

Ciencias Matemáticas

Comunicación corta

Ingeniería sísmica, fundamentos matemáticos en la reducción de riesgo sísmico

Earthquake engineering, mathematical foundations in reducing seismic risk

Engenharia sísmica, fundamentos matemáticos na redução do risco sísmico

MSc. Carlos G. Delgado-Castro

carlosg.delgado@uleam.edu.ec

Universidad Laica “Eloy Alfaro” de Manabí, Manta, Ecuador

Recibido: 8 de abril de 2016

Aceptado: 29 de julio de 2016

Resumen

La presente investigación, constituye un estudio del comportamiento observado en las estructuras durante sismos de distintas características, en diversas partes del mundo. También se realiza un análisis sísmico por desempeño, donde se determinan los objetivos básicos de diseño sismo resistente, basados en evitar colapsos de estructuras durante sismos de gran intensidad que se presentan durante su vida útil. En este trabajo investigativo, se aborda todo lo relacionado al desarrollo de la ingeniería sísmica, donde se han producido avances significativos, los cuales han permitido disponer en la actualidad de los medios para reducir el riesgo sísmico en las áreas consideradas más vulnerables, observándose además, el interés de promover la cooperación internacional entre científicos e ingenieros en el campo de la ingeniería sísmica a través del intercambio del conocimiento, de ideas y de los resultados de la investigación y de la experiencia práctica. Este objetivo se obtiene realizando las Conferencias Mundiales aproximadamente cada cuatro años.

Palabras clave: ingeniería sísmica, diseño sismo resistente, fundamentos matemáticos, riesgo sísmico.

Abstract

This research is a study of the behavior observed in the structures during earthquakes of different characteristics in different parts of world. Also seismic performance analysis, where the basic objectives of earthquake resistant design are determined based on avoiding collapses performed structures during high intensity earthquakes that occur during vida útil. In this research work, addressed everything related to the development of Earthquake Engineering, where there have been significant advances, which have allowed have today the means to reduce the risk sísmico en the most vulnerable areas considered also observed, the interest of promoting international cooperation among scientists and engineers in the field of Earthquake Engineering through the exchange of knowledge, ideas and research results and practical experience. This objective is obtained by the World Conferences approximately every four years.

Key words: earthquake engineering, earthquake resistant design, mathematical foundations, seismic risk.

Resumo

Esta pesquisa é um estudo sobre o comportamento observado nas estruturas durante a tremores de terra de características diferentes em diferentes partes do mundo. análise de desempenho sísmico, onde os objetivos básicos do terremoto resistente baseado em evitar o colapso das estruturas durante os terremotos de alta intensidade que ocorrem durante a vida do projeto são determinadas também é realizada. Neste trabalho de pesquisa, dirigida tudo relacionado ao desenvolvimento da engenharia sísmica, onde tem havido avanços significativos, que permitiram ter hoje os meios para redução do risco sísmico nas zonas mais vulneráveis considerados também observou, o interesse de promover a cooperação internacional entre os cientistas e engenheiros no domínio da engenharia sísmica através da troca de conhecimentos, ideias e resultados de investigação e experiência prática. Este objectivo é obtido pelas Conferências Mundiais aproximadamente a cada quatro anos.

Palavras chave: engenharia sísmica, design resistente ao terremoto, fundamentos matemáticos, risco sísmico.

Introducción

A lo largo de toda la historia, la naturaleza no ha cesado de recordar al hombre su poder destructivo: erupciones volcánicas, huracanes, incendios, sismos, maremotos. La aparición de estos fenómenos naturales se pierde en la noche de los tiempos y ningún progreso previsible de la ciencia será capaz de protegernos eficazmente de ellos en el futuro. Se trata, por consiguiente, de adoptar medidas que limiten, ya que es imposible suprimirlos, los efectos de estos fenómenos. (Bello Gutiérrez B 2004).

