universidad Politécnica de Madrid (2008). Proyecto Resis II: Evaluación de la amenaza sísmica en Costa Rica. San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, INEC. (2012). X censo de poblacional y VI de Viviendas Resultados Generales. San José, Costa Rica.
- Instituto Nacional de Estadística y Censo, INEC. Indicadores demográficos: Densidad de población por cantón [en línea].San José Costa Rica. Recuperado el 12 de mayo de 2016.]. Disponible en <http://www.inec.go.cr/SNISAN/P07/p07.aspx>
- López, A., & Villacañas, J. (1999). Metodología Simplificada para el Análisis del Riesgo Sísmico. Física de la Tierra , 269-284.
- Ludwin, R. (2010). The Pacific Northwest Seismic Network. [en línea] Recuperado el 6 de junio del 2016, de http://web.archive.org/web/20100617215942/http://www.geophys.washington.edu/SEIS/PNSN/INFO_GENERAL/eq_prediction.html
- Morales, L. D. (1994). DAÑOS CAUSADOS POR EL TERREMOTO DE LIMON:PERDIDAS Y MEDIDAS DE MITIGACIÓN. Revista Geológica de America Central , 201-210.
- MONTERO, W., ROJAS, W. (2001): Estudio de sismicidad y fallamiento activo de obras de readecuación del proyecto hidroeléctrica tacares Alajuela. Informe a través de FUNDEVI, UCR, para INCOFER.
- Municipalidad de San José.MSJ (2011). Diagnostico Cantonal. San José, Costa Rica.
- Office of U.S. Foreign Disaster Assistance, OFDA. (2016). USAID/OFDA and Miyamoto International Team Up To Strengthen Earthquake Preparedness in San José. [en línea] Disponible en https://scms.usaid.gov/sites/default/files/documents/1866/lac_newsletter_april2016.pdf
- Office of U.S. Foreign Disaster Assistance, OFDA. (2016). Programa PREPARE San José (Documento de Trabajo).San José, Costa Rica
- Red Sismológica Nacional, RSN. (2009). El terremoto de Cinchona del 8 de enero 2009. pag 38. San José Costa Rica Recuperado el 6 de junio de 2016, Disponible en http://rsn.ucr.ac.cr/images/Biblioteca/Informes_sismos/terremoto_cinchona.pdf
- Red Sismológica Nacional, RSN. (2016). Principales Fallas Activas de Costa Rica. Recuperado el 27 de junio de 2016, Disponible en <http://rsn.ucr.ac.cr/index.php/sismologia/fallas-activas-sismologia>
- Red Sismologica Nacional, RSN. (s.f).Terremoto de Cartago. Recuperado el 6 de Junio de 2016, Disponible en http://www.rsn.ucr.ac.cr/images/Sismologia/sisimosHistoricos/04_cartago_1910.pdf
- Romero, L. (s.f). ESCENARIO DE AMENAZAS EN EL CANTON CENTRAL DE SAN JOSE. [en línea] Recuperado el 6 de Junio de 2016, Disponible <http://www.preventionweb.net/applications/hfa/lgsat/en/image/href/1973>

Diagramación: Katherine Zúñiga Villaplana, Centro de Transferencia Tecnológica

Palabras clave: Ingeniería Estructural, Riesgo Sísmico, Cantón San José.



LABORATORIO NACIONAL
DE MATERIALES Y MODELOS ESTRUCTURALES



Laboratorio Nacional de Materiales y Modelos Estructurales de la Universidad de Costa Rica
Programa de Ingeniería Estructural
Tel. (506) 2511-2500 / Fax (506) 2511-4440 / Código Postal 11501-2060
E-mail: direccion@lanamme.ucr.ac.cr / Sitio web: <http://www.lanamme.ucr.ac.cr>