Podemos decir que sólo recientemente se ha empezado a estudiar y analizar el manejo de los desastres en forma sistemática, los desastres no pueden ser estudiados solamente en el momento de su impacto o en relación con los daños posteriores que deja, sino más bien el abordaje de los desastres empieza mucho antes que esto, se materializan en las medidas empleadas para la construcción de las ciudades, en los estudios geológicos para escoger el lugar donde construir las, en la capacitación de la población y en su organización para responder en forma eficiente ante la posible presencia del evento. (Espinosa Bordón O. 2008).

Los desastres pueden ser clasificados de acuerdo a diferentes variables, algunas de estas son: por su aparición (súbitos: son aquellos fenómenos que ocurren sorpresivamente y de manera inmediata. Por ejemplo: terremotos, avalanchas, algunas inundaciones, tsunamis (maremotos). Mediatos: se desarrollan en forma más lenta y es factible predecirlos: por ejemplo: huracanes, sequías, erupciones volcánicas y otros), Por su duración (corta a mediana duración: terremotos, huracanes, erupciones volcánicas, tsunamis, avalanchas y hundimientos.), larga duración y por su origen: (los que se originan por fenómenos de geodinámica interna y dan lugar a sismos, maremotos y actividad volcánica). (Noji EK.2000), (Valero Álamo S. 2002) .

Los terremotos, son considerados como las más grandes catástrofes naturales que azotan a la humanidad, siendo confirmada esta idea en todas las latitudes del planeta, ya que se calcula que unos catorce millones de personas han perecido desde que se tiene reseñas relativamente bien documentadas de terremotos, comenzando por aquel que destruyó Lisboa en 1755. (BARBAT A. H, CANAS J. A, YEPEZ,1995).

Durante el siglo XX, solamente los terremotos han causado más de un millón de muertes en el mundo. Más del 90% de las muertes por causa de estos eventos durante el siglo anterior han ocurrido en 9 países, y casi la mitad en uno, China. El 28 de julio de 1976, a las 3:42 a.m., un terremoto de magnitud 7,8 ocurrió en Tangshan, al noreste de China. En pocos segundos, una ciudad

industrial de un millón de personas se redujo a ruinas, con más de 242,000 fallecidos según el gobierno pero datos más reales aproximan a 600,000 fallecidos. La acelerada urbanización de las áreas sísmicamente activas del mundo, cuyas poblaciones alcanzan de 20,000 a 60,000 habitantes por Kilómetro cuadrado, resalta la vulnerabilidad de tales áreas ante un número catastrófico de muertes y lesiones por efecto de terremotos. (MIRANDA, H, 2005).

La Ingeniería sísmica cuyo origen es difícil de establecer con precisión, comenzó a desarrollarse en forma sistemática y progresiva a partir de 1906 donde se registro el sismo de San Francisco, con una magnitud estimada de 8,3, siendo uno de los terremotos que ha liberado la mayor cantidad de energía; el daño que causo este evento fue cuantioso, las pérdidas materiales millonarias y el número de víctimas considerable. Este sismo mostró la vulnerabilidad de los centros urbanos ubicados en zonas sísmicas, originando así un cambio significativo en los criterios de diseño y cálculo de esa época. A lo largo de aproximadamente 100 años desde esa época, se han producido avances significativos, los cuales han permitido disponer en la actualidad de los medios para reducir el riesgo sísmico. (AGUIAR R ,2002).La primera Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica se llevó a cabo en Junio de 1956 en la Universidad de California, Berkeley para conmemorar el 50 aniversario del gran terremoto de San Francisco. 80 participantes de 11 países asistieron a esta conferencia.

La Segunda Conferencia Mundial de Ingeniería Sísmica se celebró en Japón en Julio de 1960 a la que asistieron 500 participantes de 30 países. Aprovechando la ocasión, se constituyó un “Comité Preparatorio formado con el propósito de establecer una organización internacional para la investigación de la Ingeniería Sísmica”.

En febrero 1 de 1963 empezó a funcionar la Asociación Internacional de Ingeniería Sísmica (International Association for Earthquake Engineering. IAEE, por sus siglas en Inglés) con su oficina central localizada en Tokio, Japón. El Presidente fundador fue el Profesor Kiyoshi Muto. J. E. Rinne, fue designado Vice-Presidente y J. K. Minami designado como Secretario General. El objetivo de la Asociación es “promover la cooperación internacional entre científicos e ingenieros en el campo de la Ingeniería Sísmica a través del intercambio del conocimiento, de ideas y de los resultados de la investigación y de la experiencia práctica”. Este objetivo se obtiene realizando las Conferencias Mundiales a intervalos de aproximadamente 4 años.

Son miembros de la IAEE solamente las Organizaciones Nacionales de Ingeniería Sísmica, debidamente registradas en cada país. Como consecuencia de esta iniciativa, en Enero de 1979 se

fundó en la ciudad de Caracas, Venezuela, la Asociación Latinoamericana de Ingeniería Sísmica (ALISIS) con fines similares a los de la IAEE.

Con el fin de propiciar mayor apertura, en 1990 se decidió reemplazar ALISIS fundando la Asociación Iberoamericana de Ingeniería Sísmica (AIBIS) con la participación de España y Portugal, a más de los países latinoamericanos. Son miembros de AIBIS investigadores destacados en el campo de la Ingeniería Sísmica de cada país iberoamericano escogidos por el directorio. Sin embargo, uno de los objetivos futuros de AIBIS es tratar de que sean miembros de esta Asociación las Organizaciones Nacionales de Ingeniería sísmica debidamente registradas en cada país.

Desarrollo

Los métodos de diseño han evolucionado en el tiempo acompañando el grado de conocimiento sobre el problema sísmico, y su influencia en la respuesta estructural. Inicialmente dichos métodos eran muy simples y consistían básicamente en aplicar una fuerza lateral estática equivalente cuyo valor se determinaba como un cierto porcentaje del peso de la construcción. Este criterio fue adoptado por primera vez en normas que se pusieron en vigencia en Italia luego del terremoto de Messina de 1908. La idea se difundió a otras zonas sísmicas del mundo y así, por ejemplo en 1923 la ciudad de Mendoza, Argentina, promulgo un digesto municipal para construcciones antisísmicas y en 1927 se introdujo el primer código en los Estados Unidos.

Durante la década del 1920 y del 1930 se produjeron avances significativos. Un primer antecedente por destacar es el instrumento desarrollado por KyojiSuyehiro en la Universidad de Tokio. Este instrumento estaba formado por seis péndulos, con períodos de vibración creciente, cuyo objetivo era registrar la respuesta de dichos péndulos ante la ocurrencia de un movimiento sísmico. Posteriormente en un artículo publicado por Hugo Benioff en 1932, se presentó un instrumento similar al desarrollado por Suyehiro y se proponía además la posibilidad de construir una curva que graficara el desplazamiento máximo de cada péndulo en función de su período de vibración; Benioff indicaba que el área bajo la curva representaría la destructividad del terremoto. Pero fue Maurice Biot en el Caltech (Instituto Tecnológico de California), EEUU, en su tesis doctoral sobre la “Oscilación transitoria de sistemas elásticos” el que completó la idea e introdujo lo que hoy se conoce como espectro de respuesta.

El concepto de espectro de respuesta fue posteriormente profundizado, difundido y aplicado en forma práctica por George Housner, quien calculó espectros de respuesta usando los primeros registros de aceleración medidos en terremotos ocurridos en Estados Unidos (Long Beach, 1933,

Helena, 1935 y el Centro, 1940). Estas tareas que hoy realiza la computadora en pocos segundos, representa en la década del 1940 una tarea imposible de realizar numéricamente por el tiempo que hubiera demandado. Es por ello que Housner aplicó inicialmente un método gráfico para realizar la integrales involucradas en los cálculos de las curvas espectrales, requiriendo de un día completo de trabajo para determinar un solo punto de dichas curvas (AGUIAR, R ,2002). Hoy en día el avance de la ingeniería sísmica es muy significativo ya que basta con introducir datos y apretar un botón y obtenemos resultados completos y confiables. Hay muchos software comunes en el mercado como son el IDARC, CEINCI3, ETABS, etcétera. Además los acelerógrafos son muy sencillos y de estos se obtienen los valores máximos alcanzados ante eventos sísmicos.

Ecuador en los últimos años ha tenido un avance significativo en Ingeniería Sísmica. El monitoreo de la sismicidad existente en el Ecuador se realiza utilizando la Red Nacional de Sismógrafos (RENSIG) y Acelerógrafos, actualmente conformada por 42 estaciones sísmicas telemétricas (figura 1) de uno y de tres componentes de período corto localizados en el territorio ecuatoriano, de manera especial en fuentes sísmicas importantes y en los volcanes activos de mayor peligro para la población. Además se cuenta con 10 acelerógrafos. La información obtenida por los sensores sísmicos se somete a procesamiento utilizando herramientas adecuadas. Toda esta información puede ser obtenida del catálogo sísmico que posee el Instituto Geofísico.

La información emitida por los sensores sísmicos han arrojado como resultados que en las costas de Manabí la actividad sísmica es constante, por lo que surge la necesidad de que las construcciones estén preparadas para soportar sismos cuya aceleración máxima del suelo en roca sea del 40% de la aceleración de la gravedad. Como está estipulado claramente en el CEC 2000.

El primer mapa de Zonificación Sísmica del Ecuador, fue elaborado en el Instituto de Materiales y Modelos Estructurales, de la Universidad Central de Venezuela, por Roberto Aguiar en 1982, bajo la dirección de José Grases. El resultado de la investigación indica que cinco zonas sísmicas, son las de mayor peligrosidad, y corresponden a la costa norte que está definida por 0,35 g, y la de menor peligrosidad es la región nororiental con 0,15 g.

La diferencia que existe entre los dos mapas de zonificación sísmica, del Ecuador, se presenta en el callejón interandino. En efecto, de acuerdo al CEC-2000, la sierra está definida por una peligrosidad sísmica de 0.40 g. En cambio, en el mapa de Aguiar-1982 este valor es de 0,25 g.

La diferencia se debe a que en la evaluación de la peligrosidad sísmica, el CEC-2000 incorporó los sismos históricos. En cambio en el estudio realizado por Aguiar, los sismos históricos sirvieron de

base únicamente para definir las áreas fuentes, no se consideró en la evaluación porque en las crónicas, algunos eventos importantes están sobredimensionados, como los sismos del 4 de febrero de 1797 que afectó a la antigua ciudad de Riobamba o el sismo del 22 de febrero de 1757 que afectó a Latacunga y Pujilí.

Además de lo indicado, existe una buena correlación entre los dos mapas de zonificación sísmica del Ecuador. En algunos lugares la aceleración máxima del suelo en roca coinciden y en otros el CEC-2000 presenta valores ligeramente mayores en 0,05g.

Dadas estas valoraciones, el Código ecuatoriano de la construcción de 1977 y 2000, en Registro oficial N.- 369, acuerda oficializar con el carácter de obligatorio y emergente las dos partes del Código Ecuatoriano de la Construcción tituladas: Requisitos Generales de diseño y Requisitos de Diseño de Hormigón Armado, elaborados por el Instituto Ecuatoriano de Normalización.

Es importante anotar que la versión de 1977 del Código Ecuatoriano de la construcción se basa en el ACI donde se considera el Método de los Esfuerzos Admisibles. A finales del siglo pasado, la práctica moderna para el cálculo estructural del hormigón armado se ha basado en la Teoría de la Rotura o última resistencia en la que se acepta que en la fase de los esfuerzos altos del concreto, los esfuerzos unitarios no son proporcionales a las deformaciones, y en segundo lugar, las cargas de rotura son múltiplos de las actuales cargas de servicio.

En la actualidad se da mayor importancia al diseño por desempeño que al diseño por resistencia, ya que este último por sí solo, no garantiza un adecuado comportamiento de la edificación ante sismos menores. En la forma de diseño tradicional se garantiza que el edificio no va a colapsar ante un sismo mayor, y se entiende que ante sismos menores la estructura va a responder en el rango elástico o con ligero daño ante sismos moderados. Todos los controles que se realizan en el diseño están orientados exclusivamente al sismo mayor. En el diseño sísmico por desempeño lo que se desea conocer son los desplazamientos, distorsiones de piso y el comportamiento de cada uno de los elementos, ante sismos de pequeña magnitud que se van a repetir varias veces durante la vida de la estructura, o sismos de mayor magnitud que probablemente se registren una sola vez en el tiempo de vida de la edificación, o sismos más fuertes en los cuales la probabilidad de ocurrencia es menor. Lo que se persigue es que antes diferentes eventos sísmicos de diferente intensidad conocer su desempeño en términos de índice de daños a nivel local y global de la edificación. Por lo que aplican estadísticas o métodos estadísticos para este proceso.

Las estadísticas, o métodos estadísticos como a veces se llaman, están desempeñando un importante papel ascendente en casi todas las facetas del progreso humano. Anteriormente solo era aplicada a los asuntos del estado, de donde viene su nombre; pero ahora la influencia de la estadística se extiende a muchas ciencias y en especial a la ingeniería sísmica (Murray R. 2015).

Existen incertidumbres en el cálculo del factor de redundancia, razón por la cual el problema ha sido abordado utilizando estadísticas y las probabilidades. Pero no solo en el cálculo de este índice tiene estos problemas de incertidumbre si no también en toda la ingeniería estructural. En efecto existe incertidumbre en definir los modelos constitutivos de los materiales, en la definición de las cargas, y en los modelos de cálculo, etcétera (AGUIAR R., BARREIRO F. y LÓPEZ P., 2006).

La función de distribución que más se utiliza para determinar el factor de redundancia, es la distribución normal que se indica a continuación:

Se han presentado en forma general los tres tópicos de las estadísticas y probabilidades que se utilizan en el tema, materia de la presente tesis (AGUIAR R., BARREIRO F. y LÓPEZ P., 2006).

Para evaluar el daño sísmico en los países bolivarianos, se establece el Sistema de computación CEINCI, iniciado por el Dr. Ing Roberto Aguiar Falconí, desde 1993, quien realiza la programación de los programas denominados CEINCI1, CEINCI2 y CEINCI3, que sirven para el análisis sísmico de secciones, de pórticos planos y de estructuras espaciales respectivamente. Estos programas fueron desarrollados en Fortran, siendo este un lenguaje científico. Pero para la entrada de datos y visualización gráfica de los resultados se implementó una interfaz en Visual Basic.

El programa CEINCI3 en específico, permite realizar el análisis por desempeño de estructura espacial en términos estructurales y en términos económicos. Para el análisis sísmico en tres dimensiones se requiere calcular la curva de capacidad sísmica resistente de cada uno de los pórticos y determinar el modelo bilineal correspondiente.

Para el cálculo de la capacidad sísmica resistente de los pórticos se tiene la opción de seleccionar entre varios modelos de plasticidad extendida, aspecto que no permite realizar otros programas existentes, y esta curva es función del modelo de plasticidad que se seleccione, de ahí la importancia de realizar una buena selección.

El programa permite la visualización de cada uno de los pórticos y de la estructura en tres dimensiones, se puede ver la numeración de los nudos, de los elementos de las secciones tipo y de las cargas verticales que gravitan sobre ella. De tal manera que se minimiza la posibilidad de equivocarse. A nivel espacial el programa determina la capacidad resistente sísmica que relaciona el

cortante basal con el desplazamiento medio en el último piso del centro de masa. Posteriormente se encuentra el espectro de capacidad de la estructura espacial en el formato desplazamiento espectral vs. aceleración espectral.

Por otra parte el programa permite determinar los espectros de análisis para cuatro eventos sísmicos denominados: frecuente, ocasional, raro y muy raro que tienen periodos de retorno de 43, 72, 475, 970 años en los formatos: aceleración espectral – periodo y aceleración espectral – desplazamiento espectral para: Venezuela, Colombia, Ecuador, Perú, Chile y Argentina. Estos aspectos se derivan del sismo denominado como raro y que está inmerso en las normativas de Venezuela 2001, de Colombia 1998, de Ecuador de 2000, de Perú de 2003, de Chile de 1996 y Argentina de 1982. Si se desea trabajar con espectros diferentes a los países indicados, el programa da la facilidad de hacerlo, para lo cual el usuario deberá indicar el respectivo espectro en el formato Periodo Vs. Aceleración Espectral.

Una vez que se tiene el espectro de capacidad de la estructura y el espectro de demanda se procede a calcular el punto de desempeño sísmico aplicando el método del Espectro de Capacidad pero en una forma interactiva en la cual el usuario del programa va indicando la ductilidad para la cual quiere que se calcule el espectro inelástico.

Los puntos de desempeño son graficados sobre el espectro de capacidad, para que el usuario vea si el desempeño que va a tener la estructura es el adecuado de acuerdo al uso que tendrá la misma. El programa permite visualizar el desempeño ante los cuatro eventos sísmicos.

Finalmente se determina el coste de reparación que tendrá la estructura ante los cuatro eventos de acuerdo al desempeño estructural. De tal manera que el proyectista estructural tiene dos parámetros para decidir sobre su diseño en un determinado proyecto que son el estructural y el económico. Estos parámetros deberán ser de conocimiento del dueño de la obra para que él decida si se acepta o no un determinado proyecto estructural y arquitectónico (AGUIAR, R , SANTANDER C ,2004).

En el análisis sísmico por desempeño, se determinan los objetivos básicos de diseño sismo resistente, basados en evitar colapsos de estructuras durante sismos de gran intensidad que se presentan durante la vida útil de estas estructuras, y que además éstas no presentan daños de consideración durante sismos moderados, es decir, aquellos que son frecuentes en la mencionada vida útil. (Blanco M . 2012)

Sin embargo, el comportamiento observado de estructuras durante sismos de distintas características en diversas partes del mundo sugiere que estos objetivos no se han alcanzado de manera

satisfactoria. En particular es relevante mencionar los daños importantes en estructuras de concreto reforzado, que se han observado en sismos moderados y que no corresponden al sismo de diseño del lugar donde ocurrieron estos sismos, y que sin embargo han llevado al colapso de estructuras o a daños en elementos estructurales o no estructurales. En este último caso, aún cuando los daños sólo ocurrieron en elementos no estructurales, fueron de tal magnitud que impidieron el uso de la edificación un tiempo considerable, hasta que se llevó a cabo las reparaciones o reforzamientos necesarios.

El mal desempeño sísmico de estructuras sismo resistentes modernas durante eventos sísmicos recientes, ha puesto en evidencia que la confiabilidad del diseño sísmico no solo era menor que la que se esperaba, sino que presenta grandes inconsistencias entre estructuras que tienen un mismo sistema estructural, lo cual ha enfatizado la necesidad de replantear las metodologías actuales de diseño sísmico. (Evolución y antecedentes de la sismología y la ingeniería sismorresistente. 2016)

Es así que, como parte de este replanteamiento, la comunidad internacional de Ingeniería Estructural, ha resaltado la importancia de complementar la fase numérica del diseño sísmico con una fase conceptual y de implementación basadas en el control de la respuesta dinámica de las estructuras sismo resistente. La filosofía de diseño por desempeño, se ha constituido dentro de este contexto, como la alternativa más viable para el planteamiento de metodologías de diseño sísmico que den lugar a estructuras que satisfagan las cada vez más complejas necesidades de las sociedades modernas. Los avances logrados hasta el momento han permitido plantear requerimientos de diseño sísmico basados en esta filosofía, y sugieren que la siguiente generación de códigos esté basada en ella.

Conclusiones

Luego del estudio realizado se obtienen las siguientes conclusiones:

- 1- Las estadísticas, o métodos estadísticos como a veces se llaman, están desempeñando un importante papel ascendente en casi todas las facetas del progreso humano.
- 2- El método del espectro de capacidad realiza un estudio detallado de la estructura considerando los diferentes eventos sísmicos y su escenario, para determinar el punto de desempeño o demanda. Este punto debe ser tal que la demanda de ductilidad de la acción sísmica sea igual a la demanda de ductilidad de la estructura.

3- Es necesario que la escuela de Ingeniería Civil de la ULEAM incluya dentro de sus programas académicos la utilización de sistemas computacionales educacionales como el CEINCI3, SAP2000, ETABS etcétera.

Referencias bibliográficas

AGUIAR Roberto, SANTANDER Carlos;2004 “Manual de uso de los programas CEINCI2 y CEINCI3”, Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador.

AGUIAR R., BARREIRO F. y LÓPEZ P.,2006 “Factor de Redundancia y Resistencia en Edificios de Hormigón Armado”, Artículo Centro de Investigaciones Científicas, Escuela Politécnica del Ejército, Ecuador,

AGUIAR Roberto y BARBAT Alex;2002 “Revista Internacional de Ingeniería de Estructuras”, Escuela Politécnica del Ejercito, Ecuador,

BELLO GUTIÉRREZ B. [et al.].2004. Los desastres y fundamentos. De la protección contra los mismos. Medicina de Desastre ,Cap 1 pag 1. Editorial Ciencias Médicas. La Habana Cuba . ISBN 959-212-110-9.

Disponible en: http://www.bvs.sld.cu/libros_texto/medicina_desastre/pagina_legal.pdf

BARBAT A. H, CANAS J. A, YEPEZ F; 1995 “Riesgo, peligrosidad y vulnerabilidad sísmica de edificios de mampostería”, , Barcelona-España

BLANCO, MARIANELA. 2012 Criterios fundamentales para el diseño sismorresistente. Rev. Fac. Ing. UCV ., 27, . (3), pp. 071-084 . ISSN 0798-4065 Disponible en: <http://www.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-40652012000300008&lng=es&nrm=iso>..

Evolución y antecedentes de la sismología y la ingeniería sismorresistente. [sitio web] 2016 . [consulta 21 Septiembre 2016]. Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/307283794/Evolucion-de-La-Sismologia>

ESPINOSA BORDÓN O. 2008. Los desastres naturales y la sociedad . Revista Médica Electrónica. 30(4). Disponible en: <http://www.revmatanzas.sld.cu/revista%20medica/ano%202008/vol4%202008/tema10.htm>

MIRANDA Henry, 2005“Metodología para Evaluar la Vulnerabilidad Sísmica en Edificios Educativos de las Fuerzas Terrestre”, Tesis, ESPE 2005.

MURRAY R. 2015. Estadística . [consulta 21 Septiembre 2016]. Disponible en : es.slideshare.net/.../estadistica-schawn-murray-r-spigel-larry-j-stepens-

NOJI EK. 2000. Naturaleza de los desastres: sus características generales y sus efectos en la salud pública. En: Impacto de los desastres en la salud pública. Bogotá: OPS; p. 3-37.

VALERO ÁLAMO S. 2002. Psicología en Emergencias y Desastres. Perú.